КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

КНАГТУ 60

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННЫХ И КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ДОСТИЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ - В ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА – СЕМИНАР

ПОСВЯЩАЕТСЯ 60-ЛЕТИЮ КОМСОМОЛЬСКОГО-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

http://active.knastu.ru

© 2015 Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Комсомольск-на-Амуре
2015

Министерство образования и науки Российской Федерации

Российская академия наук

Российский фонд фундаментальных исследований

Правительство Хабаровского края

Администрация г. Комсомольска-на-Амуре

ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация»

Филиал ОАО «Компания «Сухой» КнААЗ»

ФГБОУ ВПО «КнАГТУ»

Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН

Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН

ОАО «Амурский судостроительный завод»

Хабаровское региональное отделение Общероссийской общественной организации «Союз машиностроителей России»

ПАРТНЕРЫ, ПРИСЛАВШИЕ ПОЗДРАВЛЕНИЯ В АДРЕС СИМПОЗИУМА

А.А. Кутин
Проректор по инновационной деятельности, д.т.н., профессор

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СТАНКИН»
(ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»)

127055 г. Москва, Вадковский пер., д. 3а.
Тел.: (499) 973-30-76. Факс: (499) 973-38-85, e-mail: rector@stankin.

В.П. Борискин
Директор издательства «ТНТ», д.т.н., профессор

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ТОНКИЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

309516, Белгородская область, г. Старый Оскол, мкр Макаренко, 40
Тел.: (4 725) 32-25-29. Факс: (4 725) 42-35-39, 42-35-29,

Tomonobu Sekoguchi
глава представительства Шимадзу Европа ГмбХ в РФ, Москва

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО ШИМАДЗУ ЕВРОПА ГМБХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

119049 Москва, 4-ый Добрынинский пер., 8, оф. С1301
тел.: +7 (495) 989-13-17, e-mail: smo@shimadzu.ru

В.И. Новохатский
Директор Амурского ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Томск»

АМУРСКОЕ ЛИНЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК»

681017, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Орловская, д.78.
e-mail: v.novokhatskiy@gtt.gazprom.ru

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
ФГБУ «Российская академия наук»
ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований»
Правительство Хабаровского края
ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация»
Филиал ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»
Администрация г. Комсомольска-на-Амуре
ФГБУН «Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН»
ФГБУН «Институт материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН»
ОАО «Амурский судостроительный завод»
ХРО ООО «Союз машиностроителей России»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

Пленарные доклады

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННЫХ И КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Международная научно-техническая конференция

ДОСТИЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ – В ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Международная молодёжная школа-семинар

(Комсомольск-на-Амуре, 12 – 16 мая 2015 г.)

Материалы и доклады

Комсомольск-на-Амуре
2015

УДК 621.7+620.22
ББК 34.63+30.3
Ф947

Рецензенты:
Б. Н. Марьин, доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и металлургия» ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет;
В. М. Давыдов, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технологическая информатика и информационные системы» ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет»

Редакционная коллегия:
С. И. Феоктистов, доктор технических наук, профессор (отв. редактор);
Д. Г. Колыхалов, кандидат технических наук, доцент (зам. отв. редактора);
С. В. Белых, кандидат технических наук, доцент (координатор)

Ф947 **Фундаментальные исследования в области создания инновационных технологий и новых материалов, направленных на развитие авиационных и космических комплексов. Достижения фундаментальной науки и образования – в инновационные технологии** : материалы Междунар. науч.-техн. конф. и Междунар. молодёжной школы-семинара, Комсомольск-на-Амуре, 12-16 мая 2015 г. / редкол. : С. И. Феоктистов (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – 205 с.

ISBN 978-5-7765-1128-8

В сборнике материалов конференции содержатся доклады специалистов в области применения инновационных технологий и новых материалов в авиа- и ракетостроении. Тематика докладов актуальна, результаты представляют научный интерес и практическую значимость.

Сборник полезен для научных работников, работников промышленных предприятий и студентов технических вузов.

УДК 621.7+620.22
ББК 34.63+30.3

ISBN 978-5-7765-1128-8

© ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ Международного симпозиума «Наука. Инновации. Техника и технологии: проблемы, достижения и перспективы»…….. 7
Белых С.В.
Научная и инновационная деятельность в ФГБОУ ПО«КнАГТУ»……. 8
Буренин А.А.
Роль фундаментальной механики деформирования в совершенствовании инновационных технологий обработки конструкционных материалов и изготовления еталлоизделий……. 10
Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Шпилёв А.М., Евстигнеев А.И., Макиенко В.А., Коневцов Л.А.
Материалогия – новый этап в развитии науки о атериалах…….. 14
Воронов Б.А., Верхотуров А.Д., Крюков В.Г.
Инновационные направления использования минерального сырья дальневосточных месторождений в металлургии и ашиностроении……. 24
Григорьев С.Н., Кутин А.А., Долгов В.А.
Принципы построения цифровых производств в ашиностроении…….. 27
Заводинский В.Г.
Компьютерное моделирование разрушения приповерхностной области нанопроволок TiC и WC……. 31
Калашников В.Д.
«Приоритеты промышленной и инновационной политики Хабаровского края» на международном симпозиуме «Наука. Инновации. Техника и технологии: проблемы, достижения и перспективы»……. 36
Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Федонин О.Н.
Гетерогенное микро- и наноструктурирование металлического материала ударными волнами деформации…….. 38
Филаретов В.Ф.
Особенности создания на Дальнем востоке научно-инженерных структур для внедрения высоких технологий в промышленное производство……... 41
МАСТЕР-КЛАССЫ Международного симпозиума «Наука. Инновации. Техника и технологии: проблемы, достижения и перспективы» ……. 45
Башков О.В., Панин С.В., Башкова Т.И., Парфенов Е.Е.
Акустическая эмиссия при деформации материалов. Роль идентификации источников акустической эмиссии в определении стадий деформации и разрушения материалов…….. 46
Гордиенко П.С., Шабалин И.А., Ярусова С.Б., Супонина А.П.
Сорбционные свойства синтетических алюмосиликатов…….. 50
Ким В.А., Башков О.В., Попкова А.А., Зотолорева С.В.
Количественные показатели структурной организации материала, как основа компьютерной металлографии…….. 54
Ковалевич Е.В.
Государственные стандарты на чугуны для тливок……... 57
Муравьев В.И.
Совершенствование упорядочения дефектной структуры сталей и сплавов для повышения надежности конструкций……. 60
Охлопкова А.А.
Наноматериалы и нанотехнологии…….. 65
Соколов В.П.
Перспективные направления развития космонавтики на Дальнем Востоке…… 69
Чернышов Е.А.
Механизм формирования структуры, свойств и плотности фасонных отливок в условиях внешнего и комплексного воздействия на затвердевающий металл…… 72

ДОКЛАДЫ Международной научно-технической конференции «Фундаментальные исследования в области создания инновационных технологий и новых материалов, направленных на развитие авиационных и космических комплексов»……. 75
Александров С.Ю., Деменин Д.Л.
Применение паттернов проектирования для повышения масштабируемости программно-аппаратного комплекса мониторинга и диагностики летательных аппаратов……..... 76
Барвинок В.А., Богданович В.И., Марьин С.Б., Докукина И.А., Громова Е.Г., Гиорбелидзе М.Г.
Металлографические исследования мезоструктурной упорядоченности плазменных оксидных покрытий…… 79
Барвинок В.А., Богданович В.И., Марьин С.Б., Докукина И.А., Еськина Е.В., Гиорбелидзе М.Г.
Разработка состава покрытий и оборудования для восстановления и упрочнения деталей энергетических агрегатов методом плазменного напыления…… 82
Белых С.В., Феоктистов С.И., Усейкин Л.Е., Станкевич А.В., Мироненко В.В.
Использование специального программного обеспечения для анализа технологии изготовления деталей летательных аппаратов из листового материала…… 86
Белых С.В.
Особенности подготовки производства для автоматизированного изготовления узких и длинных обшивок на прессах поперечной обтяжки……..... 90
Бердиев О.Ш., Денисенко Ю.П., Добржанский В.Г., Огнев Ю.Ф., Душина Н.Е.;Сергиенко В.И.
Испытания коррозионной стойкости алюминиевых сплавов в условиях приморского субтропического климата……..... 93
Бобарика И.О., Демидов А.И.
Исследование кавитации во всасывающей линии гидросистемы современного самолета……..... 95
Гридасова Е.А., Кобыляков С.П.
Установка для диффузионной сварки……..... 98
Гусев И.Н., Карманов А.В.
Развитие транспортной системы Сибири и Дальнего Востока……..... 100
Доронин Д.О., Журавский Д.М., Куприков Н.М., Павлов А.К., Иванов Б.В.
Результаты, полученные с помощью обновленного российского аппаратно-программного комплекса «iKolobok»…… 101
Зайков В.И., Тарануха Н.А., Ярополов В.А.
Аппаратное обеспечение метода лазерной виброметрии на базе высокоскоростного виброметра HSV2000……..... 103
Иванов И.Н., Колыхалов Д.Г.
Применение САПР для моделирования перспективных методов формообразования – штамповке эластичными средами…… 106
Калинин Е.С., Костин А.В., Щелоков Е.А.
Применение поли-пара-ксилилена в криогенных условиях…….. 108
Кириакиди С.К., Роговский И.С., Казакевич А.И.
Зависимость приращения коэффициента подъёмной силы крыла с щелевой механизацией от параметров аэродинамической щели при посадке……. 109
Колесников А.В., Колесник А.В., Заболотский А.П.
Пневмотермическая формовка и пневмотермическая формовка - диффузионная сварка деталей и многослойных конструкций летательных аппаратов в режиме сверхпластичности…….. 110
Крупский М.Р., Зайков В.И.
Автоматизация процесса нивелирования узлов подвески при агрегатной сборке летательного аппарата……. 113
Кузнецов Ю.П., Химич В.Л., Хрунков С.Н., Крайнов А.А.
Концепция проектирования двухступенчатых пневматических микротурбин……... 116

Марьин Б.Н., Старцев С.В., Марьин А.С.
Использование специального программного обеспечения для анализа технологии изготовления деталей летательных аппаратов из листового материала……..... 119
Мишагин В.А.
Особенности контроля деталей летательных аппаратов из листового материала в условиях бесшаблонного производства…….. 123
Молоков К.А.
Оценка поврежденности феррито-перлитных сталей в условиях малоциклового нагружения……. 125
Перевалов А.А.
Беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки с дисковым крылом…… 128
Погарцева М.М.
Методика оптимизации процесса формообразования деталей сложной геометрии из листа методом продольной обтяжки на оборудовании, оснащенном ЧПУ…….. 132
Погарцева М.М., Феоктистов С.И.
Разработка математической модели станка для продольной обтяжки FEL 2x500…… 135
Соловьев В.В., Козырь А.В., Пульков С.М.
Влияние подачи воздуха под давлением на качество получаемых покрытий при электроискровом легировании……... 137
Суржик В.В.
Самостабилизирующиеся экранопланы – транспорт третьего тысячелетия……. 139
Суржик В.В.
Проектирование самостабилизирующихся экранопланов компоновочной схемы……. 141
Усольцев Ю.Я.
К задаче Чаплыгина…….. 146
Хейн Вин Зо
Экспериментальные исследования момента внешних сил при ротационном обжиме труб…….. 147
Шайкина Д. Ю.
Пути минимизации затрат на подготовку космических аппаратов на техническом комплексе космодрома…… 149
Шатульский А.А., Зайцев Н.А., Хрящев И.И.
Разработка безрениевого жаропрочного материала с уровнем свойств сплавов II поколения…… 152
Штука В.И.
Программа расчёта взаимодействия падающей волны нагрузки постоянной интенсивности с границей раздела двух упругих сред…… 155
Юртаев А.А., Поршкевич В.В.
Установка для исследования сопловых аппаратов микротурбин……. 158
Юртаев А.А., Поршкевич В.В.
Экспериментальный стенд для исследования рабочих колес микротурбин…… 160
ДОКЛАДЫ Международной молодежной школы – семинара «Достижения фундаментальной науки и образования – в инновационные технологии»…….. 163
Двойченко Ю.А., Тхань Ф.Ф.
Определение параметров подъемного вентилятора легкого амфибийного судна на воздушной подушке с гибким ограждением баллонетного типа……. 164
Иргашев А.А., Негматов С.С., Туркменов Х.И., Жумаев З.Т.
«Разработка требований к эксплуатационным свойствам композиционных полимерных материалов для рабочих органов хлопкоочистительной машины»…….. 166
Исмоилов Х. А., Даминов Л. А.
Силицированный графит как перспективный материал для использования в ряде отраслей нашей страны. …….. 170
Кадырбекова К.К.
О перспективности разработки покрытий на основе фаз Лавеса…….. 172

Ким В.А., Золотарева С.В. 174
Статистическая оценка структурного состояния материала при пластической деформации……
Коротков В.А.
Проектирование шлифовальных инструментов с контролируемой формой и ориентацией зёрен... 176
Мухамедов Аз.А., Каримов Ш.А., Абдулворисов А.А.
«Ресурсосберегающие технологии изготовления и термического упрочнения деталей машин инструментов» ……. 180
Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К.
Остаточные напряжения в покрытиях, формируемых ионно-плазменным методом…….. 182
Хажиев М.Х., Туркменов Х.И., Мирнигматов Б.Т.
«Влияние конструкции привода насоса гидронавесной системы на энергетические показатели трактора «АЛТРАК» Т-4А2» …… 185
Чернышов Е.А., Романов А.Д., Романова Е.А.
Внедрение технологии сквозного цифрового проектирования в рамках научно-исследовательской работы студентов и аспирантов…… 187
Шакина А.В., Штанов О.В., Афанасьева А.А.
Влияние антикоррозионной пропитки на фрикционные свойства металлокерамических фрикционных материалов……..... 190
Шакиров Ш.М., Исмоилов Х. А.
Исследование коррозионной стойкости металлокерамических фильтров…… 192
Шакиров Ш.М., Каримов Ш.А., Даминов Л.
Перспектива переработки производственных отходов…….. 195
Шатульский А.А., Зайцев Н.А., Хрящев И.И.
Разработка безрениевого жаропрочного материала с уровнем свойств сплавов II поколения…… 198
Рева В.П., Филатенков А.Э., Мансуров Ю.Н.
Стадии формирования углеродных нанотрубок при механоактивации продуктов пиролиза растительного сырья…… 201

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ
Международного симпозиума
«Наука. Инновации. Техника и технологии:
проблемы, достижения и перспективы»

Научная и инновационная деятельность в ФГБОУ ВПО «КнАГТУ»

С.В. Белых

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре, РОССИЯ, 681013, belykhsv@knastu.ru

Реферат **– В докладе рассмотрены основные достижения университета в области научных исследований и продвижения собственных разработок в производство наукоемких предприятий региона. Представлены ведущие научные школы и направления, развивающиеся в КнАГТУ.**

Ключевые слова **– КнАГТУ, наука, исследования, образование, инжиниринг, инновация, инфраструктура**

Хабаровский край является одним из наиболее развитых промышленных регионов и стратегически важной территорией российского Дальнего Востока. Основу экономики Хабаровского края составляет достаточно диверсифицированное промышленное производство, включающее в себя ряд оборонно-промышленных предприятий.

Одной из стратегических целей развития региона является формирование на территории края конкурентоспособного производственного комплекса, отвечающего современным задачам инновационного развития экономики Дальнего Востока и России.

Хабаровский край занимает лидирующее положение по уровню инновационной активности среди субъектов Российской Федерации входящих в состав ДФО. Доля инновационно активных организаций на конец 2013 года составила 12,3%, что превышает среднестатистическое значение показателя по Российской Федерации в целом. С 2009 года показатель вырос на 22,5%. Наиболее инновационно ориентированными отраслями промышленности Хабаровского края являются металлургическое производство, авиастроение, судостроение и производство вычислительной техники.

Ключевую роль в подготовке кадров для предприятий Дальневосточного региона играет Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет.

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» (КнАГТУ) располагается в промышленном центре Дальнего востока г. Комсомольске-на-Амуре и является единственным техническим университетом, подведомственным Министерству образования и науки РФ, на Дальнем востоке. Университет входит в число тринадцати опорных вузов для Объединенной авиастроительной корпорации. Подготовка кадров для промышленных предприятий ведется более чем по 100 образовательным программам.

Высокая квалификация научно-педагогического коллектива университета позволяет добиваться значительных результатов как в науке, так и в подготовке высококвалифицированных кадров, что дает возможность нашему университету сохранять лидирующие позиции среди высших учебных заведений Хабаровского края. Среди наиболее значимых достижений университета за последнее время можно отметить следующие победы:

2009 год - победитель конкурса программ развития инновационной инфраструктуры «Развитие в ГОУВПО КнАГТУ инновационной инфрастуктуры для повышения эффективности малого предпринимательства, внедрения научных разработок и подготовки кадров в регионе Дальнего Востока России»;

2010 год – финалист конкурса Премии Правительства РФ в области качества;

2011 год - победитель конкурса Программ стратегического развития вузов;

2012 год – победитель программ развития студенческих конструкторских бюро;

2012 год - дипломант конкура Рособрнадзора «Системы качества подготовки выпускников образовательных учреждений профессионального образования»;

2014 год – КнАГТУ вошел в число вузов реализующих Президентскую программу повышения квалификации инженерно-технических работников.

2014 год – победитель открытого публичного конкурса на предоставление поддержки программ развития системы подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса в образовательных организациях высшего образования, подведомственных Министерству образования и науки Российской Федерации.

В ФГБОУ ВПО «КнАГТУ» ведутся исследования по ряду направлений, входящих в перечень критических технологий Российской Федерации, среди которых можно выделить:

1. Информационно-телекоммуникационные системы.
2. Науки о жизни.
3. Рациональное природопользование.
4. Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения.
5. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Большая часть проводимых сотрудниками университета исследований базируются на запросах действующих промышленных предприятий, таких как Филиал ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ имени Ю.А.Гагарина», ОАО «Амурский судостроительный

завод», ОАО «Роснефть»–Комсомольский-на-Амуре нефтеперерабатывающий завод» и ряда других. В результате многолетней работы сформировались научные коллективы, проводящие исследования по широкому спектру направлений, среди которых:

- исследования в области повышения эффективности механической обработки за счёт совершенствования эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента;
- исследования в области развития и совершенствования специальных видов литья;
- комплексные исследования, направленные на повышения эксплуатационной надежности конструкций путем управления свойствами материалов посредством упорядочения структурной неоднородности сталей и сплавов в процессе изготовления деталей в авиа-, судостроении и других отраслях машиностроения для создания и широкого освоения в производстве принципиально новых технологических процессов штамповки, сварки, литья, термообработки и сборки летательных аппаратов;
- исследования в области прочности, устойчивости динамики, гидроупругих колебаний и математического моделирования сложных тонкостенных конструкций;
- разработка и исследование характеристик высокоскоростных роторных систем на бесконтактных опорах;
- применение методов алгебраической топологии и теории категорий для исследования математических моделей параллельных вычислительных систем и процессов;
- исследования в области интенсификации машиностроительных технологических процессов за счет внедрения современных информационных технологий и разработки компьютерных систем автоматизированной подготовки машиностроительного производства;
- разработки в области диагностики структурного состояния материалов и технического состояния конструкций с целью определения их поврежденности и остаточного ресурса;
- и другие направления исследований.

Одной из приоритетных задач для университета является подготовка специалистов высшей квалификации для осуществления учебного процесса и проведения научных исследований. За весь период существования аспирантуры при КнАГТУ выпущено 350 аспирантов, 50 из которых защитили диссертации досрочно. В настоящее время подготовка аспирантов и соискателей осуществляется по 8 отраслям наук и 16 направлениям подготовки.

В КнАГТУ создана и успешно функционирует одна из крупнейших сетей диссертационных советов на Дальнем Востоке. В университете работает шесть диссертационных советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук по десяти научным специальностям.

За период с 1996 по 2015 годы в диссертационных советах университета защитили диссертационные работы на соискание ученой степени доктора наук 21 человек из числа преподавателей и сотрудников КнАГТУ, на соискание ученой степени кандидата наук - 151 человек из числа выпускников и соискателей собственной аспирантуры.

В целом, за тот же период в собственных советах университета защитили диссертационные работы на соискание ученой степени доктора наук 36 человек, на соискание ученой степени кандидата наук - 348 человек.

Значимой для университета является работа по привлечению молодежи в науку путем проведения мероприятий в рамках программы популяризации и пропаганды науки и научных знаний.

В 2011 г. с целью активного вовлечения студентов в научную и инновационную деятельность в университете развернута сеть студенческих конструкторских и проектных бюро (СКБ). В 2012 году СКБ КнАГТУ вошло в число победителей конкурса проектов по разработке и реализации программ развития студенческих конструкторских бюро и аналогичных общественных объединений студентов в рамках мероприятия 2.4 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

В 2013 году на базе Технопарка КнАГТУ Создан Центр робототехники. А в 2014 году центр робототехники получил статус регионального ресурсного центра программы «Робототехника: инженерно-технические кадры инновационной России» и занял первое место в конкурсе ресурсных центров России.

Реализация программы развития сети студенческих конструкторских бюро в КнАГТУ, как одного из направлений развития инновационной составляющей нашего вуза, позволила повысить активность участия студентов и аспирантов в конкурсах инновационных проектов на получение грантов.

Одним из важнейших направлений деятельности университета в настоящее время является создание действенной инновационной инфраструктуры, основанной на партнерстве науки, бизнеса и производства. Основополагающими звеньями инновационных проектов, без которого невозможна инновационная деятельность, являются идеи и знания авторов и разработчиков новых технологий.

Патентная активность всегда была важнейшим показателем инновационного потенциала и одним из ключевых показателей, характеризующих научно-исследовательскую деятельность университета. За весь период существования вуза изобретательская деятельность его сотрудников, как и изобретательская деятельность всей страны, претерпевала значительные изменения.

С 2011 года, наблюдается значительный рост изобретательской активности сотрудников, студентов и аспирантов. Ежегодно регистрируется до 100 объектов интеллектуальной собственности. Многие разработки, созданные сотрудниками университета, аспирантами и студентами и получившие патентную охрану, отмечены

дипломами Всероссийских конкурсов и выставок. Ряд молодых ученых – авторов объектов интеллектуальной собственности успешно защитили свои проекты и получили финансирование на развитие проекта. Большое число новых идей было внедрено в производство и учебный процесс.

В настоящее время в России разработана Стратегия в области интеллектуальной собственности в интересах технологического рынка России на основе положений Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Это говорит о большой значимости объектов интеллектуальной собственности для экономики страны. Большое значение в рамках Стратегии придается вопросам коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности. В период с 2010 по 2014 год университет заключил 12 лицензионных договоров с малыми инновационными предприятиями (хозяйственными обществами) на предоставление права использования объектов интеллектуальной собственности.

За последнее время на базе университета создана и успешно развивается инновационная инфраструктура университета. Инновационная инфраструктура получила значительный импульс развития в 2009 году, когда университет вошел в число победителей конкурса программ развития инновационной инфраструктуры (шифр программы № 2010-219-001.138). В дальнейшем импульс развития был дополнен бюджетным и внебюджетным финансированием, предусмотренным реализацией программы стратегического развития. Программа стратегического развития КнАГТУ была признана победителем в 2011 году. В настоящее время, инновационная инфраструктура университета состоит из следующих подразделений:

– Центр анализа конструкций и процессов;

– Центр коллективного пользования научным оборудованием «Новые материалы и технологии»;

– центр быстрого прототипирования и цифрового производства;

– Дальневосточный опытовый бассейн (45м), который входит в тройку самых крупных опытовых бассейнов в Российской федерации; бассейн оснащен, современным электронным измерительным оборудованием;

– Центр ТРИЗ-Амур;

– технопарк КнАГТУ, в состав которого входят: центр гибкого контрактного производства; центр инновационного консалтинга; отдел трансферта технологий, студенческий бизнес-инкубатор;

– центр робототехники и автоматики;

– региональный учебно-научный центр энергосбережения;

– лаборатория лазерных технологий и техники;

– технологический центр HAAS, оснащенный металлорежущими станками с ЧПУ HAAS (США), а также комплексом измерительного оборудования.

С 2010 года университетом создано 11 малых инновационных предприятий.

В мае 2013 г. в структуре технопарка КнАГТУ открыт студенческий бизнес-инкубатор общей площадью около 700 м^2. В настоящее время открытый бизнес-инкубатор полностью заполнен резидентами.

Учитывая значимую роль КнАГТУ в подготовке инженерных кадров для промышленности города и региона, высокую инновационную активность, а также количество создаваемых малых инновационных предприятий, которые должны стать основными резидентами индустриального парка, Правительством Хабаровского края в 2013 году принято решение о строительстве рядом с КнАГТУ первого краевого бизнес-инкубатора технологического типа. В настоящее время разработан проект, выделена земля и начато строительство. По плану строительство должно завершиться в мае 2016 года.

Высокая активность всего научно-педагогического коллектива и вклад каждого сотрудника в развитие и процветание университета позволяют нашему вузу сохранять ведущие позиции образовательного, научно-исследовательского и инновационного центра Хабаровского края.

Роль фундаментальной механики деформирования в совершенствовании инновационных технологий обработки конструкционных материалов и изготовления металлоизделий

А.А. Буренин[1]

[1] Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, РОССИЯ, 681005, mail@imim.ru

Реферат **– работа посвящена исследованию роли фундаментальной механики деформирования в процессе создания новых и совершенствования существующих инновационных технологий обработки конструкционных материалов при изготовлении металлоизделий в различных отраслях промышленности.**

Ключевые слова **– механики инновационная технология конструкционные материалы металлоизделия**

На протяжении веков фундаментальная механика деформирования оставалась надежным основанием для расчетного прогнозирования прочности и работоспособности конструкций. Методы расчетов конструкционных элементов, обобщенные впоследствии собирательным термином «сопротивление материалов», позволяли расчетно оценивать поведение элементов конструкций, находящихся под действием нагрузок, не допуская возникновения в них необратимых деформаций. Именно с присутствием необратимых деформаций связывалось исчерпание прочностного ресурса как элементов, так и конструкции в целом. Совершенствование методов подобных прочностных расчетов вылилось в теорию, составившую основную часть фундаментальной теории упругости – эластостатику. Непосредственно отвечающие запросам практики изящные методики расчетов напряженно-деформированных состояний в твердых телах как точные, так и приближенные оказались достоянием не только эластостатики, но и математической физики в целом, существенно определяя прогресс последней. Вклад отечественных ученых при этом оказался во-многом определяющим, достаточно в этой связи упомянуть результаты работ И.Г. Бубнова, Г.В. Колосова, Б.Г. Галеркина, А.И. Мусхелишвили, Г.Н. Савина. Их усилиями и усилиями многих и многих других ученых эластостатика приобрела современный законченный вид. Наличие многочисленных прикладных пакетов программ расчетов переводит данную теорию, по-существу, в разряд прикладных инженерных дисциплин. Развитие ее связывается, главным образом, с изучением нелинейных эффектов деформирования (устойчивость, ударные волны) и случаем выраженной неоднородности материалов (композиты).

Иной подход к расчетам прочности конструкций связан с практической потребностью в расчетах конструкций одноразового использования (корпусов взрывных устройств, отделяемых ступеней ракет и др.). Так был вызван к жизни метод расчета ресурса конструкций по «предельному состоянию». Теперь необратимые деформации допускались настолько, чтобы конструкция оставалась целостной до предельного момента ее использования. До своего совершенства такой подход был доведен Л.А. Галиным, что совсем не означает законченности в его развитии.

Оценки усталостной прочности конструкций, находящихся в условиях переменности внешних нагрузок, также потребовали учета необратимости деформирования. Такой учет, однако, не связан с достижением предельных уровней в напряжениях, как в предыдущем случае, а диктуется проявлением вязких свойств деформируемых материалов. Именно вязкие свойства повинны в эволюции во времени даже с точки зрения теории упругости стационарных состояний (ползучесть, релаксация напряжений). Хотя бы параметрическое включение времени в системы уравнений прочностного анализа за счет учета реологических свойств материалов уже позволяет провести постановки задач длительной прочности и получить требуемые ответы (Ю.Н. Работнов, А.А. Ильюшин, С.А. Шестериков и др.). В относительно недавних наших работах [1, 2] было показано, что даже учет возможности идеального пластического течения не способствует постановке задач усталостной прочности. Эффект приспособляемости дефекта сплошности (микропора, микротрещина) к эксплуатационным нагрузкам по типу «нагрузка – разгрузка» приводит к постоянству в геометрии дефекта и постоянству на каждом цикле разгрузки в уровне и распределении остаточных напряжений в его окрестности. Выход из такого парадоксального положения связан только с учетом реологических (вязких) свойств материалов.

Предметом дальнейшего нашего интереса являются технологии обработки материалов (главным образом металлов) с целью производства изделий, что требовало принципиально иного подхода к расчетному прогнозированию. Такие технологии (прокатка, волочение, штамповка и др.) подразумевали существенное формоизменение при деформировании. Следовательно необратимые деформации оказываются главенствующими, а обратимые (упругие) по сравнению с ними пренебрежимо малыми. Таковыми оказались предпосылки в интенсивном развитии исследований в рамках теории идеальной пластичности и методов жесткопластического анализа в частности. Насущность интересов инженерной практики задавала темп развития теории, а теория в свою очередь служила развитию и оптимизации соответствующих технологий. Особо следует отметить триумфальное развитие в прошлом веке теории пластического течения. Система уравнений теории течения идеально пластических сред записывается в скоростях (не в перемещениях) и потому требование малости деформаций, характерное для теории упругости или для теории упругопластического тела типа Прандтля – Рейса, оказалось для такой теории жестко- или вязкопластичности несущественным. Это позволяло ставить и решать в рамках такой теории важные для инженерной практики задачи, моделирующие технологии прокатки, штамповки и др., где деформации невозможно считать малыми. Развитие теории идеальной пластичности неразрывно связано с работами отечественных механиков (А.Ю. Ишлинский, С.А. Христианович, В.В. Новожилов, А.А. Ильюшин, Д.Д. Ивлев, В.Д. Клюшников и др.)

Таким образом, в любом процессе деформирования при феноменологическом подходе к его изучению проявляются и упругие, и вязкие, и пластические свойства реальных материалов. Только в прочностных расчетах определяющими оказываются упругие свойства, а другими можно пренебречь, в расчетах на усталостную прочность – вязкие, в моделировании технологических процессов, основанных на интенсивном формоизменении, - пластические. Когда-

то, как в эластостатике, допускается возможность пренебречь необратимыми деформациями (пластическими, деформациями ползучести), а когда-то обратимыми (упругими), как в теории идеальной жестко- или вязкопластичности. Часто, как в большинстве классических теорий, деформации возможно считать малыми, что существенно упрощает теорию и соответствующий математический аппарат, а в некоторых задачах, моделирующих технологические условия процесса деформирования, считать их малыми заведомо непозволительно. Выбор необходимой математической модели и строящейся на такой основе теории всецело прерогатива инженера или исследователя, проектирующих процесс или устройства, его обеспечивающие. Следует иметь только ввиду, что математическая модель обязана быть простейшей из возможных, так как даже современный математический аппарат и вычислительные средства остаются не универсальными и целый ряд механических процессов оказывается за пределами их расчетных возможностей.

Итак, расчетное прогнозирование в процессах, включающих в себя значительное формоизменение материалов, базируется до настоящего времени, главным образом, на теории идеальной пластичности. Обратимыми (упругими) деформациями в этом случае пренебрегают, полагая их малыми по сравнению с необратимыми (пластическими). Что же приносится в жертву при таком упрощающем математический аппарат ограничении? Какие эффекты в таком случае заведомо остаются за рамками математического моделирования? Игнорирование упругих свойств материалов в условиях их интенсивного деформирования непосредственно приводит к полному игнорированию упругого последействия при разгрузке, формирования полей остаточных напряжений и др. Как раз в условиях упругого последействия при разгрузке (на стадии освобождения от оснастки) формируется итоговая геометрия изделий, а геометрическая точность является знаковым параметром для целого ряда технологических процессов (высокоточная штамповка, формование). Возникновение остаточных напряжений в продеформированных материалах после снятия внешней нагрузки также является упругим эффектом, который невозможен в идеально пластических материалах. Уровень и распределение остаточных напряжений во многом определяются также процессом упругого последействия. Для целого ряда современных технологий металлообработки задача расчетного прогнозирования итоговой геометрии изделий и распределения в них остаточных напряжений оказывается значимой. Упругое последействие может сказываться существенно на степени неконтролируемого изменения в геометрии разгружаемых изделий (до коробления тонкостенных конструкций). Именно оно окончательно формирует итоговое поле остаточных напряжений. Таким образом именно требование современных технологий обработки материалов, изготовления и упрочнения металлоизделий настоятельно требуют учета в расчетах упругих свойств деформируемых материалов при том, что хотя бы необратимые деформации оставались при этом не малыми. Такой вызов к фундаментальной механике деформирования предполагает создание математической модели больших деформаций, в которой для необратимых деформаций отсутствовало бы предположение о их малости, а обратимые деформации необходимо присутствовали бы, и создание соответствующих расчетных методов. Желательным при этом было бы, чтобы математическая модель оказалась предельно простой, не включала бы в себя дополнительные постоянные и функции процессов, для задания которых потребны были бы специальные серии экспериментов, чтобы эффекты, порождаемые моделью были бы объяснимы сложившимися представлениями, чтобы существовала возможность постановок и решения модельных задач теории, основанных на такой модели. Самостоятельной проблемой остается разработка адекватных моделей приближенных методов и программ расчетов, так как существующие комплексы, рекламно заявляя о такой их возможности, принципиально не приспособлены для решения таких задач.

Трудности в составлении обозначенной математической модели преследуют ее с самого начала. Действительно, конструирование модели предполагает разделение опытно измеряемых полных деформаций на обратимую и необратимую составляющие, которые измерить в эксперименте невозможно. Это только малые полные деформации можно представить в форме суммы малых же обратимых (упругих) и необратимых (пластических, деформаций ползучести). Более того, последние также можно представлять суммой пластических деформаций и деформаций ползучести. В случае больших деформаций такое разделение геометрически некорректно. Тогда что же такое обратимые деформации и что следует назвать необратимыми? Опыта для такого разделения, как отмечалось, не существует. Разгруженное тело, накопившее до того необратимые деформации, необходимо содержит в себе остаточные деформации, часть которых обратима и задает остаточные напряжения, а часть необратима. Дальнейшее снятие обратимых деформаций (и напряжений) можно связать с разделением тела на части, затем опять на части и так до бесконечности. Технологические приемы (отпуск, отжиг) способствуют снижению уровня остаточных напряжений (и, следовательно, обратимых деформаций), но не до их полного снятия. Потому не случайно положение о существовании свободного состояния тела в механике деформирования принимается в качестве основополагающей гипотезы, необходимой для самого определения понятия деформаций. Следовательно разделение деформаций на обратимые и необратимые связано с произволом, который следует внести при составлении феноменологической модели. Но произвол и остается только произволом.

Встает и другая проблема, опять чисто кинематическая. В классических теориях, строящихся на предположении о малых деформациях, важную роль

играют скорости деформаций. Через них записываются и ассоциированный закон пластического течения и закон ползучести. Проблем при этом не возникает; когда деформации малые, то скорости деформаций являются просто частными к производным от деформаций по времени. Когда деформации большие такую производную следует заменить объективной производной тензора деформаций, но последняя не является единственной, их бесконечно много. Встает проблема «выбора» объективной производной, то есть возникает следующий произвол, для разрешения которого снова не остается фундаментальных условий. Опять произвол остается произволом.

Разрешение этих, до времени не упоминаем о других, проблем фундаментальной механики деформирования достаточно долгое время тормозило ее поступательное развитие. Наделалось достаточно много ошибок. Впервые геометрически непротиворечивое разделение полных деформаций на обратимые и необратимые было предложено Е. Ли [3] в 1969 году. Именно с этого года начинается история развития теории больших деформаций, включающих в себя как необратимые, так и обратимые деформации. Предложение Е. Ли состояло в предположении о взаимно однозначном соответствии каждому актуальному состоянию деформирующегося тела другого его состояния, называемого состоянием полной разгрузки. Последнее является таким состоянием тела, когда в нем полностью отсутствуют обратимые деформации. Выше уже замечалось, что подобное состояние возможно только при бесконечном измельчении тела со снятием нагрузок со всех ее бесконечно малых частей. Иначе, такое состояние является гипотетическим. Данное обстоятельство не препятствует составлению математической модели, в которой отсутствуют геометрические противоречия. Такой подход до настоящего времени остается наиболее употребительным. Проблема «выбора» объективной производной [4] при этом остается в качестве именно выбора.

Следуя формализму неравновесной термодинамики, В.П. Мясников предложил [5] иной подход к определению обратимых и необратимых деформаций. Объявляя последние термодинамическими параметрами деформируемого тела и исходя из общих требований данного формализма, предполагалось определить их формулированием для них дифференциальных уравнений их изменения (переноса). Их отличительные особенности и их взаимозависимость предполагалось отразить в источниках и потоковых слагаемых формулируемых уравнений изменения. Таким способом определение составляющих деформаций и составление через них полных переносится из области геометрической алгебры в область дифференциальных тензорных соотношений. Обсуждаемая сложность таким способом не исчезает, а лишь переносится в другую часть построения математической модели. Очевидно, что с аксиоматической точки зрения оба таких подхода равнозначны [6].

Практика использования результатов фундаментальной механики деформирования в ее классическом варианте (малые деформации) выработала у инженеров – технологов ясное воззрение, что в процессах разгрузки необратимые деформации не меняются, если только не происходит повторного пластического течения [1], а напряженное состояние в теле полностью задается уровнем и распределением обратимых (упругих) деформаций. Возможно ли в теории больших деформаций сохранить такие механически объяснимые свойства? Несомненно, что такие свойства вместе с изотропией деформирования упростили бы математическую модель, а может быть упростили бы также соответствующий математический аппарат в соответствии с продекларируемым ранее стремлением в построении наиболее простых моделей, которые отражали бы лишь только основные особенности процесса интенсивного формоизменения. Оказалось это возможно [6] при совместном использовании отмеченных выше подходов к построению кинематики с разделением консервативного и диссипативного механизмов деформирования предположением, что термодинамические потенциалы (плотности распределения внутренней или свободной энергии) не зависят от необратимых деформаций, а последние задают диссипативный механизм деформирования (диссипативную функцию, потенциал ползучести). Конкретные соотношения, следующие из законов термодинамики и специально построенной кинематики можно найти в [6], поэтому здесь повторять их не станем.

Разделить необратимые деформации на пластические и деформации ползучести в телах, обладающих и пластическими, и вязкими свойствами тем более оказывается аксиоматически невозможно. Необратимы и те и другие. Экспериментов, способных привести к пониманию, что это вот деформации ползучести, а это другие – пластические, придумать невозможно. В недавней работе [7] для целей математического моделирования технологий холодной формовки было предложено их и не разделять алгебраически, поскольку и те и другие необратимые. Тогда в чем же состоит их различие? А оно состоит в разных механизмах их накопления: с одной стороны с самого начала процесса деформирования медленно накапливаются необратимые деформации за счет механизма ползучести, а с другой при выходе напряжений на поверхность нагружения начинается быстрый их рост за счет механизма пластического течения. При разгрузке происходит обратная смена механизмов накопления необратимых деформаций. За подробностями отсылаем к работе [7].

Заключая текст настоящей заметки, выскажем основное заключение, ради которого собственно и она была написана. Совершенствование промышленных технологий в части их коренного обновления невозможно без привлечения самых последних достижений фундаментальной науки. Только на такой основе возможно расчетное прогнозирование в

технологических процессах и, следовательно, оптимизация последних по разным их параметрам. Но потребности инженерной практики оказываются при этом надежным стимулирующим факторов в развитии фундаментальной науки. Приведенный здесь пример является в этом особенно характерным.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Буренин А.А., Ковтанюк Л.А., Полоник М.В. Возможность повторного пластического течения при общей разгрузке упругопластической среды // ДАН. 2000. Т. 375, № 6. С. 767 – 769.
[2] Буренин А.А., Ковтанюк Л.В., Полоник М.В. Формирование одномерного поля остаточных напряжений в окрестности цилиндрического дефекта сплошности упругопластической среды // ПММ. 2003. Т. 67, вып. 2. С. 316 – 325.
[3] Lee E.H. Elastic – plastic deformation at finite strains // Trans ASME: J/ Appl. Mech. 1969. 36, N 1. P. 1 – 6.
[4] Левитас В.И. Теория больших упругопластических деформаций при высоком давлении. Киев: Наукова думка, 1987. 232 с.
[5] Мясников В.П. Уравнения движения упругопластических материалов при больших деформациях // Вестник ДВО РАН. 1996. № 4. С. 8 – 13.
[6] Буренин А.А., Ковтанюк Л.В. Большие необратимые деформации и упругое последействие. Владивосток: Дальнаука, 2013. 312 с.
[7] Белых С.В., Бормотин К.С., Буренин А.А., Ковтанюк Л.В., Прокудин А.Н. О больших изотермических деформациях материалов с упругими, вязкими и пластическими свойствами // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Механика предельного состояния. 2014. № 4. С. 144 – 156.

Материалогия – новый этап в развитии науки о материалах

А.Д. Верхотуров[1], Б.А. Воронов[1], А.М. Шпилёв[2], А.И. Евстигнеев[2], В.А. Макиенко[3], Л.А. Коневцов[4]

[1] Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, РОССИЯ, 680000, verhoturov36@mail.ru
[2] Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, knastu@knastu.ru
[3] Дальневосточный государственный университет путей сообщения, РОССИЯ, 680021, mvm_tm@festu.khv.ru
[4] Институт материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН, РОССИЯ, 680042, konevts@narod.ru

***Реферат* - Рассмотрен вопрос о становлении нового этапа в развитии науки о материалах. Проанализированы периоды и этапы развития, условия появления науки о материалах и её разделов, парадигмы этапов, роль циклического круговорота вещества и материалов во "второй" природе. Дана критика взглядам некоторых зарубежных учёных на становление и развитие науки о материалах.**

***Ключевые слова* - наука о материалах, материалы, металлургия, химия, физика, металлография, металловедение, материаловедение, материалогия**

I. ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно значительное влияние материалов на развитие локальных цивилизаций и общечеловеческой цивилизации с древнейших времён и до настоящего времени. Однако разработка и получение материалов на протяжении тысячелетий осуществлялась практически без поддержки науки методом "проб и ошибок". Такое положение связано с чрезвычайно сложной и комплексной проблемой создания, получения материалов с заданными свойствами. Для этого требовалось интегрировать передовые достижения фундаментальных наук и прежде всего физики, химии, минералогии, механики, металлургии. Эти науки должны были созреть до возможности принять участие в проблеме получения материала.

В настоящее время в литературе не имеется общепринятого вывода о начале возникновения науки о материалах (НМ), истоках и предшествующих дисциплинах, основных этапах и дальнейших путей её развития. Нет общепринятых определений термина НМ. Так, например, в англоязычной литературе говорится о НМ, а в отечественной литературе этот термин является синонимом "материаловедения", хотя это большая разница.

Вопросу становления и развития НМ уделяется значительное внимание, особенно в зарубежной литературе [1-3]. В этом аспекте необходимо отметить и отечественную литературу – "Неорганическое материаловедение в СССР" и "Физическое материаловедение в СССР" [4], [5] инициатором и организатором которых был выдающийся материаловед Г.В. Самсонов, а также [6], [7].

Анализ литературных данных [1-3] показал, что можно обозначить два основных взгляда на проблему становления и развития НМ. Р. Мейл [3], С.С. Смит [2] утверждают, что НМ такая же древняя "как философия и наука вообще", при этом прослеживается развитие физической металлургии с древнейших времён [3].

С другой стороны известный учёный в области физической металлургии Р. Кан в своей книге "Становление науки о материалах" (в отечественном издании "Становление материаловедения") пишет о том, что НМ возникла в США в 1959-1960 гг., а в других странах её появление было отсрочено, по крайней мере, на десятилетия [1]. В то же время В. Кинджери утверждал, "в 1950 году ещё не существовало ни материаловедения, ни керамики, ни большей части того, что мы считаем технологиями получениями материалов" [8]. Кроме того, Р. Кан считал, что основным этапом в развитии НМ являлась металлургия и формирование НМ происходило последовательно: металлургия→ физика твёрдого тела → наука о материалах (рис. 1). Однако в своей книге Р. Кан отнёс металлургию к "некоторым другим истокам" и не включил её в дисциплины, предшествующие появлению НМ, отвёл ей роль второстепенного источника появления НМ. В этом случае методологическая схема Р. Кана ещё более

упрощается: “физика твёрдого тела→ НМ”. Можно предположить, что Р. Кан подразделил процесс становления НМ на два этапа: подготовительный (до ~1959 г.) и этап становления НМ с ~1959 – 1960 гг. с подключением физики твёрдого тела к проблемам металлургии, которую он не относит к научной дисциплине.

С другой стороны Р. Мейл [3] условно разделил становление и развитие НМ на 5 периодов (рис. 1, таблица 1). Следует отметить, начиная с древнейших времён (от Шумера, Междуречья, Тутанхамона) и до середины XX века НМ не значится в списке отдельных наук. Не было упоминания о НМ в классификациях науки и знания в Древней Греции, “восточных” учёных, римского энциклопедиста Марка Веррона, классификации в Средние века Гуго-Сен Викерского, Дидаскалионе, классификации Ф. Бэкона и Р. Бэкона, Ф. Энгельса [9]. Только во второй половине XX века в работе по классификации наук академика Б. М. Кедрова, в разделе технические науки, появилось материаловедение [10].

Исходя из заключения Р. Кана и Б. М. Кедрова, НМ возникла во второй половине XX в. – это совпадение чисто формальное. Ни Р. Кан, ни Р. Мейл, ни Б. М. Кедров не приводят ни критериев, ни принципов начала возникновения НМ и её этапов. Кроме того, заявление Р. Кана на первой странице [1], в первом предложении, что наука о материалах возникла в США является бездоказательным. В соответствии с нашими исследованиями первая кафедра, первые учебники и лекции по материаловедению в ИНВТУ им. Баумана, первый академический институт по материаловедению в СССР появились много раньше.

По Р. Кану:

Этапы	Подготовительный этап		НМ
	Металлургия	Физика твёрдого тела	Материаловедение 1950~1960

По Р. Мейлу:

Этапы	Античность~ ~XIX в.	Физическое металловедение XIX в. ~ 1900 г.	НМ		
			1900 ~ 1940 г.	1940 ~ 1963 г.	1963 ~ 1982 г.
	1	2	3	4	5

Рис. 1. Временная схема развития НМ (физического металловедения) по Р.Кану и Р. Мейлу

Таблица 1. Основные события и люди этапов 1-5 в НМ по классификации Р. Мейла

	Этапы в НМ	Основные события в НМ
1	Античность –XIX в.	Ранние познания свойств меди, золота, серебра, свинца, железа; практическая металлургия, минералогия, физика, кристаллография (Тутанхамон, Плиний, Агрикола, Гук, Ньютон, Реомюр, Бэкон, Лавуазье, Хилл, Клот, др.)
2	XIX в. – 1900 г	Становление НМ на базе химии, физики, механики, металлографии, основ физики металлов, электрохимии, термохимии, термодинамики, физической кинематики; новые методы получения стали, легирование (Аносов, Сорби, Чернов, Бессемер, Сименс, Мартен, Хантсман, др.).
3	1900-1940 гг	Дальнейшее развитие НМ на базе объединения теорий, применения нового научного оборудования, открытий дифракции рентгеновских лучей , фазовых, кристаллографических превращений, внутренних напряжений, старения, дислокаций (Лауэ, Брегг, Тамман, Курдюмов, др.).
4	1940-1963 гг.	Интенсивное развитие НМ, новые методы исследования и приборы, обобщения новых научных и известных знаний; ионный микроскоп, микроанализатор, электронный микроскоп, теория пластичности, вакансионная, рекристаллизации (Миллер, Кастинг, Зворыкин, Чалмерс, др.)
5	1963-1982 гг.	Дальнейшее развитие НМ на базе современных и известных научных данных, методов, оборудования: ориентационные соотношения между фазами, просвечивающая электронная микроскопия, растровый микроанализатор, рентгеновский дифрактометр, эвтектическое затвердевание, исследования границ зёрен, сверхпроводимости (Мейл, Хирш, Шейл, Хант, Кан, Коен, др.).

Следовательно, в настоящее время в области НМ имеется ряд принципиальных вопросов необходимых для её формирования и дальнейшего развития, которые требуют обоснованного решения:

- обозначить первые идеи и гипотезы в НМ;
- обосновать исходные постулаты, принципы и условия появления НМ и её разделов;
- обозначить начало НМ и её этапы;
- обосновать становление нового этапа в развитии НМ.

Для определения начала НМ, этапов и её дальнейшего развития необходимо обозначить основные постулаты, принципы и условия их появления.

II. Основные постулаты, принципы и условия появления НМ и её этапов

1. НМ можно условно подразделить на два основных периода: инкубационный и научный, границей которых является первая парадигма в НМ.

2. Процесс развития НМ состоит из ряда этапов (разделов) как в инкубационном, так и научных периодах.

3. Парадигмы могут и должны существовать для этапов как в инкубационном, так научных периодах.

4. Парадигмы в инкубационном периоде отражают концептуальную схему, модель постановки проблем и их решения, основополагающие гипотезы, господствующие в определённых периодах становления НМ и признанные научным сообществом.

5. Парадигмы в научном периоде развития НМ – это совокупность научных достижений, подтверждённых

практикой, экспериментальными исследованиями и признанных научным сообществом).

6. На первых этапах инкубационного периода происходит обозначение проблемы получение, применение материалов; появление первых стратегических идей (первоэлементов, атомной, перехода одних элементов в другие, учение Аристотеля о вещи и т.д.)

7. По мере развития человеческой цивилизации непрерывно повышается количество и качество новых материалов, происходит совершенствование уже известных материалов.

8. Новые материалы обладают более широким спектром и более высоким уровнем свойств по сравнению с известными, в соответствии с требованиями к новой техники.

9. Возникновение нового раздела НМ связано с появлением новых объектов исследования, методов исследования, технологий, новых идей, интеграций с другими науками.

10. Перед НМ в настоящее время стоит насущная задача в решении глобальных проблем человечества.

Следует отметить некоторые попытки обозначить критерии становления и развития НМ. По Р. Кану [1, с.37]: “Существуют две основные трудности, связанные с попыткой обозначить природу новой дисциплины и время её возникновения, и одна из них заключается в яростном нежелании многих традиционных учёных признать за новым научным обобщением какое-то ни было значение”; “в этом случае революционная научная парадигма Куна встречает враждебность со стороны приверженцев общепринятой модели” [1, с. 37]. В данной работе мы использовали идеи Куна при разработке парадигмы в становлении и развитии НМ. В то же время Р. Кан определяет возникновение НМ: “отделением и возникновением интеграцией” [1, с. 38]. Но этот подход, наш взгляд, не отвечает в полной мере научной методологии.

III. Первая научная парадигма – начало НМ

На рис. 2 приведена временная схема становления и развития НМ. Видно, что инкубационный период в развитии НМ начался с древнейших времён и продолжался до 1869 г. А научный период начался с 1869 г., продолжается в настоящее время и будет продолжаться пока будет существовать человечество (таблица 2). Точкой раздела двух периодов развития НМ является открытие Периодического закона химических элементов Д.И. Менделеева. Анализ литературных данных показал, что открытие Д.И. Менделеевым фундаментального закона впервые отвечало всем требованиям научной парадигмы в области НМ:

1. Впервые систематизированы, обобщены и решены гипотезы древних греков о первоэлементах.

2. Впервые установлена взаимосвязь состава химических элементов с их свойствами.

3. На основе научных обобщений Д.И. Менделеева его парадигма обладала предсказательными выводами.

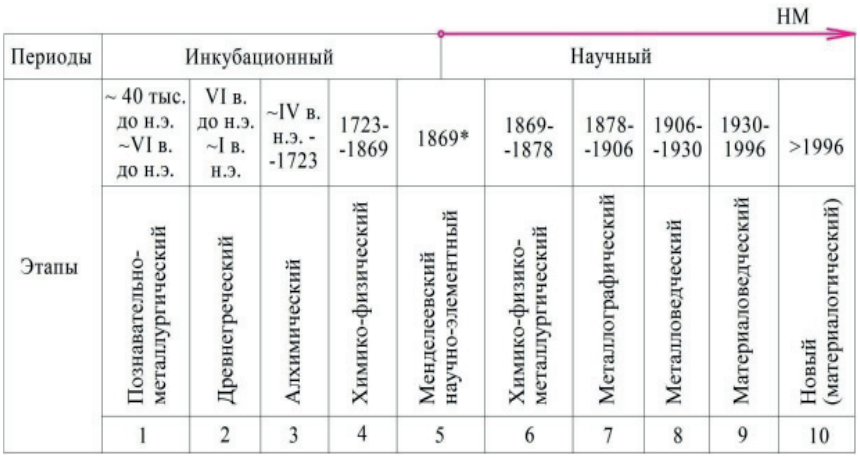


Рис. 2. Временная схема становления и развития НМ.

Таблица 2. Основные события этапов в развитии НМ

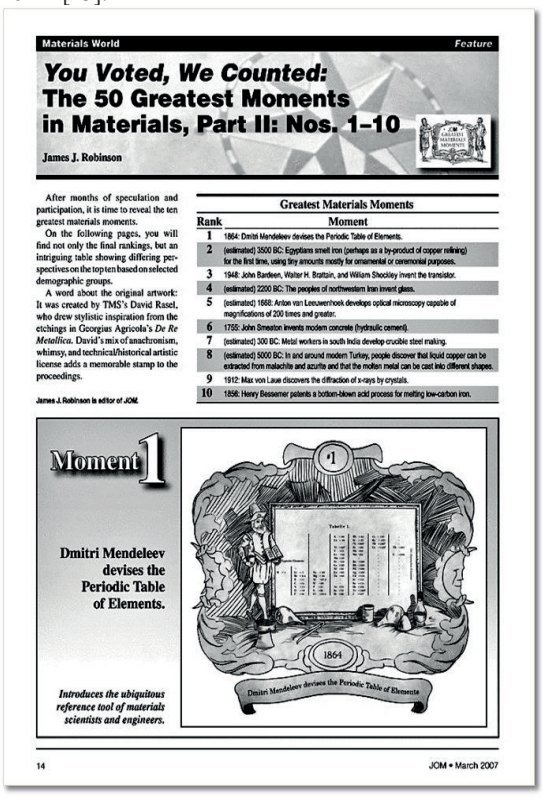
	Инкубационный период
1	***Познавательно-металлургический.*** Добыча металла из минерального сырья, появление металлургии (5000 лет до н.э.): получение меди, бронзы, открыт секрет получения железа (3500 лет до н. э). Парадигма: “руда→ огонь→ металл” – “твёрдый как камень, пластичный как медь”
2	***Древнегреческий.*** Философы (учёные) изложили первые идеи о сути веществ и процессов, гипотезу о первоэлементах (атомах) и круговом движении, составе и строении материи, послужившие основой научных исследований многих учёных на протяжении более тысячелетия. Парадигма: “всеобщее движение четырёх стихий вещества → преобразование составляющих вещества (неделимых атомов, первоэлементов, “качеств”) → новое вещество для изготовления вещи”.
3	***Алхимический.*** На протяжении столетий алхимики пытались найти способ получения золота. Плиний Старший в “Естественной истории” привёл сведения по металлургии, химии, минералогии, изложил способ получения стекла (77-78 г. н.э); изобретена бумага (105 г.); Абу ар-Рази в “Книге тайн” описал химические аппараты и процессы, впервые классифицировал вещества на землистые (минеральные), растительные и животные. В. Бирингуччо (1540 г.) опубликовал 10-томное сочинение “Пиротехния”, о способах получения металлов и сплавов, описании руд и минералов. В сочинении А. Агриколы “12 книг о металлах” (1556 г.) обобщены сведения о рудах, минералах, металлах, металлургии. Первое датированное открытие химического элемента – фосфора (Х. Бранд, 1669 г.); парадигма: “получения золота, серебра, других металлов и эликсиров – смешиванием веществ”.

4	***Химико-физический.*** Теория Флогистона – первая химическая теория (Г. Шталь, 1723); первое датированное открытие металла кобальта (Г. Бранд, 1735); "основания металлургии" (1741) и "физической химии" (М.В. Ломоносов, 1752); определение химического элемента, их классификация (А. Лавуазье, 1789); основные положения атомной теории, таблица атомных масс (Д. Дальтон, 1803); современные символы обозначения элементов (И. Барцелиус, 1813-1814); первая диаграмма "состав-свойства" (Гей-Люссак, 1819). Парадигма: "химические элементы – основа развития химии и получения материалов".
	Научный период
5	***Менделеевский научно-элементный***. Д.И. Менделеев разработал основные положения учения о периодичности, дал каноническое определение Периодическому закону и предложил новую периодическую систему элементов. Периодическая таблица элементов – основной инструмент создания материалов [11] – начало научного периода в НМ (1864-1869 гг.). Первая научная парадигма в области НМ: "химический состав элементов→ свойства".
6	**Химико-физико-металлургический.** Дж. Гиббс разработал основные направления исследований в химической термодинамике – основы современной термодинамики и физической химии (1876 г.); предложен принцип современного сталеплавильного производства. Ч. Холл и П. Роулт обнаружили электролитическое восстановление глинозема в алюминий – промышленное применение алюминия. Парадигма: "структура→ свойства".
7	***Металлографический.*** Работы Сорби по металлографии (1887г.), работы "отца металлографии" Д.К. Чернова по металлографии, термической обработке сталей, кристаллизации стального слитка (1861-1889 гг.); У. Робертс Остин построил фазовую диаграмму железо-углерод (1898 г.). Парадигма Курнакова: "состав вещества→ свойства".
8	***Металловедческий.*** Использование метода физико-кинематического анализа, исследование металлических сплавов (1906-1930 гг.) – двойных, тройных металлических систем, зависимость физических, механических свойств от фазового, химического состава; работы по теоретической прочности Гриффитса (1920 г.); основы квантовой, волновой механики (В. Гейзенберг, Э. Шредингер, 1925г.); электронная теория металлов (А. Зоммерфельд, 1927 г.); разработка твердых сплавов (К. Шретер, 1923) парадигма И.В. Тананаева: "состав→ структура→ свойства металлов".
9	***Материаловедческий.*** Н. Брюн создал композитный пластик, (1837 г.); Д. Бардин, У. Брэггейн и У. Шокли изобрели транзистор (1948 г.), получен первый искусственный алмаз (Швеция, 1953 г.); введено понятие "нанотехнология" (Р. Фейнман, 1959 г.). Материаловедение суммирует знания фундаментальных наук по физике, химии конденсированного состояния, технологии металлов. Парадигма В.Г. Самсонова: "состав→ технология→ структура→ свойства материалов".

Не случайно в журнале JOM утверждается, что периодическая таблица Д. Менделеева является "основным инструментом создания материалов" [11].

Первую парадигму в области НМ можно сформулировать следующим образом: существует взаимосвязь "химический состав элементов – свойства".

Открытие Д. И. Менделеева практически решило идею древних греков о количестве и составе первоэлементов и связи между ними, а также вносило значительный вклад в решение другой проблемы – об атомном строении вещества. И не зря сегодня имя Д. И. Менделеева первое в "Списке" наиболее важных событий и людей, которые оказали значительное влияние на развитие НМ. Так, журнале "JOM" [11] – в одном из лучших междисциплинарных изданий по науке о материалах, в 2006 г. был опубликован "список-100" наиболее важных событий и людей, повлиявших на развитие наук о материалах". От России в "Списке-100" был представлен только член-корреспондент Петербургской Академии наук Д.И. Менделеев. В феврале 2007 г. путём тайного голосования более чем 900 участников конференции общества материаловедов TMS (Minerals, Metals, and Materials Society) был утверждён новый "список-50" [12] событий и людей, наиболее значимых достижений человечества в области наук о материалах (в Орландо, США, штат Флорида). "Список-50" был приурочен к 50-летию Международного общества материаловедов, и он начинается с выдающегося открытия Д.И. Менделеева. На основании "списка-50" путём тайного голосования был получен "список-10" наиболее важных событий в области материалов", он также опубликован в журнале JOM, 2007 N 3, стр.14 (рис. 3). И в этом случае самым значимым достижением (первым в "списке-10") единогласно признана Периодическая система элементов, разработанная в 1864 году Д.И. Менделеевым. Данные голосования приведены в журнале "JOM" [12] и российском журнале "Химия и жизнь" [13].



Materials World — Feature

You Voted, We Counted: The 50 Greatest Moments in Materials, Part II: Nos. 1–10

James J. Robinson

After months of speculation and participation, it is time to reveal the ten greatest materials moments.

On the following pages, you will find not only the final rankings, but an intriguing table showing differing perspectives on the top ten based on selected demographic groups.

A word about the original artwork: It was created by TMS's David Rasel, who drew stylistic inspiration from the etchings in Georgius Agricola's *De Re Metallica*. David's mix of anachronism, whimsy, and technical/historical artistic license adds a memorable stamp to the proceedings.

James J. Robinson is editor of JOM.

Greatest Materials Moments

Rank	Moment
1	1864: Dmitri Mendeleev devises the Periodic Table of Elements.
2	(estimated) 3500 BC: Egyptians smelt iron (perhaps as a by-product of copper refining) for the first time, using tiny amounts mostly for ornamental or ceremonial purposes.
3	1948: John Bardeen, Walter H. Brattain, and William Shockley invent the transistor.
4	(estimated) 2200 BC: The peoples of northwestern Iran invent glass.
5	(estimated) 1668: Anton van Leeuwenhoek develops optical microscopy capable of magnifications of 200 times and greater.
6	1755: John Smeaton invents modern concrete (hydraulic cement).
7	(estimated) 300 BC: Metal workers in south India develop crucible steel making.
8	(estimated) 5000 BC: In and around modern Turkey, people discover that liquid copper can be extracted from malachite and azurite and that the molten metal can be cast into different shapes.
9	1912: Max von Laue discovers the diffraction of x-rays by crystals.
10	1856: Henry Bessemer patents a bottom-blown acid process for melting low-carbon iron.

Moment 1

Dmitri Mendeleev devises the Periodic Table of Elements.

Introduces the ubiquitous reference tool of materials scientists and engineers.

1864

Dmitri Mendeleev devises the Periodic Table of Elements

14 JOM • March 2007

Рис. 3. Страница 14 журнала "JOM", 2007, март

Представляет значительный интерес анализ приведённых выше "списков", т.к. в них отмечены эпохальные события и люди, повлиявшие на развитие науки и практики в области создания и получения материалов, начиная с 28 тыс. лет до н.э. и до настоящего времени. Они являются вехами прошлых достижений и фундаментом построения будущих успехов НМ. Они обозначают вектор развития, являются базой прогноза, разработки перспективных направлений

и исследований по созданию материалов с заданными свойствами, дают оценку вклада отдельных учёных и коллективов в сокровищницу мировой науки и НМ. Несмотря на ценную информацию, которая необходима для изучения и дальнейшего развития НМ, содержание списков вызывает ряд вопросов, связанных с тем, что некоторые основополагающие достижения выдающихся российских учёных не нашли в нём отражения, либо представлены в искажённом виде.

НМ до начала XX в. состояла преимущественно в совершенствовании железоуглеродистых, легированных сталей, а также в открытии новых элементов и их исследовании. В связи с потребностями промышленности и других отраслей производства в новых материалах с более высоким уровнем свойств, возникала проблема выбора и усовершенствования материалов для практических нужд. Необходима была концептуальная схема выбора и создания материалов, отработанная на модельных материалах. Разработка первой концептуальной основы (парадигмы) в НМ должна базироваться на установлении закономерностей взаимосвязи свойств с химическим составом вещества, прежде всего, для модельных материалов (однокомпонентных), а не на установлении таких закономерностей для чугунов и сталей.

Решению этой проблемы впервые в мировой науке отвечала чётко установленная связь атомных весов и химического состава элементов Д.И. Менделеева. Это был величайший научный подвиг – прорыв в НМ, с которого началось прогнозирование свойств веществ. Появилась первая концептуальная основа, модель постановки проблем и их решений – первая научная парадигма Менделеева: “химический состав элементов→ свойства” (рис. 4).

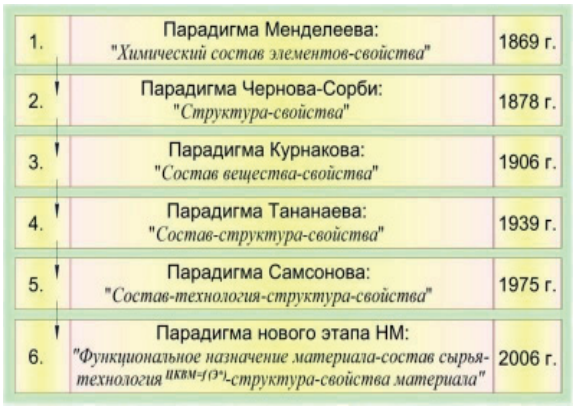


Рис. 4. Основные парадигмы в развитии НМ

В работе “Общий характер диалектики как науки” Ф. Энгельс писал, что Д.И. Менделеев “совершил научный подвиг” (архив К. Маркса и Ф. Энгельса, кн. 2-я, с. 227). Л. Троцкий в докладе IV Менделеевскому съезду 17.09.1925 г. озвучил: “Логика периодической системы, хотя и перестроенной в дальнейшем, оказалась сильнее консервативных ограничений, которые хотел в неё внести её собственный творец… Через Периодическую систему Менделеева, через химию радиоактивных веществ диалектика празднует свою самую замечательную победу!” [14, с. 15].

Разделяя этапы в развитии НМ и рассматривая технологические достижения в каждом из них, в том числе от древних народов Шумера, Египта, Персии до 19-го века, Р.Ф. Мейл отмечает: “весьма удивительно какой силой научного предвидения обладали учёные в те далёкие годы” [3, с. 13].

Следует сказать, идея древних греков об атомном строении, предложенная и развиваемая Левкиппом, Демокритом, Эпикуром, а далее Лукрецием, способствовала формированию фундаментальных основ науки, мировоззрения человечества, а также привела к получению атомной энергии. Идея о первоэлементах (Фалес, Анаксимадр, Гераклит, Анаксимен, Эмпидокл, Парменид) привела к эпохальному открытию в науке – открытию Периодического закона Д.И. Менделеева – первой общепризнанной парадигме в НМ [5], [6]. Однако эти вопросы не затрагивают ни Р. Кан, ни Р. Мейл, хотя без изучения и обсуждения первоэлементов говорить о становлении НМ практически невозможно.

Учение Платона, Аристотеля о четырёхзвенной структуре вещи, создание Аристотелем первого универсального учения – качественной физики, отталкивающегося от представлений о круговом характере всякого движения, наличия у каждой вещи её естественного места и т.д. – привели к созданию современной физики, а в НМ – к циклическому круговороту вещества и материалов (ЦКВМ) во “второй природе” [15], и это учение требует дальнейшего осмысления и развития в НМ. Учение Платона, Аристотеля до сих пор представляет интерес для материаловедов, в том числе и физиков. Следует отметить, что чтение “Тимеи” Платона открыло одному из основателей квантовой механики Э. Гейзенбергу основную идею атомистической концепции яснее, чем всё, о чём он слышал или читал до сих пор [16]. Двух основателей квантовой механики-Шрёдингера и Гейзенберга объединяло, прежде всего, знание древнегреческого языка, любовь к древнегреческой истории и философии, которые оказали значительное влияние на их “теоретизирование” [17]. Таким образом, НМ возникла в Древней Греции раньше, чем в США (как утверждает Р. Кан – в 1950-1960 гг.). В связи с этим необходимо отметить замечание Гейзенберга [16]: “Мне и в голову не могло прийти видеть в естествознании и технике нашего времени мир, принципиально отличный от философского мира Пифагора или Евклида”. Авторам данной работы “и в голову не могло придти”, что НМ возникла в США, как это представил Р. Кан.

Что касается временных периодов развития НМ, предложенных Р.Ф. Мейлом [3], они не отражают научной сущности процесса становления НМ, несмотря на их наглядность, т.к. каждый этап в развитии НМ должен иметь свою общепринятую научным сообществом модель постановки проблем и их решения (парадигму). Таким образом, для обозначения каждого нового этапа НМ и стратегии его развития предлагаются следующие начальные условия:

1. Процесс зарождения и развития НМ, состоящий из ряда этапов, начинался в глубокой древности.

2. На каждом этапе происходит обозначение проблемы получения, технологий переработки исходных материалов, изучения свойств, появление

стратегических идей (атомной, первоэлементов перехода одних элементов в другие, т.д., по этапам).

3. Каждый последующий этап должен иметь свою парадигму; по мере развития НМ должна происходить её эволюция.

4. Основной стратегической целью НМ является полученного материала с заданными свойствами, изучение физико-химической природы исходного сырья и материала.

5. По мере развития человеческой цивилизации непрерывно повышается количество новых и уже используемых материалов и их качество.

6. Производство новых материалов имеет всё более высокую наукоёмкость и соответствие требованиям новых средств деятельности человека.

7. Возникновение нового этапа НМ связано с появлением новых материалов, идей, методов и объектов исследования, технологий, не создающих ГПЧ.

С учётом этого и литературных данных нами предлагается временная ось становления НМ (рис. 2)

IV. Основные этапы развития НМ в научном периоде

В конце XIX и начале XX вв. проявились специфические особенности развития НМ, связанные с преимущественным использованием стали и чугунов. Потребности практики, получение сталей и чугунов с высоким уровнем свойств, стали основной темой научных исследований. Использование оптических микроскопов, появлением новых идей и новых методов исследования позволило установить значительное влияние структуры сталей и чугунов на их свойства (Реомюр, П.П. Аносов, Сорби, Д.К. Чернов, А. Совье, др.). Значительный вклад в изучении структуры сталей и чугунов внесли учёные Чернов и Сорби, что позволило сформулировать новую парадигму в развитии НМ “структура→ свойства” (рис. 4). На её основе появился новый раздел в НМ – ***металлография*** – наука о структуре металлов и сплавов. Появление металлографии связано напрямую с требованиями металлургической практики не только к получению материалов с заданной микроструктурой, но и, по возможности, к повышению качества материала. Исследования в этом направлении привели к значительному повышению свойств железоуглеродистых сплавов. Начала микроскопической металлографии П.П. Аносова, открытие Д.К. Черновым “критических точек”, исследования микроструктуры Сорби (1864) позволили французскому металлургу Ф. Осмону сделать дальнейший большой вклад в развитие новой дисциплины в области НМ – металлографии. Основными методами металлографии являлись микроструктурный и термический анализы. Впервые были установлены численные зависимости структуры и свойств элементов. При этом систематические исследования по методологической схеме “химический состав→ свойства” хотя и проводились, но были второстепенными в связи с практической монополией одного элемента – железа (Fe) и его сплавов.

Это обстоятельство требовало, прежде всего, исследований влияния на свойства сплавов не только их состава, но и структуры. Вследствие этого, в России, при Императорском московском техническом училище (ИМТУ) А.М. Бочваром, в 1908-1909 гг. была создана лаборатория металлографии, и он начал читать курс металлографии. Впоследствии металлография нашла широкое применение в США. По данным А. Совье [18] в 1912 г. в США проводились металлографические исследования, в основном для экспертизы металлов и сплавов в более чем 200 лабораториях больших индустриальных фирм. В то же самое время металлография преподаётся в фактически каждой научной или технической школе. К сожалению Р. Кан этот начальный этап в развитии НМ не обозначил, хотя и называет микроструктуру третьей опорой своего треножника (другие две – атомы и кристаллы; фазовые равновесия) [1, с. 72, 101]. Однако следует подчеркнуть, что первые металлографические исследования “начал П.П. Аносов, который в 1841 г., за 13 лет до исследований Сорби, изучал под микроскопом образец дамасской стали”, как это отметил Р.Ф. Мейл [3, с. 14]. (Р.Ф. Мейл, видимо имел в виду сочинение “О булатах” (1841), в котором П.П. Аносов обобщил свои исследования, начиная с 1821 г., и внедрения им разработанной технологии получения дамасской стали в 1833 г. на Златоустовском заводе). В 1868 г. Д.К. Чернов опубликовал известную работу [19], положившую начало современной металлургии, установил зависимость структуры и свойств стали, открыл “критические точки” температуры, при которых происходят фазовые превращения. Справедливо А. Совье назвал Д.К. Чернова “отцом металлографии”. В 1899 г. на заседании химического отдела Русского химического общества была учреждена “Металлографическая комиссия под председательством Д.К. Чернова” [20]. Таким образом, парадигмой металлографии стала взаимосвязь преимущественно структуры железоуглеродистых материалов с их свойствами: “структура→ свойства”.

Накопившиеся научные знания к 1920 году показали, что содержание НМ вышло за рамки классической металлографии. В связи с этим на основе металлографии возник новый раздел НМ – ***металловедение***. Известно, что термин металловедение введён в Германии в двадцатых годах XX века. Хотя в [21, с. 603] утверждается, что ещё с 1919 г. в МИСИС существовала кафедра (при Горной Академии) “термической обработки и металловедения”, руководителем которой был Н.И. Беляев. В МВТУ кафедра “металловедение и термическая обработка” была создана в 1924 г. И.И. Сидориным. Появление новых объектов исследования (многочисленные сплавы на основе Al, Cu, других металлов и сплавов), новых методов исследования и получения металлов, а также новых идей и теорий способствовало появлению металловедения, которое появилось в России в 1924-1925 гг. Профессор И.И. Сидорин В 1924 г. начал читать лекции по металловедению [22]. Кроме того, в начале XX века появился ряд новых методов исследования состава, структуры и свойств металлов, при этом

исключительную роль в развитии НМ сыграл рентгеноструктурный анализ. Это стимулировало в пределах развития металлографии появление новой парадигмы "состав вещества→ свойства" (рис. 4). Выдающуюся роль в этом направлении сыграл Н.С. Курнаков, который сконструировал самопишущий пирометр (1903 г.) и с его помощью изучил ряд двойных металлических систем, что послужило основой созданного им физико-химического анализа. Впервые этот термин прозвучал на II Всероссийском съезде деятелей по горному делу, металлургии и машиностроению в 1913 г. на основе работ Н.С. Курнакова "химический состав→ свойства", как продолжение парадигмы Д.И. Менделеева. Появились новые объекты исследования (многочисленные сплавы на основе алюминия, других металлов и сплавов), новые идеи и теории, способствовавшие становлению металловедения. Ещё в 1918 г. в России был создан институт физико-химического анализа во главе с Н.С. Курнаковым. В 1919 г. начал издаваться журнал "Физико-химический анализ", что стало предтечей новой парадигмы нового раздела в НМ – металловедения. По мнению Е.М. Савицкого [20] металловедение – особый раздел физики – химического анализа.

В конце 20-х и в 30-е годы XX века условно началось разделение металловедения на теоретическое и практическое. На развитие НМ значительное влияние оказывала общая и неорганическая химия, ставшая основой физической химии, далее металлофизики и физики твёрдого тела. Е.М. Савицкий справедливо отметил, что: "металловеды в своих исследованиях опираются на фундамент современной науки: данные о строении вещества, квантовую физику, периодический закон Д.И. Менделеева, термодинамику и физическую химию, физику твёрдого тела" [20, с. 36]. В этих условиях существования двух парадигм в НМ: "состав→ свойства", "структура→ свойства" не способствовало дальнейшему развитию НМ. Как писал И.В. Тананаев [23, с. 14]: "Следует сказать, что в ряде современных исследований... в явном и неявном виде признается необходимость "структурного дополнения" в двухчленной формуле Н.С. Курнакова. Таким образом, возникла потребность объединить парадигмы Курнакова и Чернова-Сорби. В 1939 г. И.В. Тананаев предложил новую парадигму: "состав→ структура→ свойства" (рис. 4) [6], [23].

Однако уже в 40-50 годы XX в. новые данные по составу, структуре, свойствам материалов, всё большее использование неметаллических материалов (керамика, стекло, др.) не укладывались в рамках металловедения. Возникла проблема в рамках нового раздела НМ исследовать, изучать не только металлы, но и неметаллы, т.е. появилась потребность в ***материаловедении***. Особенно эта потребность возникла в связи с "революцией полимеров", которой Р. Кан посвятил целую главу [1, с. 313-350].

В связи с этим, ещё в 1930 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана был издан профессором И.И. Сидориным учебник "Материаловедение" [24], однако кафедра "металловедение" была переименована в кафедру "материаловедение" только в 1958 г., но это раньше, чем в США [1, с. 21]. Лекции по материаловедению в МВТУ начали читать ещё в 1925 г. на базе кафедры "металловедение" – первой кафедры такого рода в мире!

Переход от металловедения к материаловедению проходил без особых осложнений, революционных низвержений прежних положений и устоев науки – металловедение стало частью материаловедения. Кроме развития материаловедения в высших учебных заведениях, становление и развитие НМ осуществлялось как в отраслевых, так и в академических институтах СССР. "Согласно циркуляру от 5 апреля 1943 г. на базе Строительного института, Института металлотехники и Физической мастерской (бывший Институт физики АН) образован Краевой Институт исследования материалов" в г. Киеве [25, с. 76]. А в 1965 г. в г. Киеве был основан Институт проблем материаловедения на базе Института металлокерамики и специальных сплавов АН УССР. Институт возглавлял известный учёный академик И.Н. Францевич, а с 1973 г. академик В.И. Трефилов. Таким образом, когда в Британии была создана первая кафедра НМ, в СССР существовал академический Институт проблем материаловедения, достижения которого были широко известны специалистам [26].

По словам Ч.П. Копецкого [27]: "понятие материаловедение" ...практически означало "металловедение". С другой стороны, П.А. Ребиндер писал [28]: "Новое активное направление НМ призвано, очевидно, заменить противоречащее всем нашим представлениям о науке направление, носившее явно устаревшее название "материаловедение". Таким образом, когда в США и Западных странах только начали формировать "материаловедение" (Seience of materials) в СССР уже некоторыми учёными такое определение материаловедения признавалось устаревшим, что при дальнейшем его развитии оказалось справедливым. С появлением материаловедения все в большей мере проявлялся акцент не на изучение его состава, структуры, свойств материала, а на создание и его получение.

Однако все предыдущие парадигмы были нацелены на изучение веществ и материалов, были основой материаловедения ("товароведения" по выражению академика АН СССР П.А. Ребиндера), то есть необходимо было знать потребительские свойства материалов для практических нужд. В начале XX века уже резко встал вопрос не только об изучении материалов, повышении их свойств, создании принципиально новых материалов, а парадигма Тананаева уже не могла быть фундаментом принципиально нового направления НМ. Тогда и появилась новая парадигма материаловедения Г.В. Самсонова "состав→ технология→ структура→ свойства" (рис. 4), которая стала исходной базой новой науки – материалогии (как мы её назвали).

Спокойное развитие НМ было прервано возникшими ГПЧ, которые потребовали изменить вектор не только её развития, но и всей науки. В развитие парадигм Г.В. Самсонова в ИМ ХНЦ ДВО РАН предложена новая парадигма, которая, в современных условиях, должна охватить все НМ (или разделы) – металлургию, химию, физику, минералогию, кристаллографию, технологию обработки материалов и так далее, в одну

фундаментальную НМ, способную объединить теорию и практику создания материалов с заданными свойствами. Объектом исследования материалогии дополнительно стало минеральное, растительное сырьё и их отходы, что изменило и парадигму НМ: “Функциональное назначение материала→ исходный состав сырья→ технология^{ЦКВМ} → структура→ свойства материала” (рис. 4).

Можно сказать, Г.В. Самсонов, по существу, является отцом материалогии. Именно он в последние годы своей короткой жизни показал, что для создания новых материалов, прогнозирования их свойств необходима теоретическая база. Он пришёл к выводу, что центральной категорией в материаловедении постепенно становится категория “структуры”, а понятия “свойства” и “технология” также относятся к ней. В результате, прогнозирование свойств должно подняться на качественно новую ступень [29].

Кроме развития материаловедения в высших учебных заведениях становление и развитие НМ осуществлялось и в отраслевых и академических институтах СССР. В частности в 1965 г. в г. Киеве был основан институт проблем материаловедения на базе института металлокерамики и специальных сплавов АН УССР. Институт возглавлял известный учёный академик И.Н. Францевич, а с 1973 г. академик В.И. Трефилов. Таким образом, в то время, когда в Британии была создана первая кафедра НМ, в СССР уже существовал академический институт проблем материаловедения, достижения которого были широко известны специалистам [4], [5], [25].

В связи с этим необходимо отметить основные задачи НМ для решения основной её цели – создание материалов с заданными свойствами, сформулированные академиком И.Н. Францевичем [30]:

1. Обмен информацией, который имеет решающее значение в практике и теории получения материалов.

2. Создание веществ с хорошо изученными по строгим физико-химическим закономерностям свойствам (модельных материалов).

3. Развитие физики твёрдого тела, в том числе прогнозирования (моделирования) материалов.

4. Важнейшей предпосылкой к осуществлению синтеза материалов с заданными свойствами является наличие достаточно гибкой и универсальной технологической схемы их производства, как например порошковой металлургии.

Отмечая значительную роль в создании материалов с заданными свойствами физики твёрдого тела И.Н. Францевич более широко рассмотрел эту проблему, хотя и не упомянул развитие физической химии, которая успешно развивалась в руководимом им институте [30].

Кроме И.М. Францевича, другие известные российских учёные также ставили перед материаловедением ряд насущных проблем, решение которых позволило бы НМ стать на более высокую ступень развития (таблица 3).

Следует отметить, что с начала становления научного периода в НМ уже возникало несколько громких “революционных” направлений её развития:

- пластмассовая;
- биоматериалов;
- титановая (“титановый век”);
- керамическая (“новый каменный век”);
- аморфных материалов;
- наноматериалов;
- тугоплавких соединений;
- искусственных алмазов.

Однако мало кто обращает внимание на то, что в области металлургии происходит “революция”, заключающаяся в использовании концентрированных истоков энергии вместо гидрометаллургических процессов при получении материалов. Этот процесс мог бы изменить облик промышленного производства.

Таблица 3. Основные задачи в области материаловедения

1	Тананаев И.В.	Математическая обработка диаграмм состояния; применение плазмы для создания новых материалов.
2	Ставицкий Е.М.	Применение технологий с меньшей энергоёмкостью; решение проблемы перманентного обеспечения промышленности сырьём; экологические проблемы; компьютерное моделирование, расчёт и использование диаграмм состояния.
3	Францевич И.Н.	Информационное обеспечение; развитие физики твёрдого тела; использование новых технологий, в т.ч. порошковой металлургии.
4	Трефилов В.И.	Керамика; порошковая металлургия; физика твёрдого тела.
5	Самсонов Г.В	Концепция электронной локализации валентных электронов (атомная модель); порошковая металлургия; электрофизические методы получения материалов; использование концентрированных потоков энергии.
6	Третьяков Ю.Д.	Нанотехнология – шаг в будущее.

К сожалению, ни Р. Кан, ни И.Н. Францевич не предсказали вектора развития НМ и появления нового её раздела, связанного с необходимостью решения ГПЧ [31]. Наше время характеризуется коренной “перестройкой отношений между человеком и материалами” [32], и ряд отечественных учёных [31], [33]-[36] уже заметили важные стороны нового этапа в развитии НМ.

V.О НОВОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ НМ

В конце XX века перед наукой, в т.ч. НМ остро обозначился ряд грандиозных насущных проблем, глобальных проблем человечества (ГПЧ), определяющих дальнейшее развитие человеческой цивилизации, в решение которых НМ должна внести значительный вклад. К их числу относятся истощение запасов невозобновляемых природных ресурсов и деградация окружающей среды, ухудшение экологической обстановки. Отрасли промышленности, производящие материалы и являющие основой развития цивилизации, заложили базу экологических кризисов и истощения природных ресурсов. В связи с этим, изменения условий развития человеческой цивилизации и её устойчивого развития требуют изменения парадигмы развития науки в целом и науки о материалах в частности [7]. Некоторые предлагаемые расчётные модели развития человеческого общества показывают, что без решения ГПЧ коллапс неизбежен.

Следует отметить, что в [15] уже были представлены результаты по использованию отходов промышленного производства, где авторы предлагают изменить название науки “материаловедение” на “интеграционное материаловедение”. Нами предлагается “интеграция” более широкая: кроме промышленных отходов, НМ должна включить и такие объекты исследования, как отходы горного производства, минеральное и растительное сырьё. В связи с этим предлагается общую НМ обозначить как “материалогия”, в состав которой входят два основных раздела – классическое материаловедение и энтропийно-экологическая материалогия (ЭЭМ) (рис. 5). Становление нового раздела науки о материалах – ЭЭМ [37] связано с появлением ГПЧ и необходимостью их решения, т.к. изменились, по нашему мнению, не только предмет исследования но и методология НМ. Современное “классическое” материаловедение не в состоянии решить ГПЧ, так как её парадигмой является изучение взаимосвязи “состав→ технология→ структура→ свойства” (парадигма Г.В. Самсонова) [29]. Кроме того, появились другие объекты исследования и подходы в НМ, требующие изменения принципиальных основ и развития новых её ветвей.

Рис. 5. Схема составляющих звеньев материалогии

Решение ГПЧ поставило перед НМ задачу, требующую комплексного рассмотрения триады – “сырьё→ материал→ изделие (вещь)”, в которой материал занимает промежуточное положение. Такое комплексное рассмотрение соответствует выводам В.И. Вернадского о том, что наука должна работать по проблемам, а не по отдельным дисциплинам, что в свою очередь соответствует выводу К. Маркса о единой науке. В связи с этим, идейной и методологической схемой НМ (а по заключению Аристотеля – вещи), стал ЦКВМ (рис. 6), содержащий циклы “сырьевого” сектора (А, Б, В, Г – “дуги Ломоносова”), в наибольшей степени ответственных за порождение ГПЧ.

Рис. 6. Схема ЦКВМ во “второй” природе

ЦКВМ, являясь объединяющим звеном, научной основой нового этапа в развитии НМ, был предложен ранее [15] и состоял из 6 циклов. Нами предложен новый вариант ЦКВМ, состоящий из 11 циклов, в полной мере учитывающий “сырьевой” сектор [7].

Следует отметить, что потребность в новой парадигме появилась на основе становления нового этапа в развитии НМ, направленного на выработку, систематизацию и обобщение научных знаний с целью перехода биосферы Земли в ноосферу, способствующую развитию цивилизации в гармонии с естественной природой во имя Блага человечества и индивида [33]. В соответствии с этим определением и учётом ГПЧ должно быть сформулировано и определение нового раздела НМ.

Главной целью нового этапа в НМ является снижение энтропии при получении материалов из исходного сырья на всех этапах ЦКВМ и в связи с этим – улучшение экологической обстановки, особенно в регионах добычи и переработки сырья. Задачами нового этапа НМ являются: исследование и практическое применения возможности сокращения времени и расстояний между циклами добычи сырья и его переработки, получения материалов с максимальным сокращением каждого цикла производства, использование для переработки сырья и получения материалов технологий “новой индустриализации”, концентрированных потоков энергии, в том числе плазменной металлургии, металлотермии, электрошлакового переплава, плазменной, электронной металлургии, порошковой металлургии, а также изыскание, исследование и практическое использование новых видов исходного минерального, растительного сырья и их отходов, в т.ч. горного, промышленного производства.

Концептуальной и методологической основой нового этапа НМ являются эволюция парадигм в “горной науке”, металлургии, металловедении, “классическом” материаловедении, НМ [34], а также предложенная парадигма нового этапа НМ: “функциональное назначение материала→ состав исходного сырья→ технология+экология^{ЦКВМ} → состав→ структура→ свойства материала”.

Необходимо дальнейшее уточнение и научно-исследовательская проработка предложенных критерии энтропийной и экологической безопасности осуществления ЦКВМ, учитывающие энергетические затраты на единицу объёма (массы) добываемого минерального сырья, его переработку и получение

материала, а также изменения вещественного состава окружающей среды [37].

К настоящему времени разработана методология получения материалов из минерального, растительного сырья и отходов горного производства. Проведены исследования по получению композиционных материалов из минерального сырья (шеелитовый, бадделеитовый концентраты), отходов оловосодержащих руд с использованием концентрированных потоков энергии. Получены положительные результаты по фазовому и химическому составам спёка для получения шихты с бадделеитовым и шеелитовым концентратами при создании наплавочных и сварочных материалов [38]. На примере Хинганского оловорудного хвостохранилища показана возможность использования отходов оловорудных ГОКов для получения электродных материалов. Эти материалы использовались при электроискровом легировании стали Ст.3, полученные покрытия имели твёрдость до 6-8 ГПа, превышающие твёрдость подложки в 3-4 раза.

VI. Заключение

В книге Р. Кана “Становление науки о материалах” сделана попытка обозначить начала НМ и “запечатлеть основные стадии этого процесса”, а также предпосылки её становления. При этом свою книгу он предназначал для учёных и инженеров, студентов, интересующихся историей НМ

Рассматривая в эпилоге некоторые многокомпонентные основы НМ, он всё же пишет: “я по-прежнему убеждён, что центральной компонентой является микроструктура, которая лучше всего выделяет НМ из ряда остальных дисциплин; об этом свидетельствует каждая глава моей книги”. Это ещё раз говорит о том, что Р. Кан смотрел на процесс становления и развития НМ через призму физики твёрдого тела. Каждая глава его книги действительно пронизана необходимостью изучения структуры. Но цель и задача НМ – разработка и получение материалов с заданными свойствами, а для этого необходимо решать проблему взаимосвязи “состав→ технология→ структура→ свойства” (парадигма Г.В. Самсонова). Как указал И.Н. Францевич, необходимо учитывать ряд других составляющих методологической формулы, при этом структура является одним из нескольких её составляющих звеньев, необходимых для получения материала с заданными свойствами.

Крупным недостатком работы Р. Кана является отсутствие в ней эпохального открытия Д.И. Менделеева, являющегося начальной основой современной НМ. Ведь справедливо мировая материаловедческая элита оценила подвиг Д.И. Менделеева под № 1 среди всех достижений человечества в области материалов от древности (~28000 лет) до настоящего времени. Р. Кан не смог обозначить парадигму НМ. В целом, его книга содержит ценные для НМ сведения.

Выводы

1. Показано, что отмеченные Р. Каном события по становлению материаловедения первоначально происходили вовсе не в США, а в России, и “древненаучные” эмпирические знания о материалах привели к ускоренному развитию местных культур ряда древних народов.

2. Учение Платона, Аристотеля о 4-звенной структуре вещи впоследствии привело к первому универсальному учению – качественной физики, отталкивающейся от представленной о круговом характере всякого движения и наличия у каждой вещи её естественного места. Оно и сегодня нуждается в дальнейшем осмыслении и представляет значительный интерес для материаловедов, в том числе и физиков. Это учение привело к созданию современной физики, а в НМ – к ЦКВМ во “второй природе”.

3. Под влиянием химии твёрдого тела и физики твёрдого тела НМ прошла в своём развитии ряд последовательных этапов от “производственной” металлургии Г.П. Агриколы, “Горной науки” и “физикохимии” М.В. Ломоносова до металлографии, металловедения и “классического” материаловедения.

4. Развитие и становление НМ содержит парадигмальные основы, в которых наиболее значительной и общепринятой является парадигма Д.И. Менделеева.

6. В связи с необходимостью решения ГПЧ, сегодня НМ претерпевает новый этап своего развития – этап материалогии и становление нового раздела – ЭЭМ.

Литература

[1] Кан Р.У. Становление материаловедения; под ред. проф., д. ф.-м.н. Е.М. Чувильдеева. Н. Новгород: изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. 619 с.
[2] Смит С.С. Материалы. М.: Мир, 1970. с. 9-23.
[3] Мейл Р.Ф. История развития физического материаловедения / В кн. Физическое материаловедение. Т. 1 / ред. Р.У. Кан и П. Хаазен. М.: Металлургия, 1987. С. 11-40.
[4] Неорганическое материаловедение в СССР. Киев. Наук. Думка. 1983. – 720 с.
[5] Физическое материаловедение в СССР: история, современное состояние, перспективы развития /ред. Трефилов В.И., Францевич И.Н., др. Киев. Наук. Думка. 1986. – 584 с.
[6] Верхотуров А.Д., Шпилёв А.М. Введение в материалогию. Владивосток: Дальнаука, 2010. 780 с.
[7] Верхотуров А.Д., .Шпилёв А.М, Евстигнеев А.И. Основы материалогии. Т. 1, 2. Владивосток: Дальнаука. 2012. 914 с.
[8] Кинджери У.Д. Введение в керамику. //пер. с англ.М.: Изд-во литературы по строительству. 1967. – 502 с.
[9] Интернет-ресурс https://ru.wikipedia.org/wiki/Наука.
[10] Кедров Б.М. Классификация наук. Книга 3. М.: Издательство Мысль. 1985 . – 543 с.
[11] JOM's The Greatest Moment in Materials’ Science and Engineering // JOM, N2. 2006. p. 1-8.
[12] Voting for JOM's. Ten Greatest Moments in Fast sheet / JOM, № 9 (26), 2007. pp. 1-9.
[13] Комаров С.М. Календарь материаловеда // Химия и жизнь. 2006, № 11, с. 18-21.
[14] Троцкий, Л.Д. Д.И. Менделеев и марксизм (докл. 4 Менделеевскому съезду по чистой и приклад. химии, 17 сент. 1925 г.). М.-Л., 1925. 24 с.
[15] Werner E., Horbogen E., lost N., Eggeltr G. Fragen and Antworten zu Werkstoffe. Springer / Heidelberg. Dordrienht. London-New Iork. 2010. 425 p.
[16] Гейзенберг В. Физика и философия часть и целое. М.: Наука, 1989. 400 с.]

[17] Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твёрдого тела. М.: Изд-во Мир, 1969. 559 с.
[18] Совье А. Металлография и термическая обработка железа и стали. Кембридж Массачусетс. США. 1998. 487 с.
[19] Чернов Д.К. Критический обзор статей г.г. Лаврова и Калуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д.К. Чернова исследования по этому предмету. Записки Русского технического общества. 1868, № 7.
[20] Савицкий Е.М. Металловедение в Академии наук СССР / В кн. Неорганическое материаловедение в СССР / ред. И.Н. Францевич. Киев. Наук. Думка, 1983. С. 29-39.
[21] Научные школы Московского государственного Института стали и сплавов Технологического университета. 75 лет. Становление и развитие. М.: МИСИС, 1997. 628 с.
[22] История кафедры mt.bmstu.ru/history-mt 8.
[23] Тананаев И.В. Основные этапы развития неорганического материаловедения в СССР / В. кн. Неорганическое материаловедение в СССР / ред. И.Н. Францевич. Киев. Наук. Думка, 1983. 720 с.
[24] Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф., др. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
[25] Национальная Академия наук Украины 1918-2008. К 90-летию со дня основания / ред. акад. Б.Е. Патон. К.: Изд-во КММ, 2008. 670 с.
[26] Неорганическое материаловедение. Основы науки о материалах. Киев: Наук. Думка, 2008. 1152 с.
[27] Копецкий Ч.В. Предисловие / Научные основы материаловедения / ред. член.-корр. АН СССР Ч.В. Копецкий. М.: Наука, 1981. С. 3-4.
[28] Ребиндер П.А. Развитие физико-химической механики материалов как новой пограничной области знания / В сб. Научные основы материаловедения / ред. член-корр. АН СССР Ч.В. Копецкий. М.: Наука, 1981. С. 17-37.
[29] Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Электронная локализация в твёрдом теле. М.: Наука, 1976. 334 с.
[30] Францевич И.Н. Создание материалов с заданными свойствами / В кн. Неорганическое материаловедение в СССР. Киев: Наук. Думка, 1983. С. 622-633.
[31] Новая парадигма развития России в 21-м веке / ред. В.А. Коптюг, В.М. Матросов, В.К. Левашов. М. Academia, 2000. 416 с.
[32] Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов. М.:Изд-во Радиотехника, 2001. 192 с.
[33] Вернадский В.И. Размышление натуралиста. Кн. Вторая. М.: Наука, 1975. 174 с.
[34] Ларичкин Ф.Д. Научные проблемы комплексного использования минерального сырья. Ресурсовоспроизведение, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. 2003. С. 173-184.
[35] Туманов Ю.Н. Плазменные технологии в формировании нового облика промышленного производства // Вестник РАН. 2006. Т. 76,№ 6. С. 491-502.
[36] Цветков Ю.В. Николаев А.В., Самохин А.В. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов // Автоматическая сварка. 2013, № 11. С. 112-118.
[37] Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Коневцов Л.А. Энтропийно-экологическая материалогия // Экология промышленного производства. 2012, № 1. С. 5-15.
[38] Верхотуров А.Д., Макиенко В.М., Коневцов Л.А., др. Получение новых материалов в Дальневосточном регионе в условиях устойчивого развития (Часть I). Учебное пособие / ред. ч.-корр. Б.А. Воронов. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. 270 с.

Инновационные направления использования минерального сырья дальневосточных месторождений в металлургии и машиностроении

Б.А. Воронов[1], А.Д. Верхотуров[1], В.Г. Крюков[2]

[1] Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, РОССИЯ, 680000, ivep@khb.ru
[2] Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, РОССИЯ, 680000, adm@igd.khv.ru

Реферат. **Хабаровский край имеет уникальную возможность содействовать быстрому вхождению России в число развитых стран на основе формирования базовых отраслей экономики, в частности создания наукоемких направлений металлургического и машиностроительного комплексов. На Дальнем Востоке реально в среднесрочный период наладить производство композиционных, сварочных, наплавочных и инструментальных материалов на основе минерального сырья дальневосточных месторождений. Инновационность заключается в использовании технологий концентрированных потоков энергии в обработке первичного минерального сырья или продуктов его первого передела.**

Ключевые слова: **минеральное сырьё, переработка руды, инновации, металлургия, машиностроение**

I. Введение

Цель настоящего исследования заключается в создании модели развития высокотехнологичного металлургического производства на основе использования минерального сырья или продуктов его первого передела. При этом в основе переработки руд лежит принцип применения концентрированных потоков энергии в отличие от экологически ущербных пиро- и гидрометаллургии.

В этой сфере существует ряд проблем, касающихся как минерального сырья, так и способов его переработки. Следует подчеркнуть все возрастающую роль в других странах новых способов извлечения металлов из минерального сырья, в частности, с применением малоформатного производства, совмещенного с горнообогатительными комбинатами. Основные проблемы в освоении месторождений, переработке минерального сырья и выпуске высокотехнологичной продукции заключаются в следующем:

- отсутствие комплексных программ развития металлургического комплекса, интегрированных в общие федеральные целевые программы, в большинстве дальневосточных субъектов Российской Федерации;

- отсутствие прорывных технологических проектов, направленных на решение задач и предложений по формированию экологически безущербных «центров роста» [1] на основе горно-металлургического производства в Дальневосточном федеральном округе, и, в частности, в Хабаровском крае;

- отсутствие предложений по наполнению и последующему развитию высокотехнологичного металлургического производства, которое сможет обеспечить устойчивое развитие региона.

II. Материалы и методы

В настоящее время для получения композиционных, инструментальных, сварочных и наплавочных материалов, как правило, используются дорогостоящие и дефицитные химически чистые металлы или их соединения, полученные пиро- или гидрометаллургическим способами. Их вводят в состав сварочных проволок, флюсов, электродных обмазок или присадочных ферросплавов. Это ограничивает экономически выгодные масштабы применения легированных сплавов и покрытий, значительно усложняет процессы технологической сварки, наплавки и переплава металлов. Альтернативой существующих способов производства материалов может быть их получение из первичных руд или продуктов первого передела методами, использующими концентрированные потоки энергии. Это позволяет перерабатывать сырье и получать материалы непосредственно в районе его добычи в экологически приемлемых условиях.

Дальневосточными институтами ДВО РАН (институты машиноведения и металлургии, материаловедения, водных и экологических проблем, горного дела) и Дальневосточным государственным университетом путей сообщения (ДВГУПС) исследована возможность создания материалов из минеральных концентратов и непосредственно минерального сырья [2], [3]. При всех способах, кроме способа в среде защитных газов, электродный материал от начала его плавления до кристаллизации находится в контакте с жидким шлаком, образующимся при плавлении флюсов или электродных обмазок. Высокий градиент температур и большое количество тепла в ограниченном объеме позволяют легировать его элементами, находящимися в шлаке и использовать для этого не чистые металлы, а минеральное сырьё.

Работа основывается на анализе развития технологий переработки сырья и отходов в сфере «сырьевой экономики». Кроме того, учтены глобальные тенденции сохранения окружающей среды при получении материалов из сырья и отходов с использованием принципиально новых технологий. Это позволило сформулировать идею о превращении Дальнего Востока России из источника сырья в поставщика материалов, продуктов, высоких технологий и оборудования на основе применения технологий, позволяющих получать материалы в районах добычи сырья, в том числе, на мини-предприятиях [4].

Методически исследования включают:

- анализ региона с использованием современных информационных технологий для выбора различных моделей развития горно-металлургического комплекса и адаптирования их применительно к конкретным минерально-сырьевым субъектам Дальнего Востока России;

- выделение «центров роста» – территориально-производственных узлов и площадок (кластеров) для постановки более детальных исследований на основе карт территориального планирования и прогнозов с соответствующими текстовыми комментариями;

- разработка экономических моделей промышленных объектов для различных производственных ситуаций как основы роста доходов территорий;

- разработка технологий и оборудования для получения материалов на основе использования концентрированных потоков энергии.

III. Результаты

Определен ряд инновационный направлений использования минерального сырья дальневосточных месторождений в металлургии и машиностроении:

- в лабораторном варианте исследованы руды и концентраты месторождений вольфрама (Восток-2, Лермонтовское, Фестивальное), титана (Маймаканское, Куранахское), циркония (Алгаминское) и бора (Фестивальное, Дальнегорское);

- разработаны технологии и оборудование для переработки минерального сырья концентрированными потоками энергии, позволяющими получать материалы в районах добычи полезных ископаемых;

- получены композиционные, сварочные и наплавочные материалы, остро востребованные на рынках Тихоокеанского экономического региона;

- определена принципиальная возможность применения концентрированных потоков энергии для получения материалов из исходного минерального сырья.

IV. Обсуждения

Основное инновационное направление заключается в использовании высоких технологий при обработке минерального сырья, руд, концентратов и отходов горного производства в качестве альтернативы устаревшим технологиям пиро- и гидрометаллургического производства. Исследованы возможности применения перечисленных образований из месторождений вольфрама, циркония, бора и титана, располагающихся в пределах Приморского и Хабаровского краев, Амурской и Еврейской автономной областях.

Представляет интерес технология синтеза циркониевой лигатуры. Методами порошковой металлургии изготовлена композиционная оксидная и боридная керамика на основе бадделеитовых (бадделеит – минерал циркония) концентратов Алгаминского месторождения, расположенного на севере Хабаровского края. В составе руд резко преобладают минералы циркония, включая бадделеит до 50%, циркон и гельциркон до 45%, а также кварц и карбонаты. Руды комплексные, содержания элементов, помимо

кремнезема и оксида кальция, в %: оксид циркония, 0.1-62; вольфрам, до 1.5; иттрий, до 0.3; уран, до 0.1; а также гафний, ниобий, тантал. Руды зоны окисления этого месторождения представляют природный концентрат, практически не требующий предварительного обогащения.

Учеными отмеченных институтов произведены новые сварочно-наплавочные материалы на основе использования шеелитового концентрата (шеелит – минерал вольфрама) месторождений Восток-2 и Лермонтовское (Приморский край). Фазовый состав концентрата достаточно сложен (в %): WO_3 – 59.5; SiO_2 – 2.9; CaO – 26.8; MgO – 1.6; TiO_2 – 0.2; FeO – 0.6; Fe_2O_3 – 1.7; Na_2O – 0.3; K_2O – 0.1 и другие компоненты. Использовался шеелит в обмазках для сварочных электродов, в составе шихты для автоматической дуговой наплавки в электрошлаковом переплаве.

Методом металлотермии получены вольфрамсодержащие соединения, пригодные для изготовления электродов при электроискровом легировании металлических поверхностей в составе W-Me, либо W-Me-Me, где Me (металл) – железо, хром, молибден, цирконий, кобальт, никель. Составлялась специальная шихта из смеси шеелита, оксидов перечисленных металлов и алюминия. Оптимальный подбор состава шихты обеспечивал необходимый температурный режим для полного восстановления оксидов и устойчивое распределение продуктов реакции на металлическую и шлаковую составляющие. Эти материалы превосходят стандартные сплавы по изнашиванию в 1.5 раза, по жаростойкости в 1.2-1.5 раза.

Для наплавки изготовлены и апробированы керамические легирующие флюсы на основе шеелитового концентрата. По результатам экспериментальных исследований серии флюсов с различными восстановителями установлено, что наиболее оптимальным из них является ферросилиций в количестве 10 масс. %. Для повышения технологических свойств и более качественной металлургической обработки жидкого сплава в состав шихты вводились гранит и флюоритовый концентрат либо графит и флюорит. Наиболее рациональный состав флюса характеризуется наличием, масс. %: графит – 12; WO_3 – 43.4; CaO – 19.56; CaF_2 – 15.0; SiO_2 – 2.12; Fe_2O_3 – 2.76; FeO – 0.44; MgO – 1.26; P – 0.23; Na_2O – 0.17; K_2O -0.11; S – 0.17 и другие компоненты. При таком составе флюса отмечается максимальный переход вольфрама (8.9 масс. %) в переплавляемую низкоуглеродистую электродную сталь. Исследованы механические свойства и микроструктура покрытия, состоящая из равноосных кристаллов ферритно-перлитовой смеси микротвёрдостью равной 3.07-3.39 ГПа и микровключений карбидов микротвёрдостью 12.3-107 ГПа. Вольфрам наблюдается в составе карбидных фаз, эвтектоидном цементе и интерметаллидах Fe_3W_2. Коэффициент износостойкости относительно закалённой в масле стали 40ХН равен 1.46.

Исследована также возможность использования шеелитового концентрата не в качестве базовой составляющей флюсов, а как легирующих добавок. За основу флюса брали доломит. Этот минерал, согласно экспериментальным данным, является хорошим шлако- и газообразующим материалом. Он значительно повышает десульфирующую способность шлака, достаточно хорошо проводит электрический ток в жидком состоянии и увеличивает общую активность сварочной ванны. При использовании флюса с содержанием доломита 50% получен сплав следующего состава, масс. %: W – 2.8; C – 0.76; Mn – 2.04; Si – 0.07; Ti – 0.08; S – 0.023; P – 0.028.

Анализом моделей и экспериментами подтверждено, что подбором составов флюсов возможно получение большой группы вольфрамсодержащих машиностроительных сталей с широким диапазоном эксплуатационных свойств. Такие стали предназначаются для изготовления режущего, измерительного, штампового и ударного инструментов.

Разработана технология изготовления железомедных сплавов и лигатур на основе минеральных концентратов комплексных олово-вольфрам-полиметаллических руд месторождений Комсомольского рудного района в Хабаровском крае. Химический состав руд наиболее крупного Фестивального месторождения в %: Sn – 1.41; WO_3 – 0.05-0.12; Cu – 0.65-1.48; As – 0.48-1; B – 2.66-3.03; SiO_2 – 59-61.51; Al_2O_3 -7.65-11.8; Fe_2O_3 – 3.89-9.69; FeO – 4.9-8.44; MgO – 1.24; CaO – 0.53-0.83; K_2O – 0.45-1.1; SO_3 – 1.54-4.16 и другие. Большая часть этих компонентов вовлекается в расплав, а затем в конечную продукцию, что улучшает ее качество. Термические методы привлекают своей универсальностью, простотой и возможностью получать тугоплавкие соединения непосредственно из руд за счет высокой, до 3000 К, температуры.

В качестве еще одного инновационного направления в использовании минерального сырья в металлургии и машиностроении рассматривается возможность совмещения с добывающим и обогатительным комплексами перерабатывающих производств.

Учитывая мировой опыт пространственного совмещения добывающих горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) и металлургических предприятий, актуальным становится перемещение перерабатывающих производств к местам добычи полезных ископаемых. В ряде стран конструируется или уже используются мини предприятия по переработке продукции ГОКов: плазменные котлы, электрошлаковый переплав, металлотермия, порошковая металлургия, установки типа MACRO. Наиболее успешен опыт отработки месторождений вольфрама с шеелитовым типом оруденения. Суточная производительности мини предприятия составляет около 24 тонн продукции с содержанием более 94% оксида вольфрама. Определенная ограниченность мобильных установок в части сепарации, а также полного извлечения всех компонентов делает необходимым их кооперирование со стационарными

предприятиями, начиненными более сложным комплексом приборов и оборудования.

На Дальнем Востоке России в этом плане достаточно длительное время функционирует мини производство по переплавке золотосеребряных и более сложных продуктов обогащения руд драгоценных металлов и выделением практически чистого золота. В качестве «отходов» получаются серебряные и серебро-медные сплавы, иногда с редкими металлами. Разработка и внедрение таких производств крайне важны для редкоземельных и редких металлов. Для некоторых цветных металлов уже имеется опыт совмещения с ГОКами малоформатных перерабатывающих установок.

Это направление должно найти поддержку государства. При этом на определенном этапе развития экономики следует сохранить крупные стационарные предприятия, использующих пиро- или гидрометаллургические технологии. Безусловно такие производства должны совершенствоваться с учетом экологических и эстетических требований.

Весьма перспективным может оказаться объемное моделирование на основе использования местного минерального и растительного сырья и высоких технологий. В этом плане исследования на Дальнем Востоке ещё не проводились.

Выводы

Таким образом, научно-исследовательскими и учебными институтами Хабаровского края осуществлены комплексные работы по использованию минерального сырья и отходов горного производства без существенной предварительной их переработки для получения материалов и изделий. При этом были объединены усилия геологов, горняков, материаловедов, металлургов, машиностроителей, экологов и экономистов. Новым представляется выбор технологий, исключающих использование различных химикатов, прежде всего кислот и щелочей, и замена их перспективными технологиями концентрированных потоков энергии. Последние включают дуговой и искровой разряды, плазму, методы порошковой металлургии.

Высокотехнологичная продукция получается из сырья или рудных концентратов. Исследованиями охвачены месторождения циркония, вольфрама, титана и бора, располагающиеся в южной, наиболее освоенной части Дальнего Востока России. В процессе переработки используется практически весь комплекс элементов, составляющих руду. Продукция по качественным характеристикам превосходит лучшие мировые образцы из металлов или их соединений, полученных пиро- или гидрометаллургическими способами.

Оперативное производство относительно чистых материалов рассматривается в варианте совмещения горно-обогатительных комбинатов с мини предприятиями, перерабатывающими концентраты.

Предлагаемые мероприятия в целом приведут к повышению потенциала рудно-экономических районов и обеспечению стабилизации Дальневосточного федерального округа на основе рационального и комплексного использования минеральных ресурсов.

Литература

[1] Верхотуров А.Д. Формирование горно-металлургических кластеров в Дальневосточном федеральном округе как основы его устойчивого развития. Верхотуров А.Д., Крюков В.Г., Романовский Н.П., Коневцов Л.А. Труды VI евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Т.1. Якутск. 24-29 июня 2013 г. – Якутск: Ахсаан. 2013. С. 107-116.

[2] Верхотуров А.Д., Романовский Н.П., Шнайдер А.А. К вопросу о промышленном получении материалов из вольфрамсодержащего минерального сырья в Дальневосточном регионе//Вестник ДВО РАН. 2010. №1. С. 75-80.

[3] Верхотуров А.Д., Мулин Ю.И., Гостищев В.В. Получение электродов из шеелитового концентрата при применении метода металлотермии//Электронная обработка металлов. 1994. №5. С.70-73.

[4] Получение новых материалов в Дальневосточном регионе. В 2 ч. Ч.I. Верхотуров А.Д., Макиенко В.М., Коневцов Л.А. и др. Под ред. А.Д. Верхотурова. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС. 2013. 293 с.

[5] Проблемы и перспективы использования минерального сырья Дальнего Востока для производства металлических материалов. Ред. Ак. В.С. Сергиенко. Владивосток: Дальнаука. 2009. 195 с.

Принципы построения цифровых производств в машиностроении

С.Н. Григорьев, А.А. Кутин, В.А. Долгов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Россия, 127055, science@stankin.ru

Реферат **– Приведен обзор состояния проблемы создания цифровых машиностроительных производств в России и высокоразвитых странах. Предложена систематизация состава, методов и средств построения цифровых производств. Особое внимание уделено развитию технологий информационной поддержки изделий и производственных систем.**

Ключевые слова **– цифровое производство, новые производственные технологии, информационная поддержка жизненного цикла изделия, информационная поддержка производственных систем**

I. Введение

Одной из основных проблем отечественного машиностроения является острая необходимость существенного (в несколько раз) повышения производительности труда и сокращения длительности производственного цикла изготовления, обеспечения импортозамещения наукоемких изделий [1]. Принципиальным путем решения этой проблемы является создание и реализация цифровых высокотехнологичных производств. В большинстве случаев под термином «цифровое производство» подразумевается информационная (электронная) модель высокотехнологичного производства, охватывающая основные направления перспективных производственных технологий, новых материалов и информационно-коммуникационного обеспечения[2,3,4]. Эта модель включает в себя информацию обо всех процессах, протекающих на производстве, а также весь объем информации об изделии, который можно распределить по этапам жизненного цикла изделия:

конструкторские данные — сведения о геометрических, размерных связях, параметрах поверхностного слоя; технологические данные — сведения о технологии изготовления и контроля изделия и его компонентов в процессе производства, ассоциированные с информационными объектами, описывающими изделие и его комплектующие; производственные данные; данные о качестве; логистические данные; эксплуатационные данные; экономические данные.

Основным способом электронного описания изделия являются EPD-технологии (ElectronicProductDefinition), в соответствии с которыми собирается и структурируется вся информация, относящаяся к изделию. Структура производственных процессов привязывается к структуре данных о самом изделии. Для реализации такого способа необходима полная совместимость и конвертируемость данных и программных средств, оперирующих данными об изделии, информационных моделях и производственных процессах. Программно-технические средства, традиционно используемые при проектной работе: собственно системы управления проектом, решения для управления производством, логистические, финансовые, CAD/CAM-системы – не образуют единую программную платформу. Данные оказываются разбросанными по различным системам, и оперативное получение информации по проекту вызывает значительные затруднения в процессе информационной поддержки жизненного цикла изделия (рис.1).

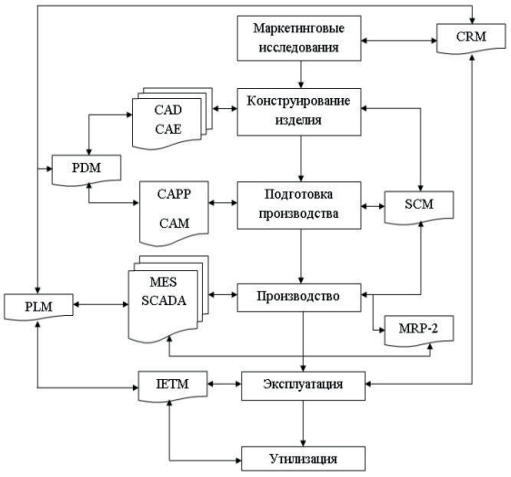


Рис. 1. Системы информационной поддержки этапов жизненного цикла изделия.

Здесь: CAD – ComputerAidedDesign – компьютерное конструирование; CAE – ComputerAidedEngineering – компьютерное проведение инженерных расчетов; CAPP – ComputerAidedProcessPlanning – компьютерное проектирование технологических процессов; CAM – ComputerAidedManufacturing – компьютерное программирование станков с ЧПУ; CRM (CustomerRelationshipManagement)– система управления взаимоотношениями с клиентами; SCM (SupplyChainManagement) – система управления цепочкой поставок как внутри предприятия, так и за его пределами; PDM-система (ProductDataManagement) – система управления данными об изделии; PLM – система (ProductLifecycleManagement) – система, реализующая технологию управления жизненным циклом изделий; MRP-2 (ManufacturingResourcePlanning) – управление производственными ресурсами (планирование производства, логистика, управление финансами и др.); MES (ManufacturingExecutionSystem) – исполнительная система производства; SCADA (SupervisoryControlAndDataAcquisition) – диспетчерское управление и сбор данных; IETM– (InteractiveElectronicTechnicalManual) – ИЭТР– интерактивные электронные технические руководства.

Разработка информационной моделиподразумевает созданиеединого информационного пространства предприятия. С расширением объема выпуска и номенклатуры продукции и повышении темпов производства потребность в информации для управления резко возрастает. Повышаются и требования, предъявляемые к информации. Созданные на предприятиях системы оказываются уже недостаточными. В новых условиях ставится вопрос об организации комплексных информационных систем с включением в них всей документации, кодов и носителей информации, охватывающих круг показателей, необходимых для управления предприятием. Новым качеством комплексных информационных систем и их составной части (информационного пространства) является то, что они

должны иметь непосредственную связь с системами управления производством экономического района, отрасли, а через их посредство – и промышленностью в целом.

II. Материалы и методы

Методология разработки информационной модели производства включает структурный и объектно-ориентированный подход. В информационной модели выделяют модель данных, модель взаимодействия объектов, динамическую модель и модель поведения (функционирования) объекта управления.

Основной целью построения информационной модели производства является установление количественных и логических связей между переменными, характеризующими состояние контролируемых показателей деятельности предприятия и его участков. Под этими переменными понимаются параметры изделия (конструкторские данные), контролируемые параметры технологических процессов, производственные данные (информация, связанная с обработкой, сборкой, транспортированием, хранением изделий).

Разработка информационной модели машиностроительного предприятия заключается в тщательном исследовании реальных информационных потоков в производстве, алгоритмов переработки информации и объектов автоматизации с целью совершенствования информационной системы, выбора технических средств механизации и разработки принципов автоматизированной системы управления предприятием [5].

На рис.2 схематично приведена концепция цифрового производства.

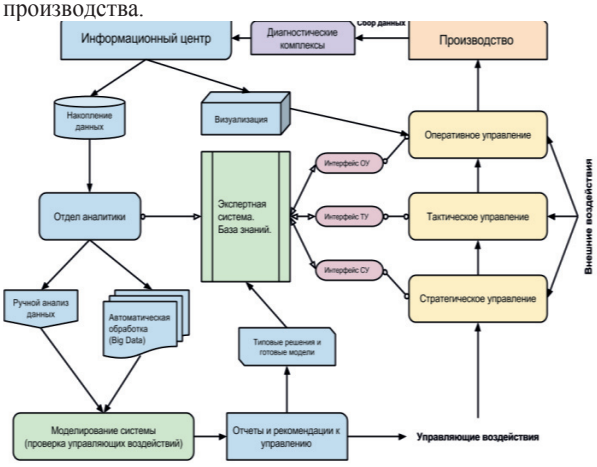


Рис. 2. Концепция цифрового производства

Основой цифрового производства является Информационный центр, в который попадают данные с реального производства, прошедшие первичный анализ с помощью диагностических комплексов.Далее Информационный центр разделяет данные на два потока: на визуализацию и накопление. Визуализируемые данные попадают в диспетчерскую, для наглядного отображения текущих процессов на производстве.Поток данных, предназначенный для накопления, проходит предобработку и упорядочивается в первичную структуру, пригодную для последующего анализа. Далее с накопленными данными работает отдел аналитики. С помощью ручного и автоматического анализа данных (с использованием технологий обработки больших объемов данных – bigdata), в накопленных данных выявляются зависимости и тенденции, которые влияют на работу производства. Полученный массив полезных данных проходит последующее моделирование на цифровом макете предприятия, по результатам которого формируются отчеты и рекомендации для разных горизонтов управления (стратегическое, тактическое и оперативное), а так же набор типовых решений и готовых моделей, которые сохраняются в базе данных экспертной системы предприятия. Все управляющие подразделения предприятия имеют собственный интерфейс для взаимодействия с экспертной системой.

Цифровой макет предприятия определяет информационные связи между элементами производственной системы предприятия при выполнении производственной программы, которые используются при структурном моделировании технологической, транспортной и других подсистем [6]. На рис. 3 приведен пример цифрового макета предприятия, на котором стрелочками обозначены логистические связи элементов технологической и транспортной подсистем, возникающие при производстве конкретного изделия.

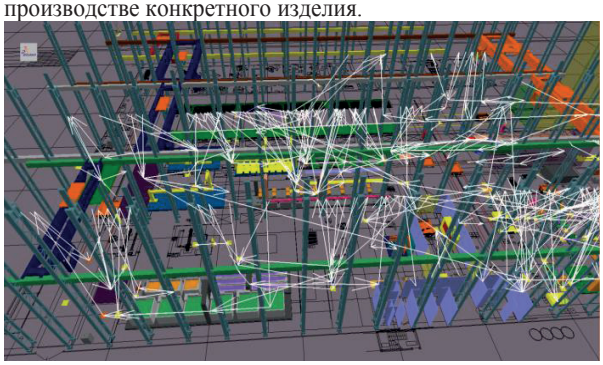


Рис. 3. Пример цифрового макета предприятия

Таким образом, управляющие воздействия, передаваемые на производство, базируются на результатах анализа и моделирования реальных процессов на создаваемых динамических вероятностных моделях

III. Результаты

Анализ функциональной структуры производственной системы, реализуемой на передовых предприятиях, показал, что она имеет существенно распределенный характер – в том смысле, что каждая из функций управления жизненным циклом имеет свою интерпретацию во всех фазах жизненного цикла на всех уровнях организационной иерархии. При этом подавляющее большинство связей между функциями носит организационный характер. Из этого следует, что производство можно рассматривать как комплекс распределенных систем организационного типа, обладающих собственным поведением. Соответственно,

требуется развитие новых методов исследования и проектирования больших организационно-технических систем, ориентированных, прежде всего, на описание и учет их поведенческого аспекта.

Анализ структуры комплекса технических средств должен проводиться для выявления влияния физических и технологических параметров элементов создаваемого изделия на его стоимость. При этом структура должна быть представлена таким образом, чтобы оценка каждого из элементов осуществлялась вектором качества, имеющим физическую и экономическую сущность, совпадающую с соответствующими составляющими вектора качества изделия.

Производственные технологии, используемые в рамках цифрового производства, требуют развития и адаптации к наукоемким изделиям двойного назначения. Для цифрового производства наиболее перспективны следующие технологии.

- Высокоскоростная многокоординатная обработка на станках с ЧПУ для изготовления сложных изделий машиностроения. Теоретическим обоснованием высокоскоростной обработки являются, так называемые, кривые Соломона, которые показывают снижение сил резания в некотором диапазоне скоростей. Но наиболее важным фактором является перераспределение тепла в зоне резания. При небольших сечениях среза, в данном диапазоне скоростей основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку. Именно это позволяет вести обработку закаленных сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Отсюда основной принцип высокоскоростной обработки – малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью резания, и соответственно высокие обороты шпинделя и высокая минутная подача. Имея возможность вести лезвийную обработку закаленных сталей можно обеспечить качество поверхности соизмеримое с электроэрозионной обработкой. Главный эффект высокоскоростной обработки – не уменьшение машинного времени за счет интенсификации режимов резания, а повышение качества обработки и эффективное использование современных станков с ЧПУ. В цифровом производстве характерно применение многокоординатных станков с ЧПУ [7]. Такие станки позволяют изготавливать сложные детали с поверхностями двойной кривизны, используя твердотельное моделирование и специализированные системы CAD/CAM [8].
- Технологии «безлюдного» производства на базе гибких производственных систем (ГПС). Концепция построения ГПС заключается в максимальной готовности оборудования к интеграции, даже в полностью автоматизированное производство без участия человека; компактном расположении компонентов, сокращении времени выполнения вспомогательных операций за счет программной логики, а также оптимизации времени выполнения операций и настройки. Основополагающим принципом данной концепции является модульный подход к построению ГПС на основе максимальной адаптации стандартных обрабатывающих и вспомогательных компонентов применительно к работе в составе модулей. Именно это позволяет обеспечить готовность оборудования к работе полностью в автоматизированном режиме, без участия человека, сохраняя оптимальное расположение оборудования. Кроме того, данный подход позволяет максимально сократить время вспомогательных операций и проводить оптимизацию выполняемых операций за счет глубокой интеграции специализированного программного обеспечения. Основные модульные компоненты объединяются с учетом индивидуальных требований и специализации по типу выпускаемой продукции с целью создать максимально компактную заказную производственную линию с максимально свободной сборочной архитектурой, соответствующей требованиям заказчика [9]. В настоящее время ГПС нового поколения отличаются высокой надежностью за счет использования различных диагностических систем [10].
- Аддитивные технологии. Принципиальное отличие аддитивных технологий от традиционных заключается в построении изделия по твердотельной модели на основе, как правило, лазерного спекания порошка, а не снятии «лишнего» материала с заготовки для получения готовой детали. На основе аддитивных технологий возможно получение изделий практически любой сложной формы с конструктивными элементами труднореализуемыми при традиционных технологиях [11].
- Комбинированные технологии. Комбинированные методы представляют собой сочетание технологий на базе различных физических эффектов (электрофизико-химическая обработка, лазерные и лучевые методы и др.), а также сочетание различных традиционных методов (точение, фрезерование, шлифование, термическая обработка) на одном станке. Такие методы применяются для изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов и сокращения времени технологического цикла.

В цифровом производстве, несомненно, применяются и другие технологии, прежде всего для обеспечения требуемого качества изделий. Это технологии получения наноструктурированных поверхностей изделий [12], прецизионные технологии контроля линейных и угловых размеров деталей [13] и другие.

Выводы

1. Реализация принципов цифрового производства заключается в органичном соединении прорывных информационных и производственных технологий для обеспечения принципиально новых значений показателей эффективности предприятий.

2. Внедрение идеологии цифрового производства в деятельность предприятий и организаций должно привести к появлению так называемых виртуальных производств. Виртуальное производство – это форма объединения предприятий и организаций, участвующих в создании изделия на различных этапах его жизненного цикла и связанные общими бизнес-процессами на контрактной основе. Причем одни и те же предприятия и организации могут одновременно входить в различные организационные структуры, формируемые для создания конкретного изделия.

Цифровое производство призвано повысить уровень кооперации и координации партнеров, а в конечном

итоге, конкурентоспособность производимой ими продукции и, соответственно, прибыль.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Григорьев С.Н.Проблемы и перспективы развития отечественного машиностроительного производства//Справочник.Инженерный журнал с приложением.2011, № 12, с.3-7.
[2] Селиванов С.Г., Гузаиров М.Б., Кутин А.А. Инноватика. М.: Машиностроение, 2013, 640 с.
[3] Баекер М. Цифровые технологии улучшают принципы бережливого производства. САПРиграфика. 2012, №7, с.42-43.
[4] M. Schenk,"More efficiency in plant engineering with digital engineering",ChemieInginieurTechnik, 2012, v.84, is.5, pp. 743-746.
[5] Григорьев С.Н., Кутин А.А. Инновационное развитие высокотехнологичных процессов на основе интегрированных АСТПП, Автоматизация и современные технологии, №11, 2011, с. 23-29.
[6] V. Dolgov, "Simulation of technological systems in custom production", Russian Engineering Research, September 2010, Volume 30, Issue 9, pp 951-955.
[7] Евстафиева С.В., Мартинова Л.И., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л.Построение специализированной системы ЧПУ для многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центров, Автоматизация в машиностроении, 2014, №6, с. 20-25.
[8] S.Grigoriev, A. Kutin, M.Turkin, "Advanced CNC programming methods for multi-axis precision machining", Key Engineering Materials,Vol. 581 (2014), pp 478-484.
[9] Кутин А.А., Туркин М.В. Повышение эффективности функционирования ГПС в современном машиностроении, Технология машиностроения, 2012, № 1, с. 56-59.
[10] Григорьев С.Н., Гурин В.Д, Козочкин М.П. и др.; под ред. С.Н. Григорьева. Диагностика автоматизированного производства //М.:Машиностроение,2011.-600с.
[11] Григорьев С.Н., Смуров И.Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом // Инновации. 2013. № 10. С. 76-82.
[12] Верещака А.С., Верещака А.А., Савушкин Г.Ю., Сивенков А.С. Многослойные наноструктурированные покрытия для режущего инструмента // Перспективные материалы. 2014. № 5,с. 39-48.
[13] Григорьев С.Н., Мастеренко Д.А., Телешевский В.И., Емельянов П.Н. Современное состояние и перспективы развития метрологического обеспечения машиностроительного производства. // Измерительная техника. 2012. № 11,с. 56-59.

Компьютерное моделирование разрушения приповерхностной области нанопроволок TiC и WC

В.Г. Заводинский

Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, Хабаровск, РОССИЯ, 680042, vzavod@mail.ru

***Реферат* – Методами теории функционала плотности и псевдопотенциала изучено образование трещин на поверхности нанопроволок TiC и WC. Изучено также влияние окисления и нитридизации поверхности. Показано, приповерхностный слой чистого карбида вольфрама более стабилен, чем аналогичный слой карбида титана. Окисление поверхностей TiC и WC ведет к облегчению формирования трещин, в то время как нитридицация делает поверхности прочнее. Для карбида вольфрама наиболее стабильным является случай, когда поверхность WC покрыта слоем TiN. Исследование поверхности TiC, имеющей царапину атомарного масштаба, показывает, что такая царапина может быть весьма эффективно залечена атомами кобальта.**

***Ключевые слова* - моделирование, трещины, поверхность, карбид вольфрама, карбид титана**

I. ВВЕДЕНИЕ

Излишне говорить, какую важную роль играют трещины в уменьшении прочности материалов. Стремительно развивающиеся нанотехнологии заставляют исследователей обратить особое внимание на образование трещин в нанообъектах, так как в этом случае размеры трещин могут быть сравнимы с размерами деталей и инструментов. Если говорить о теоретическом изучении таких объектов, то наиболее адекватным подходом является квантово-механическое моделирование.

Настоящая работа посвящена моделированию начальной стадии образования трещин на поверхности нанопроволок TiC и WC в рамках теории функционала плотности [1,2].

II. ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

Теория функционала плотности опирается на утверждениях Хоэнберга-Кона [1] и Кона-Щэма [2]. о том, что одночастичные электронные энергии ε_i и волновые функции ψ_i могут быть найдены из набора уравнений

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V_{eff}(\boldsymbol{r})\right)\psi_i(\boldsymbol{r}) = \varepsilon_i\psi_i(\boldsymbol{r}),$$

где V_{eff} – эффективный потенциал,

$$V_{eff} = V_{ext}(\boldsymbol{r}) + \int \frac{e^2 n(\boldsymbol{r}')}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|} d^3\boldsymbol{r}' + \boldsymbol{V_{XC}}(\boldsymbol{r}),$$

V_{XC} – обменно-корреляционный потенциал, V_{ext} is – внешний потенциал, складывающийся в нашем случае из суммы псевдопотенциалов атомов, входящих в изучаемую систему. В данной работе все расчеты были проведены с помощью пакета FHI96md [3].

Для изучения образования трещин вблизи поверхности при растяжении поверхностного слоя была использована модель, изображенная на Рис. 1.

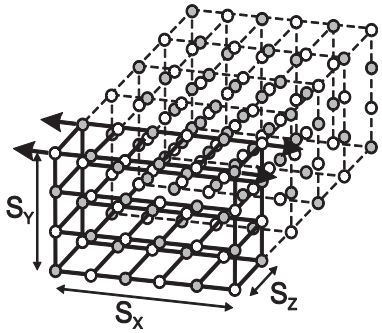


Рис. 1. Схема нанопроволоки TiC (WC). Серые кружки – атомы Ti(W), белые – атомы углерода. Сплошные линии очерчивают реальную ячейку ($Ti_{24}C_{24}$ ($W_{24}C_{24}$), используемую для вычислений, пунктирные линии изображают виртуальное периодическое продолжение, моделирующее бесконечную нанопровологу в направлении Z.

Нижний слой нанопроволоки (в направлении Y) был фиксирован, а верхний слой растягивался (пошагово) одновременно в положительном и в отрицательном направлении по оси X. На каждом шаге крайние атомы верхнего слоя фиксировались, а все остальные (кроме самых нижних) могли сдвигаться под действием внутренних сил. В специальных случаях структура верхнего слоя могла отличаться от изображенной на Рис. 1. Например, атомы углерода могли быть замещенными атомами кислорода или азота. Кроме того, мы изучили также случай, когда верхний слой нанопроволоки WC был заменен двумерным нитридом титана - TiN.

III. Результаты и обсуждение

А. Чистые, атомарно гладкие TiC и WC поверхности

Прежде всего, мы изучили образование трещин на чистых, атомарно гладких поверхностях TiC и WC. Эволюция этих систем при пошаговом растяжении поверхности показана на Рис. 2.

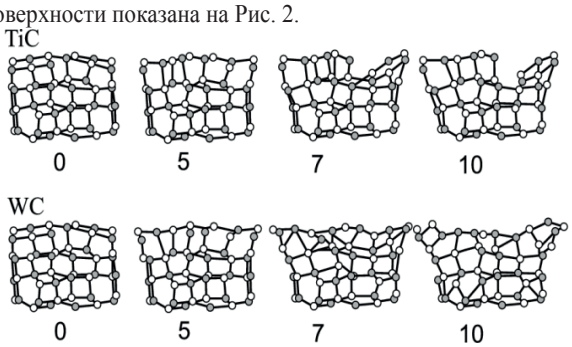


Рис. 2. Эволюция атомной структуры нанопроволок TiC и WC (две атомные плоскости в плоскости XY) при пошаговом растяжении поверхностного слоя. Цифры под картинками – номера шагов растяжения поверхностного слоя в направлении X.

Наши расчеты подтверждают известный факт, что TiC более хрупок, чем WC. На седьмом шаге межатомные связи в поверхностном слое TiC начинают рваться, и образуется зародыш трещины. В случае WC мы не видим заметных изменений в атомной структуре нанопроволоки вплоть до десятого шага.

Для получения дополнительной информации о процессах, протекающих в изучаемых системах, мы проанализировали изменение полной энергии и сил. Результаты показаны на Рис. 3.

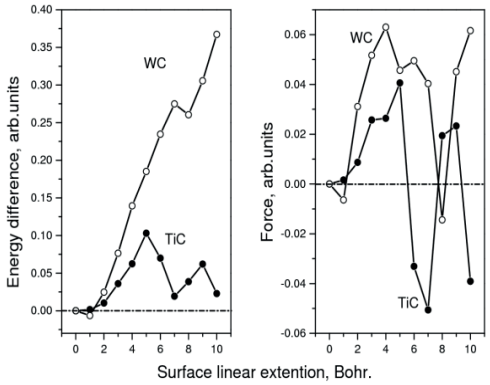


Рис. 3. Изменения полной энергии (слева) и сил (справа) для идеальных нанопроволок TiC и WC как функции растяжения поверхности.

Энергия TiC растет вплоть до пятого шага. Затем она уменьшается и имеет минимум на седьмом шаге. Для WC мы видим более крутой рост энергии, который продолжается до седьмого шага. Затем энергия слегка уменьшается и опять растет. В целом мы можем заключить, что изменения энергии коррелируют с изменениями атомной структуры. Кроме того, мы видим, что максимальная сила при растяжении поверхности WC примерно в полтора раза больше, чем для TiC, что согласуется с известным фактом, что отношение упругих модулей WC и TiC равно 1.4.

Б. Оксидированые и нитридизованные поверхности

Поскольку режущие инструменты, содержащие карбиды переходных металлов, работают, как правило, в воздушной среде, весьма важно изучить влияние кислорода и азота на образование трещин. С этой целью атомы углерода в верхних слоях TiC (WC) замещались атомами кислорода или азота.

На Рис. 4 показаны энергетические результаты для оксидированных поверхностей TiC (WC).

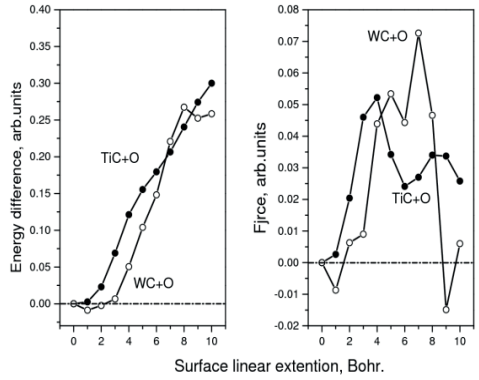


Рис. 4. Изменения полной энергии (слева) и сил (справа) для оксидированных нанопроволок TiC и WC как функции растяжения поверхности.

Мы видим, что оксидированная поверхность WC растягивается практически без сопротивления до третьего шага (удлинение на 15 %). Затем процесс протекает с почти постоянной силой (до восьмого шага) и далее следует опять почти без сопротивления. Некоторые признаки разрушения в этой системе имеются, но они слабо выражены. В случае оксидирования поверхности TiC энергия растет монотонно, однако поведение растягивающих сил показывает, на четвертом-пятом шаге начинается разрушение. При этом максимальные силы примерно одинаковы для обоих случаев (TiC-O и WC-O).

Для получения дополнительной информации рассмотрим изменения атомной структуры (Рис. 5).

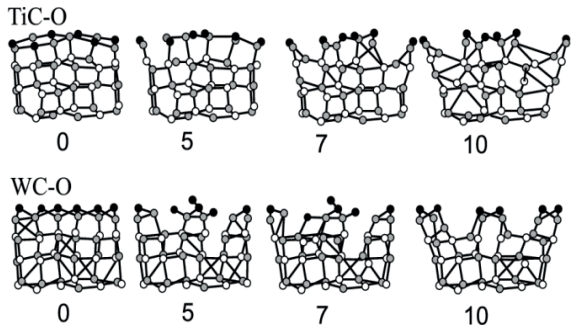


Рис. 5. Эволюция атомной структуры оксидированных нанопроволок TiC и WC (две атомные плоскости в плоскости XY) при пошаговом растяжении поверхностного слоя.

Мы видим, что атомная структура заметно разрушается не только в случае WC-O, но и в случае TiC-O. Таким образом, мы можем заключить, что необходимо проводить одновременное детальное изучение изменений энергии, сил и атомной структуры, чтобы судить о начале разрушения приповерхностного слоя.

Аналогичные исследования были проведены для нанопроволок, поверхностные углеродные атомы которых были замещены атомами азота. Глядя на кривые энергии (Рис. 6, слева), невозможно сказать, началось ли разрушение в этих системах.

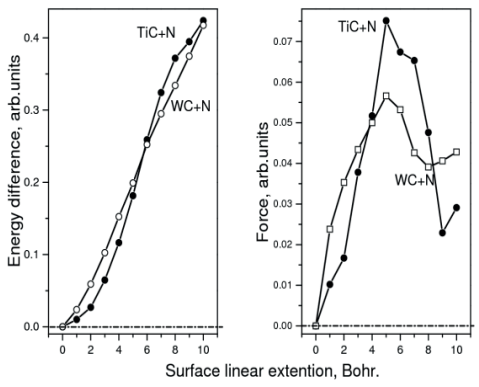


Рис. 6. Изменения полной энергии (слева) и сил (справа) для нитридизованных нанопроволок TiC и WC как функции растяжения поверхности.

Обе кривые (TiC-N и WC-N) демонстрируют монотонный рост энергии, и они слабо отличаются друг от друга. Однако графики сил показывают, что в обоих случаях разрушение начинается на пятом шаге. В это же время, картины атомной структуры (Рис. 7) показывают, что разрушение на пятом шаге становится видимым для случая WC-N, но остается невидимым для TiC-N.

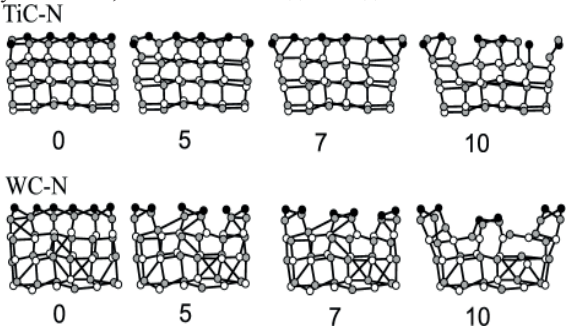


Рис. 7. Эволюция атомной структуры нитридизованных нанопроволок TiC и WC (две атомные плоскости в плоскости XY) при пошаговом растяжении поверхностного слоя.

Мы рассмотрели также случай, когда поверхность WC покрыта слоем TiN. На Рис. 8 показано изменение атомной структуры при растяжении поверхности такой системы.

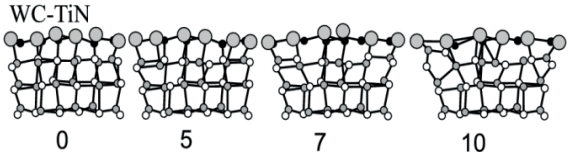


Рис. 8. Эволюция атомной структуры нанопроволоки WC, покрытой слоем TiN при пошаговом растяжении поверхностного слоя. Большие серые шары – атомы титана, малые черные – атомы азота.

На этом рисунке мы видим, что растяжение верхнего слоя не ведет к драматическим изменениям атомной структуры.

Теперь посмотрим на Рис. 9, где показаны изменения энергии и растягивающей силы.

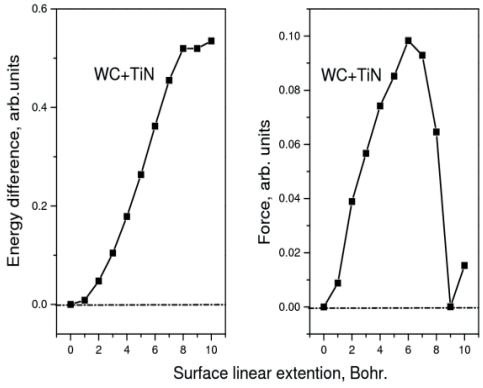


Рис. 9. Изменения полной энергии (слева) и сил (справа) для нанопроволоки WC, покрытой слоем TiN, как функции растяжения поверхности.

Мы видим, что обе кривые указывают на то, что до восьмого шага система WC-TiN ведет себя как

эластичная, а после восьмого шага начинается разрушение.

В. Релаксация растянутых систем

Возникает законный вопрос: что происходит с системой после того, как силы, растягивающие поверхность, исчезают? Может ли она вернуться в исходное состояние?

Чтобы ответить на этот вопрос, мы провели специальный компьютерный эксперимент: мы растягивали наши системы (WC, WC-O, WC-N, и WC-TiN) до пятого и десятого шагов, а затем давали им отрелаксировать, т.е. все атомы этих систем были раскрепощены. Затем мы сравнивали их атомные структуры (Рис. 10) и энергии (Таблица 1) с исходными состояниями (т.е. с нулевым шагом).

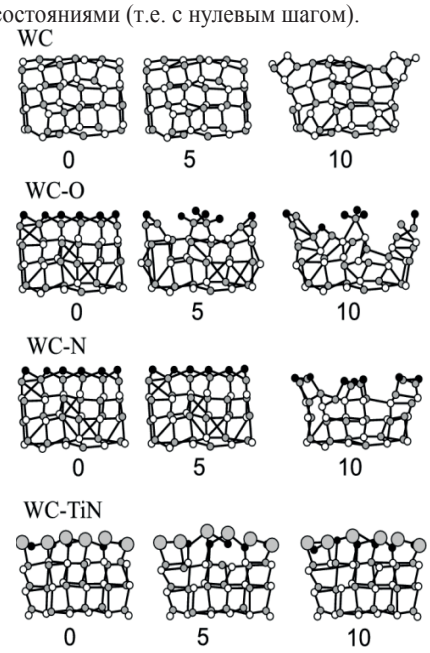


Рис. 10. Релаксация нанопроволок после растяжения поверхности. Цифры под рисунками указывают номера шагов растяжения, после которых была проведена процедура релаксации. 0 – начальная конфигурация.

Таблица 1. Разница энергий (ΔE) между релаксированной системой и ее начальным состоянием. (В скобках приведены данные, соответствующие растянутому состоянию перед процедурой релаксации.).

	Число шагов растяжения перед релаксацией	Изучаемая система			
		WC	WC-O	WC-N	WC-TiN
ΔE, эВ/атом	5	0.00 (0.10)	-0.09 (0.06)	0.00 (0.11)	0.00 (0.15)
	10	0.11 (0.21)	-0.08 (0.15)	-0.10 (0.24)	0.01 (0.30)

Анализ Рис. 10 и Таблицы 1 показывает, что практически все системы, растянутые до пятого шага (25% растяжения поверхности), успешно возвращаются к своему начальному состоянию. Исключение составляет система WC-O, где атомы кислорода вступают в химические связи с атомами вольфрама и производят необратимую перестройку структуры. Большие растяжения поверхности (десять шагов, 50% удлинения поверхности) приводят к изменениям атомной структуры во всех случаях. Однако в случае WC-TiN эти изменения практически невидимы и энергетически очень малы. Таким образом, мы можем предположить, что кристаллиты WC, покрытые слоем TiN, могут быть растянуты и отрелаксированы многократно без заметного разрушения на атомном уровне. Это объясняет и оправдывает использование покрытий из нитрида титана режущих инструментов на основе карбида вольфрама.

Г. Поведение поверхности, имеющей царапину

Механические повреждения поверхности часто являются фактором, облегчающим образование трещин. Одним из важнейших таких повреждений является царапина. Интересно рассмотреть на атомарном уровне влияние царапины на разрушение приповерхностного слоя в процессе его растяжения.

Для этих исследований мы использовали наносистему TiC, аналогичную представленной на Рис. 1, т.е. нанопроволоку, бесконечную в направлении Z. Царапина была смоделирована удалением с ее поверхности одного атомного ряда, содержащего чередующиеся атомы Ti и C. Процедура исследований была аналогично описанной в предыдущих разделах, а именно: на начальном этапе система приводилась в полное равновесие, а затем ее поверхностный слой (в данном случае – два атомных слоя) пошагово растягивался в направлении X (шаг составлял одну атомную единицу, равную 1 Bohr), и на каждом шаге находились новые равновесные позиции атомов и полная энергия системы. Исследования были проведены как для чистой поверхности TiC, так и для случаев, когда поверхностные атомы углерода были замещены атомами кислорода и азота. При этом учитывалось, что атомы O и N могут заполнять трещину, заменяя собой недостающие атомы Ti и C. Кроме того, был изучен случай заполнения трещины атомами кобальта, который обычно используется в твердых сплавах в качестве цементирующей связки.

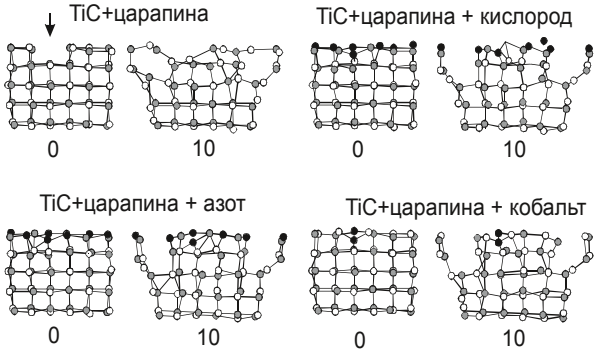


Рис. 11. Схема трансформации атомной структуры приповерхностного слоя нанопроволоки TiC при его одномерном растяжении. Белые кружки – атомы C, серые – атомы Ti, черными кружками обозначены атомы O, N или Co. Стрелка указывает место формирования царапины. Цифры под рисунками – номера шага растяжения.

В качестве параметра, характеризующего разрушение поверхностного слоя, мы выбрали дисперсию (т.е. разброс величин) межатомных расстояний в первом и втором (от поверхности) атомном слое. В ненарушенном слое TiC дисперсия мала (все длины связей примерно одинаковы), в разрушенном имеется большой разброс длин. Результаты расчетов сопоставлялись с данными, полученными для нанопроволоки TiC без царапины.

Из Рис. 11 видно, что царапина на поверхности чистого карбида титана не ведет к разрушению приповерхностного слоя вблизи ее. Разрушаются участки удаленные от нее, расположенные возле краев наносистемы. Сходная картина наблюдается и в тех случаях, когда трещина «залечена» атомами кислорода, азота, либо кобальта. Сопоставление с рисунками 2, 5 и 7, позволяет сказать, что приповерхностный слой TiC даже упрочняется вблизи царапины.

Для более детальных выводов мы проанализировали длины межатомных связей в изученных системах. Результаты анализа приведены в Таблице 2, где для сравнения указаны соответствующие данные, полученные для аналогичных систем без царапины.

Таблица 2**.** Разброс величин длин межатомных связей в приповерхностном слое до растяжения (шаг 0) и после растяжения (шаг 10). Величины приведены в нанометрах.

Атомарно гладкая поверхность						
	1 атомный слой		2 атомный слой			
	0 шаг	10 шаг	0 шаг	10 шаг		
TiC	0,112	0,423	**0,121**	**0,154**		
TiC+O	0,052	0,366	**0,061**	**0,148**		
TiC+N	0,106	0,266	**0,067**	**0,143**		
Поверхность с царапиной						
	1 атомный слой		2 атомный слой		3 атомный слой	
	0 шаг	10 шаг	0 шаг	10 шаг	0 шаг	10 шаг
TiC	0,045	0,215	0,060	0,270	**0,054**	**0,152**
TiC+O	0,094	0,297	0,068	0,324	**0,073**	**0,156**
TiC+N	0,111	0,327	0,091	0,308	**0,101**	**0,172**
TiC+Co	0,132	0,344	0,083	0,320	**0,104**	**0,144**

Анализируя результаты, приведенные в Таблице 2, следует иметь в виду, что при сравнении атомарно гладкой поверхности и поверхности с царапиной наибольший смысл имеет сопоставление второго атомного слоя первой системы с третьим атомным слоем второй системы. Эти данные выделены в таблице жирным шрифтом. Сравнивать при этом следует не абсолютные значение разбросов длин связей, а величины, отнесенные к соответствующим величинам, полученным для нерастянутого слоя. Такие относительные величины могут быть названы коэффициентами разрушения. Они представлены в Таблице 3.

Таблица 3**.** Коэффициент разрушения приповерхностного слоя при его растяжении на 1 нм.

Поверхность	TiC	TiC+O	TiC+N	TiC+Co
Атомарно гладкая	1,27	2,42	2,13	
С царапиной	2,81	2,13	1,70	1,38

Цифры, приведенные в Таблице 3, позволяют сделать вывод: кислород и азот могут увеличивать прочность приповерхностного слоя карбида титана, имеющего мелкие царапины, однако кобальт для этой цели более эффективен. Этот результат согласуется с выводом, сделанным ранее в работе [4], о том, что кобальт может играть в твердых сплавах не только роль связки, но и повышать его механические свойства за счет залечивания структурных дефектов в кристаллитах карбидов.

Выводы

Показано, что растягивающая сила, необходимая для начала разрушения поверхностного слоя карбида вольфрама, в полтора раза больше, чем в случае карбида титана. Оксидирование поверхностей WC и TiC ведет к облегчению образования трещин. Нитридизация, напротив, делает эти поверхности прочнее.

В обоих случаях оксидирования (WC-O и TiC-O) приповерхностный слой нанопроволоки легко разрушается при растяжении.

Кристаллиты WC, покрытые слоем TiN, могут быть многократно растянуты и отрелаксированы без заметного разрушения.

Исследование поверхности TiC, имеющей царапину атомарного масштаба, показывает, что такая царапина может быть весьма эффективно залечена атомами кобальта.

Литература

[1] H. Hohenberg, W. Kohn. Inhomogeneous electron gas. Phys. Rev. 1964, 136, B864-71.

[2] W. Kohn, J.L. Sham Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects. Phys. Rev. 1965, 140, A1133-38.

[3] M. Beckstedte, A. Kley, J. Neugebauer, M. Scheffler. Density functional theory calculations for poly-atomic systems: electronic structure, static and elastic properties and ab initio molecular dynamics. Comp. Phys. Commun. 1997, 107, 187-205.

[4] V.G. Zavodinsky. Small tungsten carbide nanoparticles: Simulation of structure, energetic, and tensile strength. International J. Refract. Met. Hard Mater. 2010, 28, 446-450

«Приоритеты промышленной и инновационной политики Хабаровского края» на международном симпозиуме «Наука. Инновации. Техника и технологии: проблемы, достижения и перспективы»

В.Д. Калашников[1]

[1] Заместитель Председателя правительства Хабаровского края, министр экономического развития и внешних связей Хабаровского края, д.э.н., г. Хабаровск

Реферат **- Промышленное производство в Хабаровском крае составляет основу экономики, занимая 18 % в общем объеме валового регионального продукта и обеспечивая долю в 11 % в общем числе занятых в экономике. В числе главных приоритетов промышленной политики Правительства края выступают развитие и диверсификация промышленного производства, повышение его эффективности за счет технического и технологического перевооружения, внедрения инноваций, формирование высококачественного трудового потенциала. Как результат реализации указанных приоритетов будет приниматься создание и модернизация высокопроизводительных рабочих мест, увеличение доли продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики в валовом региональном продукте, увеличение производительности труда.**

Ключевые слова **– инновационная политика, кластерная политика, инжиниринг, коммерциализация**

Инновационная политика в крае осуществляется в соответствии с реализацией мероприятий государственной программы края «Инновационное развитие и модернизация экономики Хабаровского края».

На текущий момент основными мероприятиями реализации программы являются:

- формирование нормативной правовой, институциональной системы поддержки инновационной деятельности;
- развитие инновационной инфраструктуры в крае;
- реализация кластерной политики;
- комплексная поддержка инновационной деятельности организаций края;
- популяризация инновационной деятельности;
- развитие кадрового потенциала.

Одним из важных направлений, обеспечивающих активизацию инновационной деятельности в крае, является формирование и развитие инновационной инфраструктуры, выступающей связующим звеном между создателями инноваций и производителями товаров и услуг.

Развитие инновационной инфраструктуры выступает приоритетом реализации инновационного сценария развития экономики края.

В Хабаровском крае осуществляется активное формирование институциональной среды. Одним из основных ее элементов является Закон Хабаровского края «О государственной поддержке инновационной деятельности в Хабаровском крае» от 30.10.2013 №317, который выступает основой нормативного правового регулирования государственной поддержки инновационной деятельности в крае.

В рамках выполнения задач по институциональному развитию создан и осуществляет деятельность координационый совет по модернизации и инновационному развитию при Губернаторе Хабаровского края, сформирована межведомственная комиссия по комплексному оцениванию инновационных программ и проектов при Правительстве Хабаровского края для осуществления независимой экспертизы инновационных проектов и программ модернизации, реализуемых на территории края.

С 2013 года действуют коммуникативные площадки по вопросам модернизации управления краем в инновационной сфере.

В 2013 – 2014 годах проведено 15 коммуникативных площадок в различных формах: гражданское жюри, презентация государственной программы, общественное обсуждение и другие.

Финансирование мероприятий по созданию и развитию инновационной инфраструктуры Хабаровского края осуществляется за счет средств федерального бюджета и бюджета края.

В 2014 году вложенные средства в инновационную инфраструктуру составили 93,2 млн. рублей (в том числе 75.3 млн. руб. за счет средств федерального бюджета), что превысило уровень финансирования в 2013 году в более чем в 1,4 раза.

В текущем году в инновационной сфере края работают 16 элементов инновационной инфраструктуры, в том числе два технопарка, два бизнес-инкубатора, четыре центра трансфера технологий, восемь центров коллективного пользования. Формированием и развитием объектов инновационной

инфраструктуры занимаются ведущие ВУЗы Хабаровского края, такие как Тихоокеанский государственный университет, Комсомольский-на-Амуре технический университет, Дальневосточный государственный университет путей и сообщения, Дальневосточный государственный медицинский университет. При поддержке краевой и вузовской инновационной инфраструктуры при вузах края создано 19 малых инновационных предприятий (МИП), в них работают преподаватели, аспиранты и студенты.

Направления деятельности МИПов разнообразны: машиностроение, приборостроение, энергосберегающие технологии, композитные материалы, разработка и монтаж вычислительных сетей, робототехника, информационные технологии, консалтинг и др.

Важно отметить, что сейчас уже появились разработки, которые университеты научились коммерциализировать. Среднегодовой оборот МИПов составляет более 45 млн. рублей.

Ключевую роль в инновационной инфраструктуре края играет, созданная Правительством края автономная некоммерческая организация «Дальневосточное агентство содействия инновациям» (АНО "ДАСИ").

АНО "ДАСИ" является официальным представителем в Хабаровском крае ОАО «Российская венчурная компания», Фонда содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере, опорной организацией Роспатента, а также региональным консультационным пунктом Фонда "Сколково".

На базе агентства получают развитие региональные инновационные центры, осуществляющие инновационно-консалтинговое сопровождение субъектов инновационной деятельности:

1. Центр коммерциализации проектов;

2. Центр кластерного развития;

3.Центр инжиниринга для субъектов малого и среднего предпринимательства.

Центр коммерциализации проектов осуществляет поиск и отбор перспективных инновационных проектов, проводит их предварительную экспертизу и подготовку в соответствии с требованиями инвесторов. С целью продвижения инновационных разработок на российские и международные рынки организовано участие предприятий и организаций в выставках в сфере высоких технологий.

Ежегодно инновационный потенциал Хабаровского края на этих выставках представляют более 25 предприятий и организаций. Среди них учреждения науки, ведущие ВУЗы, крупные промышленные и малые инновационные предприятия и другие. Экспертные советы выставок высоко оценивают инновационный потенциал Хабаровского края.

За последние два года в рамках совместной работы АНО ДАСИ с ВУЗами по программам Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере приняло участие более 140 человек.

Для содействия организациям по введению объектов интеллектуальной собственности в хозяйственный оборот обеспечивается доступ организаций к патентным и непатентным ресурсам ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности», к патентным поисковым системам.

Центр кластерного развития создан для развития кооперации между участниками инновационного территориального кластера авиастроения и судостроения Хабаровского края. Программа развития кластера в 2012 году включена в перечень 25 пилотных кластеров Российской Федерации.

Проект базируется на возможности Объединенной авиастроительной корпорации локализовать производство комплектующих для поставщиков самолета SSJ-100 и перспективного самолета МС-21. Локализацию планируется осуществить на площадке Амурского судостроительного завода и в пределах формирующейся площадки территории опережающего социально – экономического развития в г. Комсомольске – на – Амуре. Так же планируется работа по обслуживанию и поддержке на территории края перспективных кластеров – это строительный кластер, транспортно-логистический кластер, туристский кластер.

Целью создания Центра инжиниринга является формирование технологической инфраструктуры для повышения уровня конкурентоспособности продукции субъектов МСП за счет использования современных технологий, в том числе оказание услуг в области инженерных и конструкторских решений, расчетов, услуг по промышленному дизайну и прототипированию, решению вопросов интеллектуальной собственности.

Эффективность функционирования организаций инновационной инфраструктуры Хабаровского края подтверждается ростом основных экономических показателей, характеризующих инновационную активность в крае.

Следует отметить, что в Хабаровском крае доля организаций, осуществляющих технологические инновации, почти в 1,3 раза выше, чем в среднем по Российской Федерации.

По оценкам Национальной ассоциации инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ) Хабаровский край входит в число регионов, демонстрирующих высокую инновационную активность, занимая 15-ую позицию в рейтинге инновационной активности регионов.

Таково состояние инновационной инфраструктуры края на сегодняшний день.

Перспективными направлениями развития инновационной деятельности будут выступать следующие:

- создание объектов финансовой инфраструктуры;

- развитие объектов технологической инфраструктуры.

1. В крае идет накопление критической массы инновационных проектов, что обеспечивается

увеличением участников конкурсов инновационных проектов, ростом выставочной активности, развитием проводящей инфраструктуры. Для повышения эффективности работы с субъектами инновационной деятельности необходимо формирование регионального финансового механизма - фонда посевных инвестиций.

2. В целях обеспечения реализации инновационных проектов требуется также развитие объектов технологической инфраструктуры – создание производственных площадок для внедрения инновационных технологий, осуществления опытного и мелкосерийного производства. Данная проблема поднималась на коммуникативных площадках, при обсуждении возможностей оптимизации государственной программы «Инновационное развитие и модернизация экономики Хабаровского края».

Для реализации данной проблемы необходимо формировать условия для создания и развития промышленных (индустриальных) парков.

3. Реализация мероприятий государственной программы «Инновационное развитие и модернизация экономики Хабаровского края» планируется на условиях софинансирования из федерального бюджета. Для расширения поддержки инновационной деятельности и привлечения дополнительных объемов финансовых ресурсов (за счет мультипликативного эффекта субсидирования из федерального бюджета) потребуется увеличение объемов финансирования и повышения эффективности мероприятий программы из краевого бюджета.

На развитие этих направлений будут направлены усилия в перспективе.

Гетерогенное микро- и наноструктурирование металлического материала ударными волнами деформации

А.В. Киричек[1], Д.Л. Соловьев[2], О.Н. Федонин[1]

[1] Брянский государственный технический университет, Брянск, РОССИЯ, 241035, avk@tu-bryansk.ru
[2] Муромский институт Владимирского государственного университета, Муром, РОССИЯ, 602253, murstin@yandex.ru

Реферат **– перспективным направлением кратного повышения прочности металлических материалов и сплавов является создание нанокристаллических структур. Предложен способ упрочнения, использующий для пластического деформирования ударные волны, формирующий большую глубину упрочненного поверхностного слоя, позволяющий создавать гетерогенную ультрамелкозернистую и нанокриталличсекую градиентно упрочненную структуру, чередующую твердые и пластичные участки по заданному закону, что значительно повышает эксплуатационные свойства материала.**

Ключевые слова **– волна деформации, удар, наноструктура, твердость, пластическое деформирование, гетерогенная структура, глубина упрочнения**

I. Введение

Современный уровень техники требует создания материалов и изделий из них с заданными свойствами, которые могли бы обеспечивать надежную и безотказную работу. Условия эксплуатации часто требуют одновременно высокой твердости и пластичности используемых материалов. Наилучшим соотношением прочности и пластичности обладают металлические материалы [1].

Повышение прочностных характеристик металлических материалов и сплавов происходит при измельчении их кристаллической структуры. Обычно это достигается добавлением легирующих элементов, которые препятствуют движению дислокаций, а также применением пластического деформирования упрочняемых материалов. Под действием пластического деформирования измельчение структурных элементов металлических сплавов может привести к возникновению наноструктур, отличающихся высокопрочным состоянием [2, 3]. Кроме того, согласно различным источникам, при формировании нанокристаллических структур в металлах и сплавах при кратном повышении прочности, пластичность либо сохраняется, либо становится в 1,5-2 раза выше, чем у крупнозернистых аналогов [4, 5].

II. Материалы и методы

Для создания нанокристаллической структуры в объеме металлического материала достаточно успешно применяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД), которые создают высокие давления, позволяющие достичь больших деформаций, измельчая структуру металлических материалов до наноразмеров. Наибольшее распространение получили способы ИПД основанные на кручении под высоким давлением и равноканальном угловом прессовании, позволяющие получать однородную наноструктуру по всему объему заготовок соответственно в форме дисков размером от 10-30 мм и толщиной 0,2-1 мм и прутков длиной до 100 мм и диаметром поперечного сечения или диагональю не более 20 мм [4]. Недостатками таких способов являются ограничения по габаритным размерам обрабатываемых заготовок, большой износ при эксплуатации деталей и узлов применяемых установок, высокая трудоемкость выполнения операций, особенно в условиях горячей деформации.

Также известен способ всесторонней изотермической ковки, который заключается в многократной деформации заготовки с изменением оси нагружения на каждом переходе. Схема метода основана на использовании большого количества повторения операций свободной ковки: осадка-протяжка со сменой оси прилагаемой деформирующей силы. Способ реализуется при температурах пластической деформации в интервале температур, составляющих 30-60 % от температуры плавления сплава. Выбор соответствующих температурно-скоростных условий деформации позволяет добиться получения зерен размером до 100 нм [4]. Основным достоинством способа является возможность получения ультрамелкозернистой и нанокристаллической структуры в заготовках весом более 50 кг из титана и его сплавов, сталей, никелевых сплавов и интерметаллидов. Недостатком – высокие энергозатраты, необходимые при многократном повторении операций свободной ковки.

Исследования условий работы ответственных изделий показали, что в процессе эксплуатации всегда наиболее нагружен их поверхностный слой. Именно поверхностный слой чрезвычайно важен в механическом поведении деформируемого твердого тела как целого. Поэтому повышение механических свойств всей детали не всегда требует создания необходимой структуры во всем объеме, а может быть достигнуто только модификацией его поверхностного слоя.

Для получения ультрамелкозернистых и нанокристаллических структур известен опыт использования способов градиентного упрочнения поверхностным пластическим деформирование (ППД). Так в результате ультразвуковой финишной обработки были получены наноразмерные кристаллы на глубине до 0,5 мкм при толщине деформированного слоя 0,2 мм [6]. При получении градиентно упрочненной нанокристаллической структуры раскатыванием роликами и методами асимметричного пластического деформирования, в которых использовалось одновременное сочетание нескольких схем деформирования, наблюдались разориентированные нанозерна размером 150-200 нм [7, 8].

Недостатком перечисленных способов градиентного упрочнения является небольшая глубина упрочненного поверхностного слоя (не более 0,5-1 мм). Однако для сложнонапряженных изделий работающих в тяжелых и экстремальных условиях, наиболее нагруженная точка, как правило, находится на некоторой глубине, в подповерхностном слое материала, поэтому для повышения их эксплуатационных свойств необходим более глубокий упрочненный слой, толщина которого составляет более 1-3 мм, а при экстремальных условиях эксплуатации до 6 мм. Технологии получения градиентно упрочненной нанокристаллической структуры в глубоких упрочненных поверхностных слоях на данный момент не существует.

Разработан способ градиентного упрочнения, использующий для пластического деформирования ударные волны, создающие высокое давление в очаге деформации и формирующие большую глубину упрочненного поверхностного слоя [9, 10].

Упрочненный поверхностный слой формируется в результате многократных импульсных воздействий, образованных ударными волнами в ударной системе боек-волновод.

Энергия ударных волн, расходуемая на пластическую деформацию упрочняемого материала, определяется конструктивно-технологическими параметрами – формой и размерами бойка и волновода и технологическими параметрами – кинетической энергией удара и предварительным статическим поджатием инструмента к упрочняемой поверхности (рис. 1). Статическая составляющая нагрузки предназначена для наиболее полного использования импульсной и выбирается из расчета не менее 10 % от ее величины. В результате изменения указанных параметров осуществляются микроперемещения инструмента, формируется отпечаток определенных размеров – единичный след инструмента. Форма и размеры отпечатка в основном определяют закономерность изменения свойств материала по глубине поверхностного слоя.

Размеры единичных отпечатков и их относительное смещение, определяемое технологическими параметрами: частотой ударов и подачей, регулируют перекрытие отпечатков, которое определяет равномерность упрочнения.

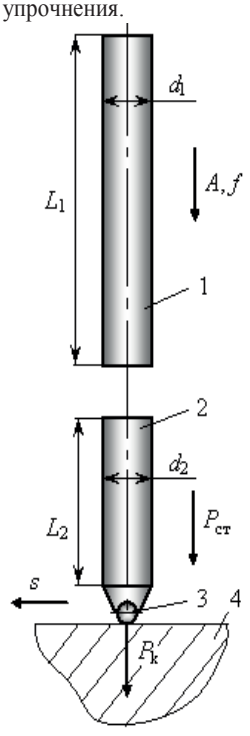


Рис. 1. Схема нагружения поверхности детали при упрочнении волной деформации:

1 – боек, 2 – волновод, 3 – инструмент, 4 – упрочняемая поверхность;

A – энергия ударной волны деформации;

f – частота ударов;

$P_{ст}$ – статическая нагрузка;

P_k – контактная сила в очаге деформации;

s – скорость подачи заготовки относительно инструмента;

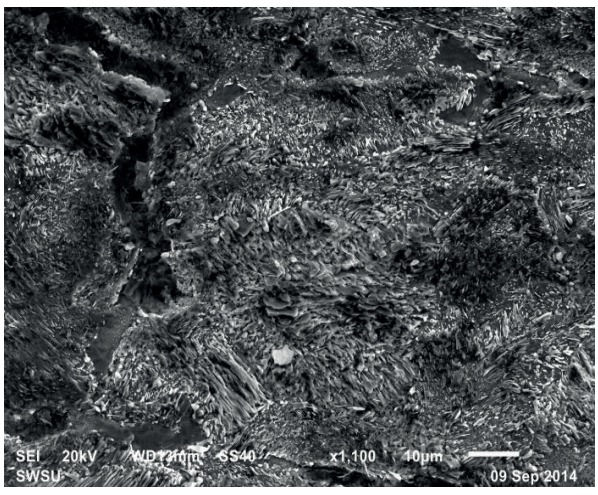
L_1, L_2 – длина соответственно бойка и волновода;

d_1, d_2 – диаметр поперечного сечения соответственно бойка и волновода

Сложная кинематика упрочнения ударными волнами деформации, использующая комбинированное воздействие на материал ударной и статической нагрузкой будет способствовать большему измельчению кристаллической структуры на большей глубине. Использование высокоскоростной деформации материала (скорость прохождения ударной волны порядка 5000 м/с) при воздействии ударной волной, дает основания предполагать о наличии оригинального характера строения и расположения полученной нанокристаллической структуры по глубине поверхностного слоя. В отличие от рассмотренных способов формирования нанокристаллической структуры, когда добиваются как можно более равномерного измельчения зерен материала, способ деформационного упрочнения ударными волнами позволяет регулировать равномерность распределения более мелких и крупных измельченных частиц. Может быть создана гетерогенная ультрамелкозернистая градиентно упрочненная структура, чередующая твердые и пластичные участки по заданному закону, которая, как показывают проведенные ранее исследования, более эффективно повышает эксплуатационные свойства материала [10-12].

III. Результаты

Металлографический анализ структуры поверхности шлифов плоских образцов из стали 45, упрочненных волной деформации, проводился с помощью конфокального микроскопа OmegaScope AIST-NT (рис. 2). Толщина образцов изменялась в диапазоне 10-20 мм.



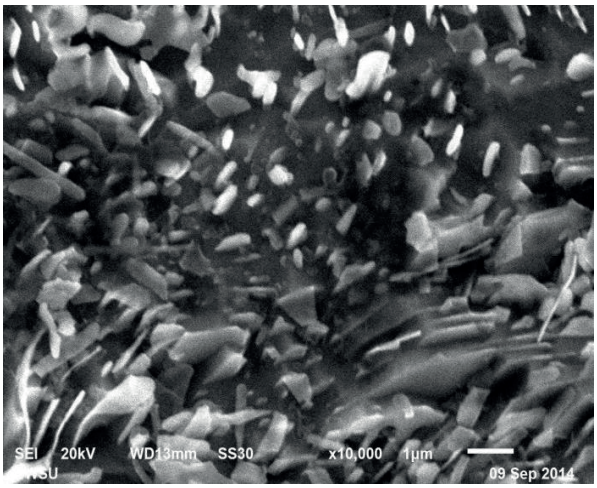


Рис. 1. Наноструктурное электронно-микроскопическое изображение участка образца стали 45 после упрочнения ударными волнами

В результате установлено наличие измельченных частиц до 100-300 нм по всей толщине образца. Высокая концентрация наночастиц обнаружена в поверхностном слое на глубине 3-8 мм. Причем при уменьшении толщины образца снижается размер полученных нанокристаллических изменений. Установлено чередование измельченных частиц определенных размеров вдоль упрочненного поверхностного слоя.

Выводы

Установлено, что известные способы получения нанакристаллической структуры (в том числе способы интенсивной пластической деформации) обычно стремятся к максимально равномерному ее распределению по всему материалу. Способов, позволяющих структурировать материал на микро- и наноуровне с образованием гетерогенно упрочненных локальных участков, открывающих новые эксплуатационные возможности металлическим материалам, до сих пор не было.

Предложен новый способ поверхностного пластического деформирования, использующий для нагружения упрочняемого материала ударные волны, создающие высокое давление в очаге деформации и формирующие гетерогенно упрочненную структуру на микро- и наноуровне, распространяющуюся на глубину до 3-8 мм.

Благодарности

Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ 14-08-00112.

Литература

[1] Лякишев Н.П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов / Вестник российской академии наук 2003. т. 73, № 5, С. 422

[2] Hall E.O. Deformation and ageing of mild steel. Proc. Phys. Soc. London, ser. B, 1951, v. 64, №1, p. 747-753.

[3] Petch N.J.The cleavage strength of polycrystals. J. Iron and Steel Inst., 1953, v. 174, p. 25-28.

[4] Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.,
[5] Косицын И.И., Сагарадзе В.В., Копылов В.И. Формирование высокопрочного и высокопластичного состояния в метастабильных аустенитных сталях методом равноканально-углового прессования // Физика металлов и материаловедение. 1999. Т. 88. №5
[6] Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 285 с.
[7] Патент РФ № 2462327 Способ получения металлических втулок с градиентно-упрочненной структурой. 2012.
[8] Поверхностное упрочнение изделий сложной формы с использованием комплексных схем деформирования / С.А. Фирстов, С.Е. Шейкин, Ю.Н. Подрезов и др. Киев, 2013.
[9] Kirichek, A.V. Deformation Wave Hardening of Metallic Materials [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Soloviev, A.Yu. Altuhov // Journal of Nano and Electronic Physics, Vol. 6, No 3, 03069 (4pp) 2014.
[10] Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Создание поверхностного слоя с высокими эксплуатационными свойствами волновым деформационным упрочнением // Справочник. Инженерный журнал. 2014. № 4 (205). С. 3-7
[11] Kirichek, A.V. Production of Quasicomposite Surface Layer of a Metal Material by Shock Wave Strain Hardening [Text] / A.V. Kirichek, D.L. Soloviev, A.Yu. Altuhov // Journal of Nano and Electronic Physics, Vol. 6, No 3, 03070 (4pp) 2014.
[12] Kirichek A.V., Soloviev D.L. Nanostructure Changes in Iron-Carbon Alloys as a Result of Impulse Deformation Wave Action // Journal of Nano and Electronic Physics, Vol. 5, No 4, 04009(4pp) 2013.

Особенности создания на Дальнем востоке научно-инженерных структур для внедрения высоких технологий в промышленное производство

В.Ф. Филаретов

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, РОССИЯ, filaret@iacp.dvo.ru
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия, filaretov@inbox.ru,
Дальневосточное отделение Российской инженерной академии, Владивосток, filaret@pma.ru

Реферат **– В настоящее время многие промышленные предприятия испытывают трудности с выпуском продукции, которая могла бы не просто обеспечить импортозамещение в условиях введения экономических санкций, но и реально способствовать организационно-техническому прорыву в использовании высоких технологий при создании и выпуске конкурентоспособной продукции. В докладе предлагаются и обсуждаются пути решения этой задачи, особо актуальной и важной на текущем этапе развития Дальневосточного региона России.**

Ключевые слова **– производство, высокие технологии, интеграция, внедрение, подготовка кадров, эффективность**

I. Введение

Дальний Восток России известен не только большими природными запасами его недр, но и малой развитостью инфраструктуры, а также большой отдаленностью от крупных технологических и производственных центров. Задача развития этого важнейшего стратегического для России региона ставилась и с переменным успехом решалась многими поколениями, населяющими эту территорию. Однако по указанным и другим причинам и обстоятельствам региону пока не удается выйти в лидеры не только мировых, но даже и российских производителей материальных благ. Косвенной причиной отставания региона от лидеров является и не прекращающийся отток населения, которое предпочитают искать удовлетворение своих жизненных потребностей за рубежом или в более развитых регионах страны. Как эффективно поднять промышленное производство региона и тем самым прекратить отток населения, укрепляя форпост России на восточных рубежах? Можно ли это сделать в ближайшее время? И если да, то, что для этого нужно реализовать? Об этих и некоторых других вопросах и проблемах будет идти речь в материалах доклада.

II. Некоторые особенности и задачи развития Дальневосточного региона

Проблема успешного развития Дальневосточного региона наметилась уже давно. Ясно, что это задача является комплексной и имеет много граней, поэтому решить ее отдельными «кавалерийскими наскоками» наверняка не удастся. И не все решают инвестиции (даже большие), если они будут вложены не совсем эффективно. Рассмотрим некоторые подходы, которые могут оказаться наиболее действенными даже в условиях ограниченных финансовых ресурсов.

Представляется, что для решения обозначенной выше задачи, как это уже часто было раньше, на первый план выходят хорошо подготовленные и организационно правильно расставленные научно-технические кадры, способные обеспечить опережающее развитие многих производств региона. При этом должны быть созданы структуры, объединяющие эти кадры и создающие приемлемые условия для их продуктивной работы. На первый взгляд, эти заявления могут показаться примитивными и хорошо известными. На территории региона действует большое количество университетов, готовящих специалистов практически по всем специальностям и направлениям развития, непрерывно обсуждаются методы создания профильных технопарков, инкубаторов, технических и технологических центров, площадок, платформ и

прочих «ускорителей и накопителей» технических, производственных и научных знаний, а прорывов, подобных южно-корейскому, японскому, сингапурскому, а теперь уже и китайскому пока не наблюдается. Так в чем же причина постоянного замедления и отставания в промышленном производстве? Можно ли изменить ситуацию и реализовать наши возможности с большей эффективностью?

III. Создание внедренческих структур – стратегическая основа устойчивого развития высокотехнологичного производства

Сразу же после развала Советского Союза и перехода к рыночной экономике начали быстро расти и развиваться торговые точки и ликвидироваться отраслевые институты и КБ различной направленности, способствующие обновлению производственных мощностей и созданию новой продукции. К счастью эти важнейшие институты сохранились в оборонной промышленности, иначе наше государство полностью потеряло бы свой оборонный щит. Однако все сохранившиеся структуры указанного профиля, как и ранее, располагаются в центральных регионах России и практически не влияют на развитие Дальневосточной промышленности. Их задача сводится к поставкам документации на новую продукцию и технологию ее изготовления, а освоение выпуска является исключительной компетенцией местных заводов, пока не имеющих высокоразвитых внедренческих структур.

К счастью в Дальневосточном регионе сосредоточено много академических институтов различного профиля и университетов, но их взаимодействие пока сводится в основном к обеспечению учебного процесса в этих университетах и к поставкам подготовленных молодых специалистов в институтские лаборатории. Реальной интеграции академической и вузовской науки, направленной на решение проблем производственных предприятий, пока не наблюдается. Ограниченная кооперация в рамках выполнения редких совместных проектов (в том числе и по 218 Постановлению Правительства) пока еще не может решить многие актуальные производственные задачи, а по отдельности и академические структуры, и ВУЗы в силу известной специфики их предназначения не могу, да и, наверное, не смогут решить стратегические задачи и проблемы по резкому увеличению эффективности производства (особенно в области машиностроения) и выпуску конкурентоспособной продукции. Известно, что задача академических институтов в основном сводится к поиску новых знаний и к созданию современной теории в соответствующих областях человеческой деятельности, а задача университетов и перегруженных учебной работой преподавательских кадров – к подготовке специалистов в этих областях. Ни те, ни другие поодиночке не способны заменить отраслевые НИИ и КБ. А без реальных хорошо развитых внедренческих структур не может быть и речи об успешном и быстром развитии промышленности. Это показывает опыт ведущих стран мира.

В коротком докладе не удастся подробно остановиться на хорошо известном мировом опыте эффективного развития промышленности, но в теперешней российской действительности, видимо, возможны два пути выхода из глубокого и уже всем очевидного кризиса: создавать исследовательские и внедренческие структуры на промышленных предприятиях или, обеспечив реальную интеграцию ученых, преподавателей университетов и наиболее продвинутых молодых инженерных кадров предприятий, используя уже имеющуюся в рамках различных ФЦП поддержку правительства, успешно реализовать поставленные задачи. Первый путь маловероятен и предпосылок для его осуществления пока не создано. А вот второй путь имеет большие перспективные возможности, но только реализация его должна быть построена грамотно, с учетом существующих реалий. На возможном исполнении этого второго направления хотелось бы остановиться более подробно, так как уже имеется хоть и не всегда успешный (по разным причинам) начальный опыт его реализации.

IV. Возможные пути создания и развития внедренческих структур для нужд производства

Рассмотрим один из возможных путей создания и развития этих структур. Для этого воспользуемся методом исключения, удалив самые неудачные варианты.

Организация указанных структур на предприятиях региона и в составе академических институтов невозможно. Предприятия не смогут быстро собрать под одной своей «крышей» несколько квалифицированных кадров одной научной и технической направленности, хорошо «притертых» между собой и имеющих опыт успешной предыдущей совместной работы. Для этого указанных специалистов потребуется приглашать из других регионов (а это совсем непросто), приобрести им комфортное жилье и достаточно длительно платить большую зарплату задолго до появления реальной отдачи.

Структура и особенности академических институтов, не имеющих свободных площадей и бюджетных ставок, также не позволят организовать внедренческие коллективы. Перевод существующих лабораторий в указанные подразделения также невозможен, поскольку они уже имеют утвержденные научные планы работ на несколько лет вперед, а наиболее продвинутые коллективы - еще и обязательства но своим научным грантам, которых может быть несколько.

Университетам тоже не удастся создать указанные коллективы, поскольку они не могут оплачивать их работу из бюджетных средств, а внебюджетные крайне ограничены. Преподавательские кадры, имея 800-900 часов учебной нагрузки и выполняя к тому же большой объем методической и воспитательной работы, активно заниматься проблемами производства также не смогу.

То есть складывается ситуация, при которой ни одна из перечисленных структур не сможет самостоятельно и даже при некоторой поддержке компаньонов решить задачу успешного и устойчивого развития производства в регионе. Именно этот факт демонстрирует реально сложившаяся ситуация, которая является критерием истины. Конечно, возможны и исключения, когда некоторые новые производственные проекты все же реализуются. Но это не правило, а исключения, которые никак не смогут обеспечить устойчивого начала пусть даже маленького азиатского чуда в нашем регионе.

Но выход из, казалось бы, порочного «замкнутого круга» все же есть. Он в разумном сочетании особенностей и возможностей всех перечисленных выше организаций. Реальным объединяющим началом успешного развития может стать совместный учебно-научно-производственный Центр, который может быть создан на базе академического института, университета или промышленного предприятия. Особого значения это не имеет. Этот Центр может быть хозрасчетным юридическим лицом, но может и не иметь юридического статуса, являясь виртуальной структурой, не имеющей специально выделенных площадей и бюджетных финансовых средств для своего существования. Последнее позволит обеспечить выживание этого Центра даже при временных задержках финансирования или перерывах в выполнении робот, которые естественно должны быть сведены к минимуму.

Менеджмент Центра должен формироваться только из специалистов соответствующего профиля, поскольку обучить специалиста такого профиля основам менеджмента гораздо проще и быстрее, чем абстрактного менеджера - деталям конкретной специальности.

В творческих состав коллектива Центра должны входить три тесно связанные между собой группы специалистов с предприятия, академического института (или институтов) и преподавательский состав университета соответствующего профиля. Главными условиями формирования этих групп являются:

1. каждый должен быть реальным специалистом в предметной области решаемой задачи и иметь высокий научно-технический уровень;
2. состоять в штате одной из перечисленных выше трех структур;
3. иметь возможность (время) для систематической и длительной работы по проектам.

Первое условие является определяющим, поскольку оно не только будет способствовать успешному выполнению проектов, но и позволит получить весомое бюджетное финансирование в рамках теперь уже многочисленных Федеральных целевых программ или Постановлений Правительства (включая 218), требующих участие предприятий. Для формирования высокого уровня знаний у специалистов предприятий, хорошо понимающих научную составляющую реализуемых проектов (научно-технический уровень намечаемых работ должен как минимум соответствовать, а лучше превосходить мировой уровень в предметной области), желательно направлять на эти предприятия выпускников магистратур университета, уже получивших опыт работы по профилю проекта, или (еще лучше) обеспечить поступление и обучение в магистратуре специалистов предприятия, уже проявивших склонность к научным исследованиям и внедрению их результатов на конкретных участках производства.

Второе условие, как уже отмечалось ранее, обеспечит устойчивость коллектива к возможным кратковременным прекращениям финансирования работ, которые должны выполняться последовательно, путем непрерывного расширения областей и сфер модернизации производственных технологий и циклов. Штатные работники предприятий, хорошо понимающие суть реализуемого проекта, а также знающие технические и технологические особенности производства, постоянно находясь на рабочем месте, обеспечат успешную и быструю реализацию любых разрабатываемых проектов. Эти работники могут составить костяк малых (даже временных) лабораторий, создаваемых на предприятиях для реализации однотипных проектов. Для более тесной связи с профильными кафедрами университета и активного участия в подготовке технических специалистов многим штатным сотрудникам институтов РАН желательно стать совместителями (на 0.25 или 0.5 ставки) на этих кафедрах. В результате дополнительно должен повыситься и научный уровень профильных кафедр.

Для исполнения третьего условия некоторые штатные преподаватели университета должны перейти на половину основной ставки, сосредоточившись на реализации конкретных технических проектов и научных грантов. Опыт показывает, что ежегодно осваивая 800-900 часов учебной нагрузки, лишь единицы способны активно и продуктивно заниматься научной и технической работой, а также дополнительной работой со студентами. Для уменьшения учебной нагрузки на исполнителей проекта желательно открывать базовые кафедры в академических институтах. Это позволит привлекать к учебному процессу высококвалифицированные научные кадры на очень выгодных для университетов условиях почасовой оплаты преподавательского труда. Кроме того, это даст возможность реализовать углубленную индивидуальную подготовку нескольких наиболее способных студентов по усложненным планам и программам, в том числе, и для нужд производства.

Очень важно, чтобы квалификация создаваемого трехстороннего коллектива, работающего по проектам для промышленности, непрерывно повышалась. Это можно обеспечить направлением членов коллектива на зарубежные стажировки и их участием в профильных международных и отечественных конференциях и симпозиумах самого высокого уровня.

Выводы

В представленном докладе рассмотрен конкретный путь, который может позволить обеспечить не только существование, но и успешное развитие дальневосточной промышленности в тяжелейших условиях кризиса, охватившего всю страну. Предпосылки для решения поставленной задачи имеются. Многие составляющие предложенного решения хорошо известны и многократно обсуждались, но до сих пор еще имеются многочисленные тонкости и особенности, мешающие успешному осуществлению поставленной цели. Их нужно учитывать во время работы, устраняя все преграды на пути достижения важной цели. Очень важно сформировать благоприятную «почву» и климат для успешного саморазвития создаваемого трехстороннего коллектива, который должен непрерывно подпитываться новыми производственными задачами, теоретическое и практическое решение которых должно способствовать непрерывному развитию не только самого предприятия, но и научной сферы. В этом случае реализуемый процесс будет по–настоящему и необратимым, и устойчивым

МАСТЕР-КЛАССЫ
Международного симпозиума
«Наука. Инновации. Техника и технологии:
проблемы, достижения и перспективы»

Акустическая эмиссия при деформации материалов. Роль идентификации источников акустической эмиссии в определении стадий деформации и разрушения материалов

О.В. Башков[1], С.В. Панин[2] Т.И. Башкова[1], Е.Е. Парфенов[1]

[1] Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре, РОССИЯ, 681013, bashkov_ov@mail.ru

[2] Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, РОССИЯ, 690000, svp@ispms.tsc.ru

Реферат **– В работе представлены исследования деформации металлических сплавов с использованием метода акустической эмиссии (АЭ). Целью исследований являлось установление стадий деформации и механизмов деформации на основе идентификации типов источников АЭ на различных стадиях. Исследования проводились на образцах низкоуглеродистой стали 20 и алюминиевых сплавов Д16АТ и АМг6АМ. Авторами был предложен метод идентификации источников АЭ, основанный на анализе двухпараметрического распределения (частотный параметр *Kf* - энергия сигналов АЭ *E*). Были установлены особенности излучения различных типов источников сигналов АЭ на различных стадиях деформации материалов.**

Ключевые слова **– акустическая эмиссия, деформация, стадия, дислокации, микротрещины, макротрещины, идентификация**

I. Введение

Деформация материала является сложным многоуровневым многостадийным процессом, включающим различные механизмы пластического деформирования и разрушения [1]. Сформированная дефектная структура определяет закономерности будущего поведения материала при деформации. Р.В. Херцбергом была проведена систематизация данных о видах деформационных кривых для материалов с различными типами кристаллической решетки и структурного состояния [2].

Были определены четыре вида деформации, характерные для металлов и сплавов. Тип I – упругое поведение, характерное для всех типов материалов на начальной стадии обратимой деформации, подчиняемой закону Гука. Тип II – упругое гомогенно-пластическое поведение материалов, способных к необратимому пластическому течению характерно для материалов с ГЦК и ГПУ решеткой). Тип III – упругое гетерогенно-пластическое поведение характерно для материалов с проявляющимся эффектом прерывистой текучести и носящий наименование эффекта Портевена – Ле Шателье. Он описан для разбавленных твердых растворов алюминия [3-5]. Тип деформации IV определен как упругое гетерогенно-пластическое – гомогенно пластическое поведение с развитием локального скольжения в полосах Людерса.

Расшифровка поведения материала на каждой стадии деформации является достаточно сложной задачей. Это связано с тем, что на поведение деформируемого материала оказывают влияние все элементы структуры вместе и каждый элемент в отдельности. Акустическая эмиссия (АЭ) при деформации и разрушении материалов содержит значительный объем важной информации о физических процессах, изменениях структуры материала, энергии разрушения, скорости деформации и т.д. Сложность параметрического описания распространения акустических волн в ограниченной, дефектной, анизотропной среде пока не позволяет разработать единую теорию идентификации сигналов и источников АЭ. Ранее в литературе были представлены работы по использованию частотного анализа [6–8] и Вейвлет-анализа [9] для оценки характера сигналов АЭ.

В работе проведен анализ особенностей деформации и разрушения некоторых конструкционных материалов с различным типом деформационного поведения с использованием метода АЭ с целью идентификации типов источников АЭ и соответствующих им механизмов деформации и разрушения на различных стадиях.

II. Материалы и методы

Исследования проводились на конструкционных материалах с различным типом деформации. В настоящей работе в качестве материала с типом деформации IV была использована низкоуглеродистая сталь 20 в нормализованном состоянии. Исследования упругого гомогенно-пластического поведения, соответствующего типу деформации II, проводились на алюминиевом сплаве Д16АТ в состоянии закалки и старения. Проявление эффекта прерывистой текучести Портевена – Ле Шаттелье для третьего типа деформации исследовали на алюминиевом сплаве АМг6АМ в отожженном мягком состоянии поставки. Испытания на растяжение проводились на испытательной машине INSTRON-5582 со скоростью деформации $2 \cdot 10^{-4}$ $с^{-1}$. Образцы изготавливались из листовых материалов толщиной 2 мм. Образцы сталей были изготовлены лазерной резкой, а алюминиевых и титановых сплавов фрезерованием по контуру. Сечение образцов в рабочей части - 2 мм х 2 мм.

При анализе результатов были использованы графики напряжения $\sigma=f(\varepsilon)$ и деформационного упрочнения $d\sigma/d\varepsilon=f(\varepsilon)$, полученные по «машинной» диаграмме нагружения испытательной машины. Разделение на стадии было сделано по диаграмме деформационного упрочнения, как наиболее изученной с точки зрения анализа деформационных процессов на макроуровне. При использовании данного подхода на диаграмме $d\sigma/d\varepsilon=f(\varepsilon)$ был выделен ряд основных стадий.

Регистрация сигналов АЭ проводилась на лабораторном программно-аппаратном комплексе [10] с быстродействующим АЦП на частоте дискретизации 10 МГц. Коэффициент усиления усилителя 55 дБ в диапазоне частот 30 - 800 кГц. Для регистрации АЭ сигналов применялись широкополосные АЭ преобразователи GT301 с полосой пропускания 50 – 550 кГц. На образце устанавливались два преобразователя: по одному с каждой стороны.

Для разделения сигналов и идентификации источников АЭ был применен вейвлет анализ сигналов АЭ. Анализ механизмов разрушения материалов осуществлялся по параметрам, полученным на основе спектрального анализа и вейвлет анализа сигналов АЭ [9, 10], а также традиционно используемому параметру – энергии сигналов АЭ. В настоящей и более ранних работах [9, 10] был определен частотным коэффициент Kf, определяющий величину вклада отдельных частотных компонентов спектра в сигнал АЭ в целом. Частотный коэффициент Kf был рассчитан по формулам (1, 2):

$$stdFQ_j = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ji} - \bar{x}_j\right)^2} \qquad (1)$$

$$Kf = \sum_{j=1}^{m}\left(stdFQ_j \cdot (m+1-j)\right) \Big/ \sum_{j=1}^{m}\left(stdFQ_j\right) \qquad (2)$$

где stdFQj – среднеквадратическое отклонение j-го коэффициента вейвлет-разложения сигнала АЭ, n – число отсчетов дискретизации сигнала АЭ, m – число коэффициентов вейвлет-разложения, x_{ji} – численное значение i-го отсчета j-го вейвлет-коэффициента, $\bar{x}_j$ - среднее значение ряда из n отсчетов j-го вейвлет-коэффициента.

III. Результаты

По результатам испытаний образцов сплавов Д16АТ, АМг6АМ и стали 20 на основании диаграмм $\sigma = f(\varepsilon)$ были построены функции упрочнения $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$ (рис. 1).

Были определены четыре основных и несколько промежуточных стадий стационарно установившегося процесса деформации:

I – стадия упругости (в зависимости от жесткости нагружающего устройства испытательной машины и упругих свойств испытываемого материала, участок кривой $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$ может иметь вид горизонтального участка, соответствующего постоянному отношению $d\sigma/d\varepsilon$, или вид возрастающей функции);

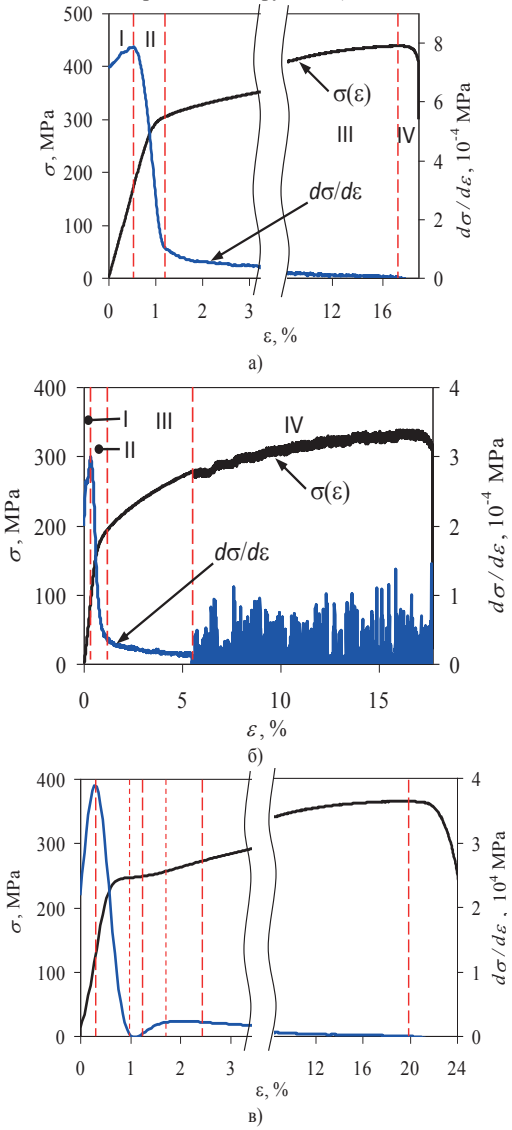


Рис. 1. Диаграммы деформации $\sigma = f(\varepsilon)$ и упрочнения $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$ образцов сплавов Д16АТ, АМг6АМ и стали 20

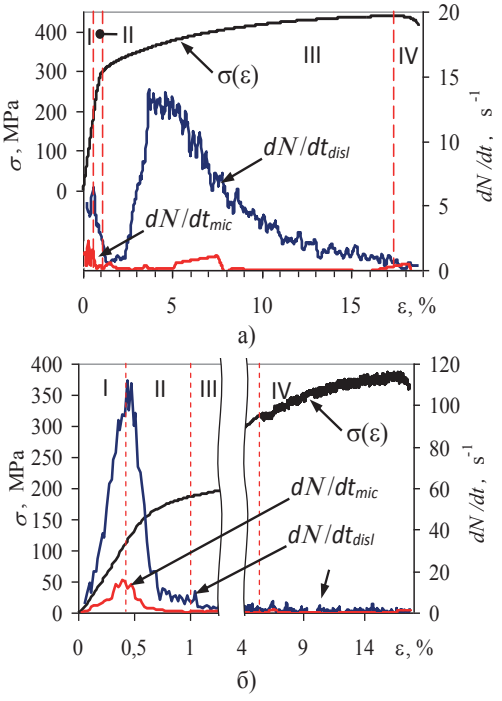
II – начало пластической деформации (характеризуется значительным снижением $d\sigma/d\varepsilon$ с высокой крутизной графика). Для деформации по типу *IV* – стадия разделена на две промежуточные стадии: II_1 – начало пластического течения, II_2 – легкое скольжение (характеризуется горизонтальным участком зависимости $d\sigma/d\varepsilon \sim 0$);

III – стадия деформационного упрочнения. Для деформации по типу *II* и *III* – стадия с убывающей с малой скоростью зависимостью $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$. Для деформации по типу *IV* – стадия разделена на две промежуточные стадии: III_1 – переходная стадия роста зависимости $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$ после стадии легкого скольжения, III_2 – стадия линейного упрочнения с $d\sigma/d\varepsilon = \text{const}$, III_3 – стадия с убывающей с малой скоростью зависимостью $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$;

V – стадия с убывающим с малой квазипостоянной скоростью зависимости $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$,

IV – стадия локализованной деформации (характеризуется снижением графика зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$, связанным с локализацией деформации). Для деформации по типу *II* и *IV* локализация связана с образованием шейки в зоне будущего разрушения. Для деформации по типу *III* – локализация происходит скачкообразно по время прерывистой текучести в полосах локализованной деформации (эффект Портевена – Ле Шателье).

Рис. 2 иллюстрирует активность сигналов АЭ *dN/dt*, разделенных по типам источников, сопоставленных с кривой деформации σ(ε). На диаграммах отмечены стадии, выделенные на основании зависимости $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$ по рис. 1.



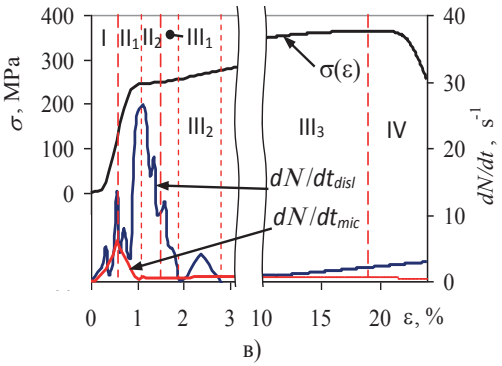


Рис. 2. Графики активности dN/dt различных типов источников АЭ и диаграммы деформации для сплавов: а) Д16АТ, б) АМг6АМ, в) сталь 20

Разделение по типам источников АЭ было проведено по ранее апробированной методике, приведенной в [11, 12]. По данной методике поле двухпараметрического распределения E-K_f (энергия – частотный коэффициент) сигналов АЭ было разделено на три области, соответствующие различным видам источников сигналов АЭ: дислокации – $E < 0{,}8$ мВ^2·с и $K_f > 3{,}5$; микротрещины – $E = 0{,}8$-20 мВ^2·с при $K_f > 3{,}5$ и $E < 20$ мВ^2·с при $K_f < 3{,}5$; $E < 20$ мВ^2·с; макротрещины – $E > 20$ мВ^2·с. Условное разделение источников было выполнено на основании множественных экспериментов с регистрацией АЭ при деформации материалов различных по твердости и пластичности. Сигналы АЭ при активном движении дислокаций регистрировались на стадии активной пластической деформации Людерса. Микротрещинами было принято считать раскрытие трещин < 1-2 мкм, макротрещинами – >5-10 мкм Микротрещины регистрировались при растрескивании твердого упрочненного слоя различной толщины.

Основной целью разделения сигналов АЭ по типам источников является выявление механизмов деформации на различных стадиях деформации. Для каждой стадии по характеру активности АЭ сигналов различных типов источников выявлены общие закономерности и индивидуальные особенности проявления деформации.

IV. Обсуждения

A. Стадия I

Стадия I ($\varepsilon \sim 0$-$0{,}5$ %) классифицируется как стадия упругости на основании возрастания значений $d\sigma/d\varepsilon$ в течение стадии. К окончанию стадии I для всех материалов наблюдается наличие первого пика активности АЭ. Первый пик АЭ на стадии микротекучести можно связать с коллективным движением и размножением дислокаций в области границ зерен преимущественно поверхностного слоя, а также с их выходом на поверхность. Зарождение новых дислокаций в основном происходит на границах зерен и микроконцентраторов напряжений непосредственно на поверхности металла. Высокая скорость приращения напряжения $d\sigma/d\varepsilon$ также вызывает образование

микротрещин по границам зерен, что сопровождается повышением активности соответствующих источников АЭ dN/dt_{mic}. Наибольшая активность сигналов АЭ дислокационного типа наблюдается у сплава АМг6АМ: $dN/dt_{disl} = 110$ с$^{-1}$.

Б. Стадия II

Стадия II ($\varepsilon \sim 0{,}5$-$1{,}5$ %) – стадия пластической деформации. Стадия характеризуется высокой скоростью снижения $d\sigma/d\varepsilon$ и спадом активности всех типов источников АЭ для материалов, деформирующихся по типу *II* и *III*. Для материалов с площадкой текучести стадия II условно может быть разделена на две промежуточные стадии: II_1 – начало пластической деформации и II_2 – стадия текучести или легкого скольжения ($d\sigma/d\varepsilon \sim 0$), которая становится заметной лишь при значительном увеличении масштаба по оси ε. Для материалов с площадкой текучести, деформирующихся по типу *IV*, характерно наличие второго пика активности АЭ сигналов дислокационного типа dN/dt_{disl} на стадии II_2 (рис. 2, в). Второй пик активности АЭ, как правило, превышающий первый, также характерен для большинства низколегированных и низкоуглеродистых сталей с деформацией по типу *II*. Пики активности АЭ при прохождении деформации Людерса на площадке текучести связаны с лавинообразным прорывом дислокаций во всем объеме металла на линии фронта текучести. Основными факторами являются также процессы выхода дислокаций на поверхность и увеличение плотности дислокаций у границ зерен.

В. Стадия III

Стадия III деформационного упрочнения является наиболее протяженной и интересной в отношении особенностей структурных изменений в различных материалах. Особенностью данной стадии, является снижение общего уровня активности АЭ. На этой стадии происходит значительное увеличение плотности дислокаций с выходом дислокационных скоплений на границы зерен и границы фазовых включений, а также с формированием дислокационной ячеистой структуры с критической плотностью дислокаций и образованием субмикротрещин [13-15]. Увеличение плотности дислокаций приводит к сокращению длины свободного пробега и плотности подвижных дислокаций (уменьшаются амплитуда и энергия сигналов АЭ). Промежуточная стадия линейного упрочнения III_2 стали 20 характеризуется небольшим повышением активности АЭ сигналов дислокационного типа на данной стадии. Несколько сигналов зарегистрированы также при излучении образующимися микротрещинами. Убывание с коэффициента $d\sigma/d\varepsilon$ на промежуточной стадии III_3, завершающей деформационное упрочнения стали 20, протекает с низкой активностью АЭ или ее отсутствием.

Иной механизм регистрируется на стадии деформационного упрочнения сплава Д16АТ. Низкий уровень активности к окончанию стадии II сменяется ростом активности сигналов АЭ дислокационного типа при достижении деформации $\varepsilon \sim 3$ % на стадии III. Пик активности $dN/dt_{disl} = 15$ с$^{-1}$ достигается при $\varepsilon \sim 5$ %. Объяснение этому явлению кроется в механизме деформационного упрочнения сплава Д16. Как известно, медьсодержащие сплавы алюминия упрочняются по механизму дисперсионного твердения. На частицах образующейся при старении второй фазы при деформации происходит образование дислокационных петель с последующим повышением плотности дислокаций и упрочнением.

Г. Стадия IV

Макролокализация деформации на стадии IV, сопровождающаяся образованием шейки, приводит, как правило, к значительному снижению активности АЭ вплоть до полного исчезновения. Подобное наблюдается для материалов, деформирующихся по типу *II* и *IV*. К ним относятся сплав Д16АТ и сталь 20. Это связано с уменьшением деформируемого объема, увеличением плотности дислокаций и значительным измельчением зерен в локализованном объеме. Последнее часто приводит в проявлению зернограничной пластичности, имеющей низкий уровень энергии излучаемых сигналов АЭ. Проявляющийся на сплаве АМг6АМ эффект прерывистой текучести также является проявлением локализации деформации, природа которой еще не до конца изучена. Прерывистая текучесть является проявлением неоднородности пластической деформации на мезоуровне. Переход от одного мезоуровня к другому и переход от мезоуровня в макроуровню достаточно условен. Прерывистая текучесть определена как локальная неустойчивость пластической деформации, не приводящая до некоторого момента к общей потере устойчивости. Поэтому прерывистая текучесть может быть отнесена к стадии IV, охарактеризованной как стадия локализации деформации.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Эффективное описание механизмов деформации с использованием метода АЭ становится возможным при разделении сигналов и идентификации источников АЭ.

2. Стадии деформации, выделенные на основании функции деформационного упрочнения $d\sigma/d\varepsilon = f(\varepsilon)$, согласованы с активностью АЭ для различных типов источников АЭ на данных стадиях.

3. Стадии упругости (микротекучести) и пластической деформации Людерса для различных материалов имеют общность параметров АЭ и характеризуются одним или двумя пиками активности АЭ. Параметры АЭ на стадии деформационного упрочнения существенно зависят от особенностей гетерогенной структуры деформируемых материалов. Выявленная общность параметров АЭ на стадии IV показывает возможность отнесения стадии прерывистой текучести и макролокализации к проявлению локализации деформации на различных масштабных уровнях.

Благодарности

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Новые материалы и технологии «ФГБОУ ВПО «КнАГТУ».

Литература

[1] Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов/ Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Наука, 1995. – Т. 1. – 298 с., Т. 2. – 320 с
[2] Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. Пер. с англ. Под ред. М.Л. Бернштейна, С.П. Ефименко. М.: Металлургия. 1989. 576 с.
[3] A. H. Cottrell: Vacancies and Other Point Defects in Metals and Alloys, pp.1-40, Inst. of Met., London, 1958.
[4] Головин Ю.И. Иволгин В.И. Область существования эффекта Портевена – Ле Шателье в условиях непрерывного индентирования сплава Al-2.7% Mg при комнатной температуре// Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46. – Вып. 9. – С. 1618-1620.
[5] Бэлл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. М.: Наука. – 1984. – Ч. 2. – 431 с.
[6] Муравин Г.Б., Симкин Я.В., Мерман А.И. Идентификация механизма разрушения материалов методами спектрального анализа сигналов акустической эмиссии// Дефектоскопия. – 1989. - № 4. – С. 9–15.
[7] Брагинский А.П. Распознавание дефектов по спектральным характеристикам акустической эмиссии// Дефектоскопия. – 1984. - № 1. – С. 47–55.
[8] Брагинский А.П., Медведев Б.М., Платков А.И. Амплитудно-частотная методика локации источников акустической эмиссии// Дефектоскопия. – 1988. - № 8. – С. 58–65.
[9] Hamstad M. A., Gallagher A. O. and Gary J. Examination of the Application of a Wavelet Transform to Acoustic Emission Signals: Part 1. Source Identification// J. Acoustic Emission. – 2002. – V. 20. – P. 39-61.
[10] Башков О.В., Парфенов Е.Е., Башкова Т.И. Программно-аппаратный комплекс для регистрации и обработки сигналов, локации и идентификации источников акустической эмиссии // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 5. С. 67-72.
[11] Башков О.В., Панин С.В., Семашко Н.А., Петров В.В., Шпак Д.А. Идентификация источников акустической эмиссии при деформации и разрушении стали 12Х18Н10Т// Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – № 10. – С. 51 – 57.
[12] Башков О.В., Панин С.В., Бяков А.В. Исследование влияния толщины азотированного поверхностного слоя на стадийность деформации и разрушения стали 12Х18Н10Т методом акустической эмиссии, корреляция цифровых изображений и анализа диаграмм нагружения// Физическая мезомеханика. – 2010. - № 6.- Т. 13. – С. 53-72.
[13] Радон Дж. Зависимость роста трещин от частоты при усталости в условиях циклического нагружения с постоянной амплитудой // Физическая мезомеханика. - 2000. - Т.3. - № 2. - С. 81 - 89.
[14] Пенкин А.Г., Терентьев В.Ф. Оценка степени повреждаемости конструкционной стали 19Г при статистическом и циклическов деформировании с использованием акустической эмиссии// Металлы. –2004. – № 3. – С. 78–85.
[15] Панин В.Е., Слосман А.И., Колесова Н.А. Закономерности пластической деформации и разрушения на мезоуровне поверхностей упрочненных образцов при статическом растяжении// Физика металлов и металловедение. – 1996. – Т.82, №2. – С.129-136.

Сорбционные свойства синтетических алюмосиликатов

Гордиенко П.С., Шабалин И.А., Ярусова С.Б., Супонина А.П.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, РОССИЯ, Владивосток, 690022, yarusova@ich.dvo.ru

В работе представлены данные по сорбционным характеристикам синтетических алюмосиликатов кальция (АСК), полученных в многокомпонентной системе $CaCl_2$-$AlCl_3$-KOH-SiO_2-H_2O. Приведены изотермы сорбции ионов стронция АСК из водных растворов без солевого фона с концентрацией ионов Sr^{2+} от 0,65 до 11,1 ммоль·л$^{-1}$ при соотношении твердой и жидкой фаз Т:Ж=1:100. Определены: максимальная сорбционная емкость, константа Ленгмюра, коэффициенты межфазного распределения ионов стронция при различных соотношениях Т:Ж.

Ключевые слова **- синтетический алюмосиликат кальция, сорбция ионов стронция.**

I. Введение

При всем разнообразии существующих сорбентов, применяемых для сорбции радиоактивных изотопов цезия, кобальта, стронция, особое место занимают природные и синтетические цеолиты и композиционные сорбенты на основе силикатов [1] – [7]. В [7] – [10] было показано, что наноструктурированные синтетические алюмосиликаты калия (САК), полученные из водных растворов в системе $AlCl_3$-KOH-SiO_2-H_2O, имеют высокую сорбционную ёмкость, проявляют селективность по отношению к ионам цезия из водных растворов с высоким солевым фоном, устойчивы в щелочных средах и характеризуются высокими кинетическими параметрами в статических условиях сорбции. Алюмосиликаты, получаемые из водного раствора, рентгеноаморфны, поэтому весьма трудно сделать вывод о чистоте получаемой алюмосиликатной фазы, но по элементному составу и соотношению исходных компонентов можно сделать вывод о доминирующем составе полученного вещества.

Структура алюмосиликатов (цеолитов) зависит от соотношения Al:Si и содержания в них воды [11] и определяется температурой, составом алюмосиликатных систем, природой щелочных компонентов, состоянием исходных реагентов, используемых при синтезе [12].

В представленной работе изложены результаты исследования состава, структуры, морфологии, сорбционных свойств алюмосиликатов кальция, полученных в многокомпонентной системе $CaCl_2$-$AlCl_3$-KOH-SiO_2-H_2O по отношению к ионам Sr^{2+} из водных растворов хлорида стронция и из растворов с солевым фоном.

II. Материалы и методы

В качестве исходных веществ для синтеза алюмосиликатов кальция с заданными соотношениями

Al:Si, равными 2:2; 2:6; 2:10, использовали реагенты: $CaCl_2$ квалификации «ч», $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ «ч», $SiO_2 \cdot nH_2O$ «ч» и гидроксид калия квалификации «ч.д.а.». Исходные компоненты взяты (относительно предполагаемого состава безводного конечного продукта) в стехиометрическом соотношении, соответствующем получению цеолитов состава: I—$CaAl_2Si_2O_8 \cdot mH_2O$;

II—$CaAl_2Si_6O_{16} \cdot mH_2O$; III—$CaAl_2Si_{10}O_{24} \cdot mH_2O$

согласно химической реакции:

$$8KOH+n \cdot SiO_2 \cdot kH_2O+CaCl_2+2AlCl_3 \cdot 6H_2O+H_2O= CaAl_2Si_nO_{(n+2)2} \cdot mH_2O + 8KCl + H_2O, \quad (1)$$

где n =2; 6; 10.

Навеску гидроксида калия растворяли в дистиллированной воде, в полученный раствор, нагретый до (85-95)°С, вносили рассчитанное количество двуокиси кремния и выдерживали при постоянном перемешивании до ее полного растворения (раствор 1). В отдельных сосудах готовили растворы $CaCl_2$ и $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, которые затем смешивали с раствором 1. При сливания раствор активно перемешивали и поддерживали температуру в пределах (85-95)°С. В результате химической реакции образуется объемный осадок белого цвета. После отстаивания осадка pH раствора контролировали с помощью pH-метра/иономера «Мультитест ИПЛ-102» со стеклянным электродом ЭСК-10601/7, стандартизованным по буферным растворам. Уплотнение осадка после синтеза резко замедляется с увеличением содержания SiO_2 в исходной системе при получении алюмосиликата с отношением Al:Si, равным 2:10. Полученные осадки промывали горячей дистиллированной водой, и промывание считали законченным по отрицательной реакции на хлор-ионы в промывных водах. Осадки отделяли фильтрованием с помощью водоструйного насоса, снабженного воронкой Бюхнера, через фильтр «белая лента». Промытые осадки сушили при (105÷110)° С в сушильном шкафу в течение 3 суток и хранили в эксикаторе, заполненном подготовленным силикагелем.

Раствор хлорида стронция с концентрацией ионов Sr^{2+} 40 мг·мл$^{-1}$, готовили растворением точной навески $SrCl_2 \cdot 6H_2O$ марки «ч.д.а.» в дистиллированной воде. Из полученного раствора разбавлением готовили серию исходных водных растворов в интервале концентраций ионов Sr^{2+} от 0,65 до 11,1 ммоль·л$^{-1}$.

Опыты по сорбции ионов Sr^{2+} проводили в статических условиях при 20 °С. Подготовленные навески сорбента смешивали с водными растворами $SrCl_2$ с нулевым солевым фоном и на фоне 0,01 моль·л$^{-1}$ $Ca(NO_3)_2$, перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение 3 ч до установления равновесия. Раствор отделяли от сорбента фильтрованием через бумажный фильтр «белая лента» и определяли в фильтрате концентрацию ионов Sr^{2+}, Ca^{2+}, K^+.

Для получения данных по сорбции ионов Sr^{2+} в статических условиях из водных растворов сложного ионного состава были приготовлены растворы, имитирующие состав воды озера-накопителя № 11 ПО «Маяк». Состав раствора, мг/л:

Sr^{2+} - (10-12); Ca^{2+} - 100; Mg^{2+} - 75; Na^+ - 132;

K^+ - 15; Cl^- - 82; SO_4^{2+} - 650 [4].

Расчет сорбционной емкости сорбента (A_c) проводили по формуле:

$$A_c = \frac{(c_0 - c_{равн}) \cdot V}{m} \quad (2)$$

где m-масса сорбента, г; V-объем исследуемого раствора, л; c_o и $c_{равн}$ – начальная и равновесная концентрация ионов Sr^{2+}, ммоль·л$^{-1}$.

Степень извлечения ионов стронция рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{(c_0 - c_{равн})}{c_0} \cdot 100\% \quad (3)$$

На основании полученных экспериментальных данных по сорбционной емкости исследуемых образцов-сорбентов от исходных и равновесных концентраций Sr^{2+} в растворе, построены изотермы сорбции. В каждой серии опытов проводили контрольный опыт, когда в качестве нулевого раствора использовали дистиллированную воду и сорбент.

Коэффициент межфазного распределения (K_d, мл/г) рассчитывали по формуле:

$$K_d = \frac{(c_o - c_{равн}) \cdot V}{c_{равн} \cdot m} \quad (4)$$

где V - объем исследуемого раствора, мл; m - масса сорбента, г.

III. Результаты и их обсуждение

Количественное определение элементного состава полученных образцов показало следующие содержания элементов в АСК, масс.% (моль):

АСК(I) — Si–31,4 (1,12); Al-29,3 (1,08); Ca-22,5 (0,56); K-16,8 (0,43);

АСК(II) — Si–61,2 (2,18); Al-20,0 (0,74); Ca-5,8 (0,14); K-13,0 (0,33);

АСК(III) — Si–63,1 (2,25); Al-12,7 (0,47); Ca-8,2 (0,2); K-16,0 (0,41).

Из полученных данных следует, что отношение Al:Si в образцах соответствует заданному (2:2; 2:6; 2:10), но суммарное количество катионов – кальция и калия (их суммарный заряд) свидетельствует о том, что состав алюмосиликата кальция не является однофазным. В их составе могут быть как алюмосиликаты, так и силикаты кальция и алюминия. В составе АСК установлено наличие кристаллизационной (цеолитной) воды: для АСК (I) - $3H_2O$, а для АСК (II) и АСК (III) по 4 H_2O.

Согласно данным рентгенофазового анализа, в составе полученных АСК установили наличие только рентгеноаморфных фаз (рис. 1).

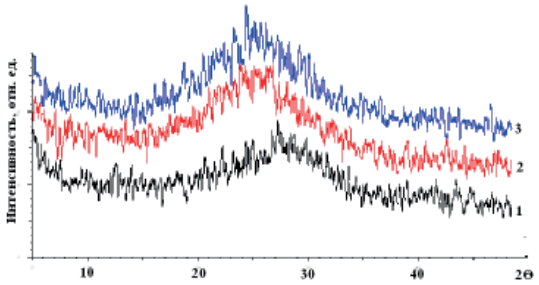


Рис 1. Дифрактограммы алюмосиликатов кальция: 1- АСК(I); АСК(II); АСК(III)

Из дифрактограмм следует, что межплоскостное расстояние d(Å) для алюмосиликатов изменяется в последовательности: I< II< III (3,2200 < 3,5344 < 3,5432), что является косвенным подтверждением образования соединений с различными параметрами кристаллической решётки в зависимости от отношения Al:Si.

На рентгенограммах образцов после их отжига при 920 °С в течение 4 ч на фоне аморфного пика в диапазоне углов 15÷35 градусов зарегистрированы пики, относящиеся к гидроксиду алюминия и к силикату алюминия Al_2SiO_5.

После отжига образцов (независимо от наличия в них щелочного металла) при 1100 °С в течение 5-6 ч на рентгенограммах (рис. 2) зарегистрированы пики, относящиеся к кристаллической фазе анортита ($CaAl_2Si_2O_8$) триклинной модификации с параметрами кристаллической ячейки: a – 8,173; b – 12,869; c – 14,165; α = 93,113; β = 115,913; γ = 91,261; и пики, относящиеся к фазе муллита ($Al_{2,4}Si_{0,6}O_{4,8}$) орторомбической модификации с параметрами кристаллической ячейки: a = 7,583; b = 7,681; c = 2,6854; α = β = γ = 90º.

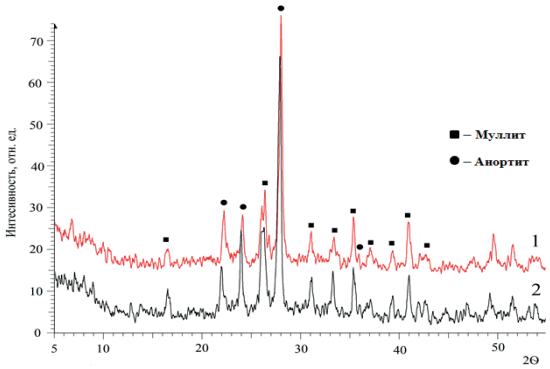


Рис. 2. Дифрактограмма образцов АСК (I) – 1; и АСК (II) – 2

ИК спектры АСК приведены на рис. 3. Согласно [13], интенсивные полосы поглощения в области 850…1100 см$^{-1}$ отнесены к валентным колебаниям связей Si-O-Si и Al-O-Al, а низкочастотные полосы в области 450…600 см$^{-1}$ к деформационным колебаниям связей Si-O-Si и Al-O-Si.

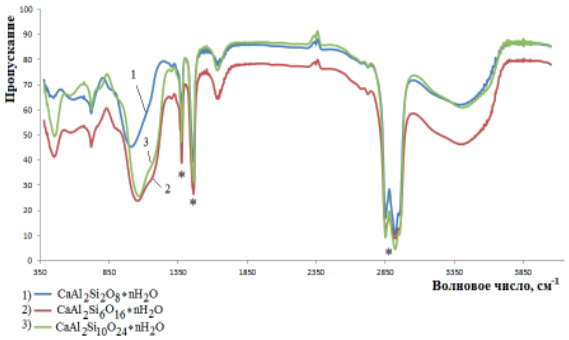


Рис. 3. ИК спектры образцов АСК

С увеличением соотношения Si/Al в алюмосиликатах максимум пика поглощения, отнесённого к валентному колебанию Si-O, смещается в область высоких частот: для АСК(I)–1010,7 см$^{-1}$, АСК(II)–1056,99 см$^{-1}$, АСК(III)–1064,71см$^{-1}$. Такое смещение может быть следствием увеличения энергии решётки алюмосиликатов кальция с увеличением отношения Si/Al [11]. Наличие воды в АСК подтверждается довольно интенсивным пиком поглощения в области частот 3000-3800 см$^{-1}$, характерных для валентных колебаний с участием атомов водорода [13].

Удельная поверхность исследуемых образцов АСК (I, II, III), определенная многоточечным методом БЭТ, составила 83±5,0 м^2/г; 90±5,0 м^2/г; 121±5,0 м^2/г, соответственно. Согласно данным, полученным на электронном микроскопе высокого разрешения (рис.4), морфологических особенностей образцов не выявлено, все они представляют наноструктурированные образования, аналогичные САК [7], имеют многоуровневое пористое строение с размерами пор до сотен нм, а размер блоков до десятка нм.

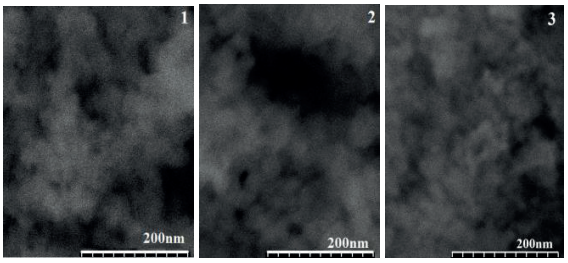


Рис. 4. Морфология синтетических алюмосиликатов кальция: 1- АСК(I); 2- АСК(II); 3-АСК(3)

Для АСК с отношением Al:Si = 2:10 характерно образование аморфной фазы с повышенной удельной поверхностью.

Для всех алюмосиликатов характерно химическое модифицирование, связанное с катионным обменом, как в процессе их синтеза, так и при последующей обработке в расплавах или растворах солей при различных температурах. В исследуемой многокомпонентной системе $CaCl_2$-$AlCl_3$-KOH-SiO_2-H_2O предварительно были получены соли поликремневой кислоты с заданным соотношением KOH/SiO_2 с последующим их смешиванием с раствором хлоридов кальция и алюминия. В результате катионного обмена в системе устанавливается термодинамическое равновесие, определяемое изменением величины

свободной энергии Гиббса, которое равно разности энергий катионов взаимодействующих с отрицательно заряженным каркасом образовавшегося алюмосиликата и разности энергий их гидратации в растворе и алюмосиликате.

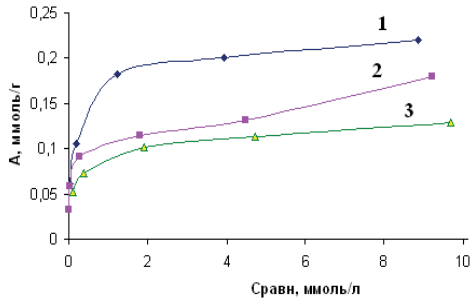


Рис. 5. Изотермы сорбции ионов Sr^{2+} синтетическими алюмосиликатами: 1-АСК(I); 2- АСК(II); 3-АСК(III)

Для всех образцов АСК (I; II; III) изотермы сорбции, представленные на рис. 5, описываются уравнением Ленгмюра с константой $K_л$ равной 2,85 л/ммоль, а максимальные сорбционные ёмкости для АСК (I); АСК (II); АСК (III) равны 0,22; 0,18; 0,13 ммоль·$г^{-1}$ соответственно, т.е. прослеживается незначительное снижение сорбционной ёмкости с увеличением в составе алюмосиликата SiO_2 (для АСК(III) отношение Al:Si=2:10). Как и для синтетического наноструктурированного алюмосиликата калия [7], время выхода на равновесную концентрацию при сорбции АСК ионов Sr^{2+} из хлоридных растворов при температуре 20 °С в статических условиях составляет несколько минут.

Данные по сорбции ионов стронция алюмосиликатами с различным соотношением ионов кальция (0,4 и 0,5) к ионам калия равным 1,4 АСК(I^1) и 3,8 АСК(I^2) представлены на рис. 6.

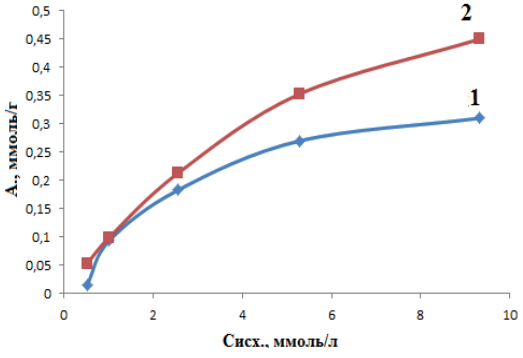


Рис. 6. Изотерма сорбции ионов Sr^{2+}; АСК(I^1) - 1, АСК(I^2) - 2

Сорбционная ёмкость алюмосиликата с повышенным содержанием ионов кальция (АСК(I^2)) при концентрациях ионов стронция в растворе более 2,5 ммоль/л больше, чем у АСК(I^1).

Выводы

Получены сложные по составу рентгеноаморфные наноструктурированные алюммосиликаты кальция с соотношением Al:Si=2:2; 2:6; 2:10. Для АСК с отношением Al:Si=2:10 характерно образование аморфной фазы с повышенной удельной поверхностью, но максимальная сорбционная ёмкость у них несколько ниже чем для образцов с отношением Al:Si = 2:2 и 2:6, что коррелирует с относительным содержанием катионнообменных центров. Максимальная сорбционная ёмкость по ионам стронция составляет 0,45 ммоль/г.

При сорбции ионов стронция в статических условиях из водных растворов хлорида стронция с концентрацией не превышающей 0,3 ммоль·$л^{-1}$, без солевого фона, при Т:Ж=1:100 степень извлечения ионов Sr^{2+} превышает 99%, что может быть использовано при очистке водных растворов. Степень извлечения ионов стронция из растворов с ионным составом, имитирующим воды озера – накопителя №11 ПО «Маяк», составляет 85-90%.

Установлено, что в алюмосиликатах кальция, получаемых в системе $CaCl_2$-$AlCl_3$-KOH-SiO_2-H_2O, отношение Al:Si соответствует заданному, но суммарный заряд катионов кальция и калия и их отношение изменяются в зависимости от условий проведения эксперимента: температуры, объёма промывных вод, стехиометрического соотношения растворимых солей кальция и калия, находящихся в равновесии с продуктами реакции. В рассматриваемых условиях в многокомпонентной системе происходит образование как алюмосиликатов кальция, так и алюмосиликатов калия, что подтверждается элементным составом исходных образцов и фазовым составом отожжённых образцов. Сложные по составу алюмосиликаты следует рассматривать как продукты химического модифицирования алюмосиликатов кальция и калия в процессе синтеза или их взаимодействия с солевым раствором при последующей выдержке.

Литература

[1] El-Naggar I.M, Mowafy E.A., Y.F. El-Aryan, El-Wahed M.G. Abd. Sorption mechanism for Cs+, Co2+ and Eu3+ on amorphous zirconium silicate as cation exchanger // Solid State Ionics. 2007. Vol. 178. P. 741 - 747

[2] Singh B.K., Tomar Radha, Kumar Sumit, Jain Aishwarya, Tomar B.S., Manchanda V.K. Sorption of 137Cs, 133Ba and 154Eu by synthesized sodium aluminosilicate (Na-AS) // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 178.P. 771 - 776.

[3] Ibrahim Mohammed El-Naggar, Gehan Mohammed Ibrahim, Eman Ahmed El-Kady Aqueous-Phase Sorption Behaviors of Cs+, Co2+, Sr2+ and Cd2+ Ions on Some Composite Ion Exchangers // Advances in Chemical Engineering and Science. 2012. Vol. 2. P. 180 - 186.

[4] Баранова О.Ю. Защита водных объектов от техногенных радионуклидов сорбентами на основе опалкристобалитовых пород // автореф. дис…канд. тех. наук. – Екатеринбург, 2006. – 19 с.

[5] Yukio Tachi, Kenji Yotsuji, Yoshimi Seida, Mikazu Yui Diffusion and sorption of Cs+, I- and HTO in samples of the argillaceous Wakkanai Formation from the Horonobe URL, Japan: Clay-based modeling approach // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. Vol. 75. P. 6742 - 6759.

[6] Coleman N. J., Brassington D. S., Raza A., Mendham A. P. Sorption of Co2+ and Sr2+ by waste-derived 11 Å tobermorite // Waste Management. 2006. Vol. 26. P. 260-267.

[7] Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Буланова С.Б., Шабалин И.А., Курявый В.Г. Использование синтетического алюмосиликата для

сорбции ионов цезия // Химическая технология. 2013. Т.14. № 3. С. 185 - 192.
[8] Патент 2510292 Российская Федерация, МПК B01J 20/30, B01J 20/16. Способ получения сорбента цезия / Гордиенко П.С. Шабалин И.А. Ярусова С.Б. № 2012138231/05; заявл. 06.09.2012; опубл. 27.03.14, Бюл. № 9 . – 15 с.
[9] Патент 2516639 Российская Федерация, МПК B01J 20/30, B01J 20/16. Способ получения сорбента цезия / Гордиенко П.С. Шабалин И.А. Ярусова С.Б. № 2012138232/05; заявл. 06.09.2012; опубл. 27.03.14, Бюл. № 9 . – 15 с.
[10] Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Шабалин И.А., Железнов В.В., Зарубина Н.В., Буланова С.Б. Сорбционные свойства наноструктурированного алюмосиликата калия // Радиохимия. 2014., Т 56. № 6. С. 518 - 523.
[11] Костов И. Минералогия. – М.: Мир, 1971. – 584 с.
[12] Жданов С.П., Хвощев С.С., Самулевич Н.Н. Синтетические цеолиты. Изд. Химия, 1981. – 260 с.
[13] Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. – М.: Изд-во Московского университета, 1967. – 189 с.

Количественные показатели структурной организации материала, как основа компьютерной металлографии

В.А. Ким, О.В. Башков, А.А. Попкова, С.В. Зотолорева

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, kmtnm@knastu.ru

Реферат – исходя из формального предположения, что изображение микроструктуры представляет геометрическое множество, разработаны количественные показатели структурной организации материала. Показаны примеры практического применения предлагаемых показателей при анализе структурных превращений в процессе обработки и эксплуатации материала.

Ключевые слова – микроструктура, границы зерен, дефекты кристаллического строения, интерфейс структурного состояния.

I. ВВЕДЕНИЕ

Структурная организация материала является пространственно распределенной, а изображение микроструктуры представляет ее срез в плоскости металлографического шлифа. Изображения микроструктур с формальной точки зрения представляет набор геометрических фигур разной формы и мерности. При таком отображении микроструктуры все ее составляющие теряют одну единицу мерности. Т.е. нольмерные, одномерные и двухмерные объекты в реальности являются линейными, двухмерными и трехмерными соответственно. Мерность микроструктурного объекта, зафиксированного на фотографии, зависит от кратности увеличения. Так, нольмерные объекты при малом увеличении преобразуются в двухмерные образования при высоком увеличении, и это необходимо учитывать при микроструктурном анализе.

Компьютерная обработка изображений микроструктур сводится к вычислению геометрических характеристик ее составляющих, в частности, периметра, площади и среднего диаметра всех двухмерных объектов, имеющих замкнутые границы, фрактальной размерности всех линейных образований и общего количества точечных элементов. Полученные значения в дальнейшем используются для вычисления различных комплексных показателей, характеризующих структурную организацию материала [1 - 5].

II. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИАЛА

Рассмотрим некоторые количественные показатели микроструктуры поликристаллического материала.

Плотность границы отдельного зерна (q_i) – отношение периметра к площади отдельного зерна. Используется как мера для построения закона распределения при анализе зеренной организации и структурной неоднородности

где P_i – периметр отдельного зерна; F_i – площадь отдельного зерна.

Средняя плотность границ зерен ($q_{ср}$) – отношение среднего периметра к средней площади, рассчитанных по совокупности всех зерен, зафиксированных на одной фотографии. Или отношение суммы периметров к сумме площадей всех зерен, зафиксированных на одной фотографии. Является характеристикой структурной организации поликристаллического материала.

$$q_{ср} = \frac{P_{ср}}{F_{ср}} = \frac{\sum P_i}{\sum F_u}$$

где $P_{ср}$ – средний периметр по всем зернам; $F_{ср}$ – средняя площадь по всем зернам, зафиксированных на одной фотографии.

Удельная длина границ зерен ($q_{уд}$) – сумма длин линейных объектов на единичной площади поверхности шлифа. Характеризует структурную организацию поликристаллического материала.

$$q_{ср} = \frac{\sum P_i}{F_ф}$$

где $F_ф$ - площадь поверхности металлографического шлифа, зафиксированной на одной фотографии.

Параметр организации структуры (Q_C) – произведение плотности границы и фрактальной размерности границы, просуммированные по всем зернам, зафиксированным на одной фотографии. Является комплексным показателем структурной организации поликристаллического материала.

$$Q_C = \sum_{i=N}\left(\frac{P_i \cdot D_i}{2F_i}\right)$$

где D_i – фрактальная размерность границы отдельного зерна; N - количество зерен на одной фотографии.

Параметр организации структуры зависит от кратности увеличения, при которой производится фиксация изображения, так как количество микроструктурных объектов на снимке получается разным.

Удельный параметр организации структуры (q_c) – величина параметра организации структуры на единичной площади поверхности металлографического шлифа. Используется как мера для построения закона распределения, оценки степени неоднородности и определения фрактальной размерности.

$$q_c = \frac{Q_C}{F_\phi}$$

Коэффициент развитости границы отдельного зерна (k_o) - отношение периметра к длине окружности, площадь которого равна площади зерна. Используется как мера для построения закона распределения.

$$k_o = \frac{P_i}{2\sqrt{\pi F_i}}$$

Плотность микроструктурных объектов (g) – количество микроструктурных объектов на единичной площади поверхности металлографического шлифа. Является показателем структурной организации материала.

$$g = \frac{N}{F_\phi}$$

где N – количество микроструктурных объектов, зафиксированных на одной фотографии.

Весовой коэффициент каждого зерна (f_i) – отношение площади отдельного зерна к суммарной площади всех зерен. Используется как мера для построения закона распределения.

$$f_i = \frac{F_i}{\sum_{i=N} F_i}$$

Большие возможности структурного анализа материала заложены в цветовой сегментации, позволяющей идентифицировать микроструктурные составляющие по глубине цветовых оттенков. Алгоритм цветовой сегментации заложен во многих программах обработки изображений [7].

III. СВЯЗЬ ГЛУБИНЫ ЦВЕТОВОГО ОТТЕНКА С АКТИВНОСТЬЮ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ТРАВЛЕНИИ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО ШЛИФА

Изменение рельефа при травлении металлографического шлифа, и удаление продуктов реакции связаны с химической активность структурного компонента с реактивом. Чем выше химическая активность, тем больше масса продуктов реакции, глубже рельеф вновь образованной поверхности и ниже коэффициент светового отражения [8].

При правильном выборе состава реактива для травления, микроструктуры с более высокой свободной энергией (химическим потенциалом) должны подвергаться большему изменению рельефа, а образованная в результате травления поверхность будет обладать меньшей светоотражательной способностью [6]. На изображениях микроструктур, снятых в светлом поле, структурные объекты с высокой свободной энергией приобретают большую глубину темно-серого оттенка.

Большинство программ обработки изображений включают алгоритмы цветовой сегментации, позволяющие производить сортировку объектов изображения по глубине цветовых оттенков. Для описания уровня серого цвета в 8-ми разрядном полутоновом изображении принято, что простой черный цвет имеет 0 пикселей, а простой белый – 256. Различная глубина серого оттенка обеспечивается сочетанием черных и белых цветов или комбинацией 0 и 1 в пределах 256 пикселей. Для более точного ранжирования глубины темно-серого оттенка можно применять разложение изображения на цветовые каналы (красный, синий и зеленый) с последующей обработкой каждого полученного изображения по алгоритму полутоновой сегментации [7]. Следовательно, объекты изображения, выявленные в области темно-серых оттенков с низким числом пикселей, представляют микроструктуры, которые подвергались более глубокому травлению или отличались высокой исходной величиной химического потенциала.

IV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Пластическая деформация цилиндрических образцов диаметром 5,0 мм и длиной 125 мм подвергалась растяжению на универсальной испытательной машине INSTRON-3382 до разной степени деформации. Металлографические шлифы изготавливались по традиционной методике, включающей шлифование и полирование на автоматическом станке AutoMet 250, и последующее травление 4,0% раствором азотной кислоты в спирте.

Исследовалась микроструктура в поперечном сечении образцов, которая фиксировалась металлографическим микроскопом «Микро-200» при 400 кратном увеличении. Обработка изображений микроструктур осуществлялась специальной программой Image.Pro.Plus.5.1.

Исследуемые изображения микроструктур предварительно подвергались корректировке резкости и пространственной калибровке. Цветовая сегментация проводилась без разложения на цветовые каналы. Для этого вся шкала глубин темно-серого цвета была разделена на 5 интервалом равных 51 пикселю. Границы интервалов глубин темно-серого цвета и их средние значения в пикселях приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Границы участков темно-серых оттенков и среднее значение каждого диапазона в пикселях

Диапазон	1	2	3	4	5
Границы диапазона	0/51	52/103	104/155	156/207	208/255
Среднее значение	25	77	129	181	232

В каждом интервале темно-серых оттенков снималась контрастная маска, в результате чего исходное изображение микроструктуры раскладывалось

на 5 снимков. Контрастные маски с малыми значениями цветовых оттенков в пикселях фиксировали микроструктурные объекты, которые в результате травления приобретали более глубокие темные цвета, т.е. обладали более высоким исходным химическим потенциалом.

По изображениям контрастных масок рассчитывались количество (N) всех микрообъектов, зафиксированных на одной фотографии, площадь (F_i) и периметр (P_i) каждого из них. Полученные значения использовались для вычисления средней плотности границ ($q_{ср}$) и средней площади микроструктурных объектов ($f_{уд}$).

Площадь металлографического шлифа, зафиксированная на снимке при увеличении 400 крат составляла 32800 мкм^2.

Сравнительный анализ показывает, что микроструктуры в поперечном сечении, сформированные при растяжении, мало отличаются исходной, так как деформационные изменения зеренной структуры более выражено проявляются в продольном сечении образцов. Тем не менее, незначительное уменьшение размеров зерен и повышение плотности точечных образований ощутимо при деформации ε > 0,2.

Микроструктуры, идентифицированные на контрастных масках, состоят из точечных объектов, объединенных в колонии с разной степенью упорядоченности. Линейные объекты состоят из совокупности точечных образований, выстроенных в ряд, а поверхностные микроструктуры представляют плоские фигуры, ограниченные замкнутыми границами раздела. Внутри поверхностных структур выявляются неоднородно распределенные точечные образования.

Количество точечных объектов в зависимости от их химического потенциала носит экстремальный характер, достигая максимума в третьем диапазоне глубин темно-серого оттенка (рис. 1).

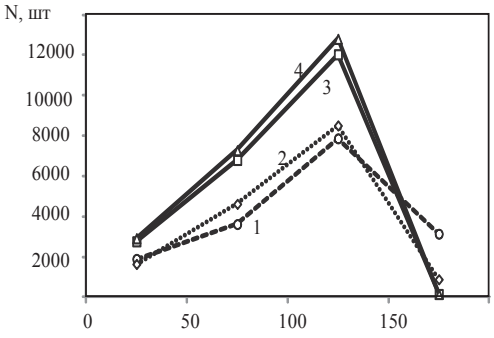


Рис. 1. Распределение количества микроструктурных объектов стали 20 по глубине темно-серого цвета в исходном состоянии (1) и после деформации ε = 0,05 (2), ε = 0,2 (3), ε = 0,3 (4)

С повышением степени пластической деформации количество точечных объектов увеличивается. Средняя площадь точечных объектов варьируется от 0,2 до 1,4 мкм^2 (рис. 2). В зависимости от величины химического потенциала, площадь точечных объектов носит экстремальный характер с максимумом во втором диапазоне глубин темно-серого оттенка. С повышением степени пластической деформации размеры точечных объектов снижается.

Точечные объекты, зафиксированные на контрастной маске, в реальности могут представлять поля упругих напряжений матрицы вокруг дисперсных частиц второй фазы и пересечения одномерных дефектов кристаллического строения с плоскостью металлографического шлифа. Учитывая, что в структуре стали 20 присутствие дисперсных частиц второй фазы незначительно, можно предположить, что точечные объекты на контрастных масках в своем большинстве представляют сечения осей линейных дефектов, вокруг которых в матрице формируется поле упругих напряжений. Следовательно, разложение изображения микроструктуры по цветовой сегментации можно рассматривать как один из методов выявления одномерных дефектов кристаллического строения и их ранжирования по структурно-энергетическим показателям.

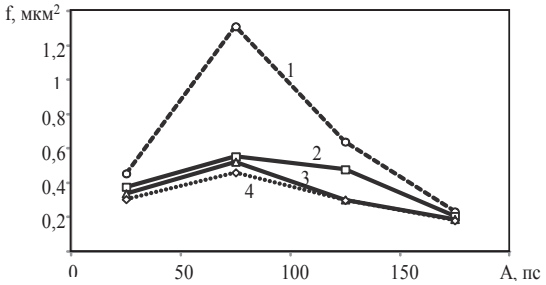


Рис. 2. Распределение средней площади микроструктурных объектов стали 20 по глубине темно-серого цвета в исходном состоянии (1) и после деформации ε = 0,05 (2), ε = 0,2 (3), ε = 0,3 (4)

Степень развитости границ или их суммарная протяженность характеризует ее потенциальную способность блокировать подвижность скользящих дислокаций, отвечающих за пластическую деформацию [10]. С повышением степени пластической деформации развитость границ возрастает за счет генерации дислокаций источниками, функционирующими на границах, выход внутризеренных дислокаций к границам и деформационным изменением формы самих зерен [11, 12]. Степень развитости границ количественно оценивается удельной плотностью границ. Распределение микроструктурных объектов по этому показателю для разных глубин темно-серого оттенка показано на рис. 3.

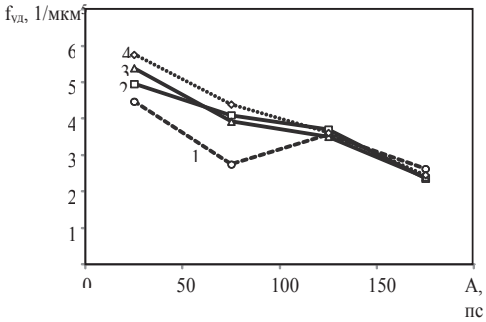


Рис. 3. Распределение удельной плотности границ микроструктурных объектов стали 20 по глубине темно-серого цвета в исходном состоянии (1) и после деформации ε = 0,05 (2), ε = 0,2 (3), ε = 0,3 (4)

Из анализа приведенных результатов следует, что с повышением степени пластической деформации развитость границ микроструктурных объектов в общем случае возрастает. Микроструктуры с развитыми границами отличаются более высокой величиной химического потенциала, и они более активно реагируют на деформацию. Удельная плотность границ микроструктурных объектов с малой величиной химического потенциала практически не зависит от степени пластической деформации. Энергетика этих микроструктурных объектов, видимо, закладываются на стадии производства материала и изделия, и отличаются высокой структурной стабильностью.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Цветовая сегментация изображений микроструктур позволяет разделять микроструктурные объекты по глубине темно-серого оттенка, которые косвенно характеризуют их структурно-энергетическое состояние.

2. С повышением степени пластической деформации плотность точечных объектов и их диаметральные размеры возрастают, а с изменением глубины темно-серого оттенка носят немонотонный экстремальный характер с наличием максимума.

Цветовую сегментацию изображений микроструктур можно рассматривать как методику декорирования линейных дефектов кристаллического строения.

Литература

[1] Kim V.A., Petrov V.V., Butin A.V., Belova I.V., Shpileva A.A. Quantitative Structure-and-Energy Analysis of Heat Treatment of Structural Steel /Metal Science and Heat Treatment. Vol. 52. № 3–84. 2010. p. 163-165.

[2] Kim V.A., Belova I.V., Boutin A.V. Kinetics of structural of hardened steel 15H5M during tempering /Modern materials and technologies. 2013. № 1. с. 126-131.

[3] Ким В.А., Лиманкин В.В., Марин Б.Н. и др. Количественная оценка зеренной структуры конструкционных сталей при пластической деформации и рекристаллизационном отпуске /Ученые записки КнАГТУ, 2012. № II. с. 83 – 88.

[4] Башков О.В., Ким В.А., Попкова А.А. Методика цифровой обработки изображений микроструктуры алюминиевых сплавов в среде MATLAB /Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т.79, №10. с.34-40.

[5] Ким В.А., Евдокимова Р.В., Золоторева С.В., Попкова А.А., Йошида М. Статистическая оценка количественной металлографии /Ученые записки КнАГТУ. 2013. № II-1 (14). с. 76-82

[6] Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля – М.: Техносфера, 2004. 384 с.

[7] Претт У. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ.- М.: Мир, 1982. 480 с.

[8] Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия: Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1988 . 400 с.

[9] Чувельдиев В.Н. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 304 с.

[10] Кристиан Д. Теория превращений в металлах и сплавах. Термодинамика и общая кинетическая теория. – М.: Мир, 1978. 808 с.

[11] Балахонов Р.Р., Болеста А.В., Бондарь М.П. и др. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 520 с.

[12] Иванова В.С., Баланкин Л.С., Оксогоев А.А., Бунин И.Ж. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. 383 с.

Государственные стандарты на чугуны для отливок

Е.В. Ковалевич[1]

[1] ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия, Е. К. ev-kov@yandex.ru

Реферат **– приведены государственные стандарты на все виды чугунов. Изложены принципы построения стандартов и обозначения марок различных видов чугунов, применяемых для отливок.**

Ключевые слова **– чугун, государственный стандарт, марки, химический состав, прочность, специальные свойства, графит, пластинчатый, шаровидный, вермикулярный, компактный**

I. Введение

Чугуны для отливок различают:

- по структуре металлической основы: на серый, белый и половинчатый;
- по форме графита: на чугун с пластинчатым, вермикулярным, шаровидным и хлопьевидным (компактным) графитом;
- по химическому составу: на нелегированный и легированный.

В сером чугуне углерод находится в виде графита, структурно-свободного цементита нет. В белом чугуне весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита, свободного углерода - графита нет. В половинчатом чугуне углерод присутствует в виде графита и структурно-свободного цементита.

Марки чугунов для отливок регламентируются шестью стандартами:

- ГОСТ 1412-85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок»;
- ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок»;
- ГОСТ 28394- 89 «Чугун с вермикулярным графитом для отливок»;
- ГОСТ 1215-79 «Отливки из ковкого чугуна»;
- ГОСТ 1585-85 «Отливки из антифрикционного чугуна»;
- ГОСТ 7769- 82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами».

II. Результаты и их осуждение

ГОСТ на чугун с пластинчатым графитом предусматривает 9 марок чугуна: СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35. По требованию потребителя допускаются также марки СЧ18, СЧ21, СЧ24, которые были включены из ранее действующего стандарта по просьбе автомобильных заводов. Условное обозначение марки включает буквы СЧ – серый чугун и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления при растяжении в кг/мм^2. Предел прочности при растяжении определяется на одном образце, изготовленном из заготовки диаметром 30 мм. Диаметр расчётного сечения образца 20 мм. Для получения сопоставимых результатов отливка заготовок производится по ГОСТ 24648-90.

Прочность чугуна зависит от его структуры, которая в свою очередь определяется составом и скоростью охлаждения чугуна. Прочность чугуна растёт при увеличении доли перлита в структуре чугуна и уменьшении общего количества углерода, т.к. пластинки графита - это несплошности в матрице, уменьшающие живое сечение, и к тому же концентраторы напряжений. Поэтому марки чугуна СЧ30 и СЧ35, имеющие наивысшую прочность 30 и 35 кг/мм^2 соответственно имеют чисто перлитную структуру металлической основы с минимальным количеством пластинчатого графита. Для получения такой структуры содержание углерода в чугуне должно быть не более 3,2%, и до 2,0% кремния. Перед заливкой чугун необходимо модифицировать ФС75 или ФСВа для предотвращения отбела.

Марка чугуна определяется только по показателям прочности при растяжении. Химический состав приводится только как справочное приложение, т.к. чугун очень чувствителен к скорости охлаждения. При одном составе и разной скорости охлаждения, например в отливке с разной толщиной стенок, чугун может иметь структуру от ферритной до перлитной и, соответственно, сильно отличающиеся механические свойства. Поэтому в справочном приложении стандарта приведены ориентировочные данные о временном сопротивлении при растяжении и твёрдости в стенках отливки сечением 4, 8, 15, 30, 50, 80 и 150 мм. В справочном приложении приведены также некоторые физические свойства основных марок чугуна: плотность, линейная усадка, модуль упругости при растяжении, удельная теплоёмкость при температуре от20 до 200 °С, коэффициент линейного расширения при температуре от20 до 200 °С и теплопроводность при 20 °С.

ГОСТ на чугун с шаровидным графитом для отливок содержит 8 марок: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80. Марка чугуна определяется его временным сопротивлением при растяжении и условным пределом текучести. Условное обозначение марки включает буквы ВЧ – высокопрочный чугун и цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления при растяжении в кг/мм^2. Механические свойства чугуна обеспечиваются в литом состоянии или после термической обработки. Относительное удлинение и твёрдость определяется только при наличии требований в нормативно-технической документации и должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице обязательного приложения ГОСТа. Наивысшей пластичностью (относительное удлинение не менее 22%) обладает чугун марки ВЧ35, имеющий чисто ферритную структуру металлической основы. Только к этому чугуну может быть предъявлено требование по ударной вязкости при нормальной и пониженной (-40 °С) температуре, предельные значения которого приведены в обязательном приложении. Удлинение более 15, 10 и 7 % может быть получено у чугуна марок ВЧ40, ВЧ45 и ВЧ50 соответственно. Остальные марки, имеющие более высокую прочность, практически не имеют относительного удлинения. Так как необходимые свойства чугуна, в значительной степени зависят от скорости охлаждения, и в большинстве случаев могут быть получены в результате термической обработки, химический состав чугуна не играет определяющей роли и приведен как справочное приложение.

В ряде случаев, когда в основном требуется прочность чугуна, допускается по согласованию между изготовителем и потребителем устанавливать значения относительного удлинения и твёрдости, отличающихся от требований указанных в стандарте. Механические свойства определяют на образце с расчётной частью диаметром 14 мм и длиной 70 мм. Допускается применять образцы других размеров, если это оговорено в нормативно-технической документации или на чертеже отливки. Учитывая повышенную объёмную усадку чугуна, для изготовления образцов используют отдельно отлитые заготовки с прибылями, обеспечивающих получение качественных заготовок. Форма и размеры которых приведены в стандарте. Допускается применять приливные заготовки других размеров, если это оговорено в нормативно-технических документах или чертеже отливки.

ГОСТ на чугун с вермикулярным графитом устанавливает марки чугуна, имеющие в структуре графит вермикулярной формы и шаровидный графит не более 40 %. ГОСТ предусматривает 4 марки чугуна с вермикулярным графитом: ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45. Условное обозначение марки включает: букву Ч – чугун, ВГ – форма графита, вермикулярный графит и цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления разрыву в кг/мм^2. Марка чугуна определяется только временным сопротивлением при растяжении. Химический состав приводится только как справочный в приложении стандарта. Гарантируемая прочность обеспечивается в литом состоянии или после термической обработки. Твёрдость и относительное удлинение определяется только при наличии специальных требований в нормативно-технической документации. Поскольку графит вермикулярной формы ближе к пластинчатому графиту, чем к шаровидному, чугун с вермикулярным графитом даже с ферритной основой имеет весьма незначительную пластичность. Относительное

удлинение для марок ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45 составляет от 3,0, 2,0, 1,5, 0,8 % соответственно. Чугун с вермикулярным графитом имеет повышенную объёмную усадку и поэтому заготовки для изготовления образцов отливаются такой же формы и размеров, как и для чугуна с шаровидным графитом. Определение механических свойств проводят на одном образце расчётным диаметром 14 мм и длиной 70 мм. Допускается в нормативно-технической документации на конкретную продукцию устанавливать образцы других размеров. В стандарте приведены форма и размеры отдельно отливаемых заготовок для изготовления разрывных образцов. Технология получения чугуна с вермикулярным графитом также схожа с технологией получения чугуна с шаровидным графитом и отличается либо количеством вводимого модификатора, либо несколько иным составом модификатора, отличающимся наличием в нём десфероидизирующих элементов. В справочном приложении приведены данные о влиянии толщины стенки отливки на временное сопротивление при растяжении, относительное удлинение, твердость и некоторые физико-механические свойства: временное сопротивление при сжатии, ударная вязкость, предел выносливости, модуль упругости, коэффициент интенсивности напряжения К1с, Циклическая вязкость (логарифмический декремент затухания вибрации), плотность, теплопроводность, коэффициент линейного расширения при 20-100 °С, электросопротивление и магнитная проницаемость, а также области применения чугуна с вермикулярным графитом.

ГОСТ на отливки из ковкого чугуна содержит 11 марок. Обозначение марки включает буквы КЧ – ковкий чугун, П – перлитный класс, Ф – ферритный класс и цифровое обозначение величины минимального значения временного сопротивления при растяжении в кг/мм^2 и относительного удлинения в %. Марки КЧ30-6-Ф, КЧ33-8-Ф, КЧ35-10-Ф, КЧ37-12-Ф ферритного класса, характеризуются ферритной или феррито-перлитной структурой металлической основы и, соответственно, повышенным уровнем относительного удлинения. Марки КЧ50-5-П, КЧ55-4-П, КЧ60-3-П, КЧ65-3-П, КЧ70-2-П, КЧ80-1,5-П перлитного класса. Характеризующегося, в основном, перлитной структурой металлической основы и повышенной прочностью.

Ковкий чугун получается из белого чугуна путём последующего графитизирующего отжига с целью получения углерода отжига в виде хлопьевидного или компактного графита и ферритной, феррито-перлитной или перлитной структуры металлической основы, обеспечивающих получение необходимых механических свойств.

Чугун в отливках перед термообработкой должен быть абсолютно белым. Даже незначительное количество графита приводит к непоправимому браку отливок, называемому «отсер». По этой причине толщина стенки отливки из ковкого чугуна обычно не превышает 60 мм из-за опасности выделения графита. Определение механических свойств чугуна проводят на образцах, прошедших термическую обработку вместе с партией отливок. Образцы отливают горизонтально в одинаковые с отливками формы. Рекомендуемые схемы заливки приведены в стандарте на отливки из ковкого чугуна. Основной размер контрольного образца: диаметр и длина расчётной части 16 и 50 мм соответственно. Допускаются другие размеры образцов в зависимости от преобладающей толщины стенки: диаметром 8 и 12 мм для толщины стенки до 12 и от 12 до 20 мм соответственно. Особенность выплавки ковкого чугуна связана с низким содержанием углерода. В связи с этим предпочтительнее использовать для плавки электропечи. Ковкий чугун перлитного класса получают путём одностадийного графитизирующего отжига при температуре 920-960 °С, и имеет высокие показатели прочности при низком относительном удлинении. Ковкий чугун ферритного класса имеет более низкие показатели прочности, но более высокие показатели относительного удлинения, получается при двухстадийном графитизирующем отжиге.

ГОСТ на отливки из антифрикционного чугуна, предназначенного для работы в узлах трения со смазкой, содержит 10 марок чугуна: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6, АЧВ-1, АЧВ-2, АЧК-1, АЧК-2. В обозначении марки буквы АЧ – антифрикционный чугун, С – серый с пластинчатым графитом, В – высокопрочный с шаровидным графитом, К – ковкий с хлопьевидным (компактным) графитом. Цифровое обозначение – порядковый номер. Марка антифрикционного чугуна определяется структурой, твёрдостью и химическим составом. Микроструктура антифрикционного чугуна контролируется по форме, размеру и количеству графита, количеству и дисперсности перлита, а также характеру и распределению фосфидной эвтектики. Цементит в большинстве марок не допускается. Чугун АЧС-1 перлитный, легированный хромом 0,2-0,4 и медью 0,8-1,6,

АЧС-2 перлитный, легированный хромом 0,2-0,4, никелем 0,2-0,4, титаном 0,03-0,1 и медью 0,3-0,5, АЧС-3 перлито-ферритный, легированный титаном 0,03-0,1 и медью 0,3-0,5, АЧС-4 перлитный, легированный сурьмой 0,04-0,4, АЧС-5 аустенитный, легированный марганцем 7,5-12,5 и алюминием 0,4-0,8, АЧС-6 перлитный пористый, легированный свинцом 0,5-1,0 и фосфором 0,5-1,0, АЧВ-1 перлитный для работы с повышенными скоростями, АЧК-1 перлитный, легированный медью 1,0-1,5, АЧВ-2 и АЧК-2 перлито-ферритный чугун. Требования по микроструктуре, твердости составу по легирующим элементам приведены в таблицах стандарта. В справочном приложении стандарта приведены нормы предельных режимов работы деталей из антифрикционного чугуна.

ГОСТ на чугун легированный для отливок со специальными свойствами распространяется на легированные чугуны с повышенной жаростойкостью,

коррозионностойкостью, износостойкостью и жаропрочностью. Так как многие из них сочетают в себе несколько указанных свойств, чугуны подразделяются на виды и марки по преобладающему легированию и по назначению. По преобладающему легирующему элементу все марки стандарта делят на хромистые, кремнистые, алюминиевые и никелевые низколегированные и высоколегированные, а также высоколегированные марганцевые.

ГОСТ содержит 40 марок, в том числе 13 марок хромистого, 7 марок кремнистого, 5 – алюминиевого, 3 – марганцевого и 12 марок никелевого чугуна. Марка чугуна определяется только химическим составом. Механические свойства, твёрдость структура, а также специальные свойства определяют только по требованию потребителя.

В обозначении марок чугуна буквы означают: Ч – чугун, Х-хром, С-кремний, Г-марганец, Н-никель, Д-медь, М-молибден, Т-титан, Ю-алюминий, буква Ш указывает, что графит в чугуне имеет шаровидную форму. Цифры, стоящие после буквы означают примерную массовую долю основных легирующих элементов.

Все хромистые чугуны, начиная с ЧХ1, ЧХ2 и до ЧХ32 позиционируются как жаростойкие и коррозионностойкие в различных средах при температурах от 500 до 1100оС. Среднелегированные хромистые чугуны, начиная с марок ЧХ3, ЧХ3Т и высоколегированные ЧХ9Н5, ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22 применяются как износостойкие. По структуре высоколегированные чугуны относятся к белым чугунам и имеют в основном мартенсито-карбидную или феррито-карбидную структуру.

Группа кремнистых чугунов содержит 2 марки среднелегированного чугуна ЧС5 и ЧС5Ш с пластинчатым и шаровидным графитом, используются как жаростойкие в топочных газах и воздушной среде при температурах 700-800 °С, и 5 марок высоколегированных, содержащих 13-17 % кремния и дополнительно легированных молибденом, называемых ферросилидом и антихлором. Эти чугуны обладают высокой стойкостью в различных кислотах разной концентрации и растворах щелочей при температуре до 200 °С. Структура чугуна – легированный феррит с небольшим количеством пластинчатого графита.

Алюминиевые низколегированные с шаровидным графитом ЧЮХШ используются как жаростойкие до 700 °С. Чугуны марок ЧЮ7Х2 и ЧЮ6С5 применяются как износостойкие и жаростойкие в воздушной среде до 900 °С, а ЧЮ22Ш и ЧЮ30 как жаростойкие до 1100 °С в воздушной среде, среде печных газов и средах, содержащих серу и пары воды.

Марганцевые чугуны ЧГ6С3Ш и ЧГ7Х4 используются как износостойкие в абразивных пылегазовых средах, а ЧГ8Д3 как немагнитный износостойкий материал.

Группа никелевых чугунов содержит 4 марки низколегированного чугуна ЧНХТ, ЧНХМД, ЧНХМДШ, ЧНМШ, которые используются как коррозионностойкие в газовых средах двигателей внутреннего сгорания; 2 марки среднелегированного чугуна ЧН2Х, ЧН4Х2 и ЧН3ХМДШ и 5 марок высоколегированного Ч11Г7Ш, ЧН15Д3Ш, ЧН15Д7, ЧН19Х3Ш, ЧН20Д2Ш. Чугуны ЧН2Х, ЧН4Х2 известны под названием «нихард» обладают высокой твёрдостью и износостойкостью, широко применяются для размольного оборудования. Структура преимущественно мартенсито-карбидная. Чугуны ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш применяются как коррозионностойкие, маломагнитные, жаропрочные, известны под названием «нирезист». Аустенитный чугун ЧН20Д2Ш жаропрочный, хладостойкий, маломагнитный материал с высокой пластичностью, относительное удлинение более 25 %.

Низколегированные чугуны всех видов, а также высоколегированные марганцовые и никелевые, за исключением марок ЧН2Х, ЧН3Т, ЧГ7Х4, ЧН4Х2 модифицируют 75 % ферросилицием или другими графитизирующими присадками.

Механических свойства по требованию потребителя определяются при испытании на растяжение для графитосодержащих чугунов и на изгиб для белых чугунов. Заготовки и образцы для испытаний приведены в стандарте. В рекомендуемом приложении приведены основные эксплуатационные свойства и область применения легированных чугунов, виды термической обработки отливок, показатели прочности при растяжении жаростойких чугунов при повышенных температурах, длительная прочность и скорость ползучести чугунов с шаровидным графитом, а также химический состав и механические свойства высоконикелевых чугунов 20 зарубежных марок.

Совершенствование упорядочения дефектной структуры сталей и сплавов для повышения надежности конструкций

В.И. Муравьев

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, mim@knastu.ru

Реферат **– Исследована эволюция структуры предварительно закаленных сталей и деформированных титановых сплавов при нагреве до температуры аустенизации и охлаждении и окончательной доводки после штамповки. Проанализировано влияние температурно-временных условий нагрева до температуры аустенизации на структурные изменения пакетно-реечного мартенсита и мартенсита после охлаждения.**

Ключевые слова **- низкоуглеродистая сталь, закалка, пакетно-реечный мартенсит, мартенсит, фазовый наклёп, физико-механические свойства, аустенит, перлит, диффузия.**

I. Введение

В настоящее время и в ближайшем будущем самыми распространенными конструкционными материалами будут являться стали и сплавы как в «чистом» виде, так и в составе ряда композиционных материалов. Кроме того, сплавы отличаются повышенной жаропрочностью, технологичностью изготовления и ремонта и в ряде сфер применения еще длительное время будут оставаться вне конкуренции. В связи с чем одной из первостепенных задач современного материаловедения можно считать разработку технических решений, обеспечивающих повышение надежности сталей и сплавов при сохранении или снижении их массогабаритных показателей, ресурсо-, энерго- и трудоемкости изготовления [1]. Особенность заключается в необходимости учета природных техногенных характеров, а также снижения запасов полезных ископаемых.

Материал в конструкции должен обеспечивать высокую удельную прочность, то есть сопротивление упругой и пластической деформации, высокую надежность, характеризующуюся сопротивлением разрушению при знакопеременных нагрузках. Таким образом, высококачественный конструкционный материал должен быть одновременно прочным, надежным и долговечным.

Достижения в области создания высококачественных материалов иллюстрирует известная зависимость прочности от контрационной плотности дислокаций [1]. Показатели прочности, приближающиеся к теоретическим, можно получить в двух противоположных направлениях: приближаясь к идеальному бездефектному монокристаллическому состоянию (левая ветвь кривой), или повышенная плотность дефектов, наноструктурируя материал.

В основе парадигмы лежит синергетика объемного наноструктурирования гетерофазного материала.

Задача управления механическими свойствами сталей на различных этапах технологического цикла изготовления и эксплуатации конструкции традиционно решается термической и механической обработками. При этом у обоих способов физический механизм управления свойствами сплавов схож и, с позиции дислокационной теории прочности, заключается в обеспечении требуемой подвижности элементов дислокационной структуры. В рассматриваемых способах ограничение подвижности дислокаций достигается за счет повышения их концентрации (силовые поля вокруг дислокаций образуют барьеры для соседних дислокаций), либо за счет измельчения зерен (границы зерен также снижают подвижность дислокаций, в связи с чем увеличение их протяженности снижает подвижность дефектов). При этом предел текучести пропорционален квадратному корню из плотности дефектов и обратно пропорционален квадратному корню из диаметра зерна (уравнение Холла-Петча).

Известно, что роль мезо- и нанодефектов двойственна. С одной стороны, они упрочняют материал, снижая подвижность дислокаций. Но с другой стороны превышение их концентрации критического уровня (10^{12} … 10^{14}) приводит к нарушениям сплошностей в виде субмикроскопических трещин, которые являются концентраторами напряжений и значительно снижают пластичность и вязкость разрушения, что также уменьшает и предел прочности стали.

В этом случае вступают силы Пайерлса-Набарро субмикроскопические трещены как концентраторы напряжений могут вызывать хрупкое разрушение, если радиус в вершине трещины очень мал $K=2\sqrt{l/r}$.

Также важно учесть, что в процессе традиционной термической обработки распределения дефектов на мезоуровне и, в особенности, на наноуровне происходит неравномерно и подчиняется нормальному закону распределения [2]. В связи с чем при создании требуемой средней плотности дислокаций на макроуровне в отдельных локальных мезо- и нанообъемах концентрация дефектов превышает критическую степень, приводя к ухудшению эксплуатационных характеристик конструкции.

В настоящее время имеются технологии интенсивной пластической деформации (ИПД) (равноканальное угловое прессование – РКУП, кручение под

гидростатическим давлением – КГД, экструзия и др.), с помощью которых можно получить массивные металлические субмикрокристаллические (СМК) материалы с размером зерна d = 100 – 500 нм и высокими статическими прочностными характеристиками.

Разрабатываемые технологии твердофазного наноконструирования гетерофазных кристаллических материалов при воздействии интенсивной пластической деформации, сопряженные с предельно допустимым температурно-деформационным воздействием на материал инструментального и триботехнического назначения, значительно повышают ресурс изделий из них [3] – [6].

Закономерности усталостного разрушения нано- и субмикрокристаллических (СМК) сплавов титана и железа показывают, что характеристики сопротивления многоцикловой усталости этих материалов могут быть существенно повышены путем проведения интенсивной деформации (ИПД), что связано с увеличением плотности дислокаций и уменьшения размера зерна.

Однако за счет пластичности СМК материалов при ИПД наблюдается их высокая чувствительность к концентрации напряжений и пониженные характеристики циклической трещиностойкости. Связь между размером зерна и пределом усталости СМК материалов не всегда подчиняется зависимость Холла-Петча [7].

Интересен эффект упрочнения металла, вызываемое образованием не хаотически распределенных дислокаций или внутренних напряжений а ячеистой дислокационной структуры с субгранями, которые обеспечивают, с одной стороны, прочные препятствия для продвижения дислокаций, а с другой стороны – релаксацию внутренних напряжений, способствующую сохранению пластичности упрочненного материала.

Известно, что при превращениях мартенситного типа достигается такое же упрочнение, как и при высоких степенях пластической деформации, но характеристики кристаллической субструктуры при этих воздействиях различаются, что обуславливает повышенную устойчивость кристаллической субструктуры к рекристаллизации по сравнению с интенсивной пластической деформацией [8].

Традиционные технологии закалки создают, значительны напряжения 1-го и 2-го рода, обуславливающие возникновения участков со степенью концентрации дефектов, превышающей критическую, что приводит к резкому ухудшению эксплуатационных свойств готовых изделий. Классические технологии закалки, ориентированны на создание необходимой дефектной структуры на макро- и мезоуровнях, фактически достигли предела своих потенциальных возможностей и требует дальнейшего совершенствования на микро- и наноуравнях.

Исследованиями [9] Зиминым В.В. было установлено, что скоростной индукционный нагрев углеродистых сталей до температур, значительно превышающих температуру полного полиморфного превращения при аустенизации, и гомогенизация независимо от скорости охлаждения приводит к образованию из однородной мелкозернистой или мелкоигольчатой ферритной, перлитной, бейнитной, структур. То есть фактически указанный автор использовал процессы, происходящие в интервале фазового предпревращения при скоростном индукционном нагреве выше критической точки Ac_3 для получения упорядоченного мелкозернистого аустенитного зерна с целью дальнейшего получения требуемой структуры наиболее высокого качества после фазовой перекристаллизации.

Состояние предпревращения в сплавах железа позволяет резко увеличить пластичность (субкритическую сверхпластичность (СПП)), в частности и в низкоуглеродистых сталях [10]. Процессы пластической деформации в интервале предпревращения (СПП) используется при формообразовании деталей из труднодеформируемых, либо неподдающихся деформации металлов и сплавов, а также при диффузионной сварке сталей и сплавов под постоянной нагрузкой [11] – [13]. Сложность проведения деформационного упрочнения в условиях как в интервале предпревращения, так и в аустенитной области, является мало приемлемым методом при термообработке сталей и сплавов.

Технологии интенсивной пластической деформации [7], [14] позволяют в несколько раз повысить прочность сплавов по сравнению с традиционными видами термомеханической обработки, но показатели пластичности и вязкости разрушения при этом значительно снижаются.

В ряде работ [15] – [18] было обнаружено улучшение свойств сталей и сплавов при резком сокращении времени выдержки при температуре, превышающей A_{C3} (в интервале СПП). В работах [19] – [20] приведены результату диспергирования структуры сталей в условиях интенсивного термического воздействия при нагреве исходно закаленной стали в области температурного отпуска, межкритическом интервале температур (МКИ) и однофазной аустенитной области, что требует дополнительного легирования стали с целью снижения коэффициента активности углерода для улучшения свойств.

Влияние фазового наклепа на свойства конструкционных сталей и сплавов [15] – [18] показывают их перспективность и требуют дополнительных исследований.

Цель настоящей работы – исследование влияния фазового наклепа на структурные изменения и свойства при окончательной доводке изделий из сталей и сплавов.

II. Материалы и методы

Для исследования использовали стали 16ХСН, Ст20, 30ХГСА и титановый сплав ВТ20, проволоку диаметром 6 мм из стали 16ХСН с предварительным отжигом на зернистый перлит.

Нагрев образцов из сталей до температуры аустенизации производился в расплаве солей 50%

NaCl+50% KCl со средней скоростью 700 ºС/с. Температура аустенизации превышала температуру точки «A_{C3}» на 50 ºС в связи с зависимостью температуры критических точек от скорости нагрева. Выдержка отсчитывалась с момента загрузки образца в расплав солей с температурой аустенизации $930^{\pm5}$ ºС. Закалка осуществлялась в проточной воде с температурой 4-6 ºС. Нагрев образцов из титанового сплава ВТ20 производился электроконтактным способом со средней скоростью 750 ºС/с.

Химический состав определялся с помощью оптико-эмиссионного спектрометра BRUKERQ4 TASMAN 170. Микрорентгеноспектральный анализ распределения легирующих элементов в структуре образцов производили на сканирующем электронном микроскопе HITACHIVP-SEMS-3400N. Испытание на одноосное растяжения со скоростью 15,5 мкм/с на стандартных образцах по ГОСТ 1497-84 проводили на испытательной машине INSTRON 3382. Определение твердости осуществляли на твердомере ROCKWELLHARDNESSTESTER TH300 по методу Роквелла по ГОСТ 9013-59. Определение микротвердости выполняли на микротвердомере SHIMADZU HMV-2TE по ГОСТ 9450-76 с использованием четырехгранной пирамидки с квадратным основанием, длительностью приложения нагрузки 5с.

Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе PLANARMICRO 2000.

Расчет потенциала Гиббса (E_R) характеризующего внутреннюю энергию материала, выполнялся на основании результатов измерения микротвердости при различных нагрузках и экстраполяции удельной величины энергетических затрат на нулевую нагрузку.

III. Обсуждения

В узком временном отрезке при температуре аустенизации закаленной низколегированной углеродистой стали наблюдается комплекс фазовых превращений: пакетно-реечного мартенсита 16 ХСН, Ст20 и мартенсита 30ХГСА – в перлит; перлита – в аустенит; аустенита – в пакетно-реечный мартенсит 16 ХСН, Ст20 при быстром охлаждении. Каждый вид фазового превращения соответствует строго определенному временному интервалу, фиксируемому при скоростном охлаждении до окружающей температуры. В ранее проведенных исследованиях использовались скорости нагрева стали от 10 ºС/с, 50 ºС/с, 100 ºС/с [10], [14], [19], [20].

В первые доли секунды достаточно высокая скорость нагрева (700 ºС/с) предварительно закаленной стали приводит к повышенной диффузионной подвижности атомов, особенно атомов углерода (температура 400-500 ºС). В этих условиях протекают начальные процессы перераспределения и уменьшения концентрации дефектов фазового наклепа (сверх равновесной) путем аннигиляции и стока к дислокациям и границам субзерен и зерен не сопровождающихся образованием новых границ. Свидетельство тому – резкое снижение внутренней энергии материала (потенциал Гиббса E_r уменьшается практически в 1,5 раза) и ослабление энергии межзеренной и межфазовой связи (модуль Юнга уменьшается Таблица 1). При этом сохраняется структура пакетно-реечного мартенсита или мартенсита без изменения границ зерен и пакетов.

Таблица 1 – Изменение механических свойств предварительно закаленных сталей 16ХСН, Ст20, 30ХГСА в зависимости от времени выдержки при нагреве до температуры аустенизация и охлаждении

Выдержка при нагреве, сек.	№ образца	σ_B, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %
До 1	4	631	389	40	66
	210	708	615	9	
	07	1492	1343	18,3	89
2 – 3	5	1374	771	14	67
	219	1370	916	8	
	03	1242	1190	20	53,6
5	6	1164	570547	16	55
	212	646	946	15	
	05	1049		17,3	56
7	7	687	530	11	62
	216	546	472	18	
	07	989	736	21	59
10	8	1210	790	11	56
	218	1208	647	6	
	06	1012	971	21,4	52
15	9	1485	820	12	60
	220	1430	1262	8	
	06	1239	1190	22	64
20	24	1451	1235	10	
	17	1851	1545	26	40

Продолжение таблицы 1

Выдержка при нагреве, сек.	№ образца	Модуль Юнга $E\times10^2$, МПа	Энергия Гибса $Er\times10^{13}$, Па	Hv
До 1	4	1750	878	452
	210	1890	1064	299
	07	1691	1020	
2 – 3	5	3050	1277	470
	219	2219		
	03	2546	1550	
5	6	2596	1023	373
	212	2016	881	270
	05	2419	978	
7	7	1510	867	307
	216	1737		
	07	1780	880	
10	8	2860	1282	481
	218	2076		
	06	2502	1330	
15	9	3520	1510	508
	220	2505	1531	503
	06	2516	1520	
20	24	3281		
	17	2516	1680	

В дальнейшем фазовое превращение пакетно-реечного мартенсита или мартенсита сопровождается процессом полигонизации [21], [22]. Увеличение выдержки до 2-х – 3-х секунд приводит к еще большей диффузионной подвижности атомов (температура

аустенизации 930 ºС) идет интенсивный процесс образования и движение молоугловых дислокационных субграниц. В структуре, сформировавшейся в результате полигонизации наблюдается значительное уменьшение протяженности мартенситных реек и образование новых малоугловых границ. Упорядочивание структурных неоднородности и исключением неравновесной концентрации дефектов фазового наклепа и последующий процесс полигонизации структуры пакетно-реечного мартенсита или мартенсита приводит к максимальным значениям прочности и пластичности низкоугродистых сталей (таблица 1).

Выдержка более 3-х секунд сопровождается процессом рекристаллизации – превращения пакетно-реечного мартенсита в ферритно-перлитную структуру, которая заканчивается при выдержки 7-8 секунд. О чем свидетельствует значительное уменьшение внутренней энергии материала при образовании зернистого перлита из упорядоченного пакетно-реечного мартенсита или мартенсита. При этом механические свойства низкоуглеродистой стали соответствуют отожженному состоянию, но с увеличением пластичности.

С этого момента начинается процесс превращения перлита в аустенит, который заканчивается при выдержке 10 – 20 секунд и при охлаждении в воде превращается в пакетно-реечный мартенсит и остаточный аустенит. Структура пакетно-реечного мартенсита или мартенсита более мелкозернистая по сравнению с исходной закалкой, прочность значительно выше.

Исследованиями [15] электроконтактного нагрева заготовок из сплава ВТ20 было установлено, что из-за теплового расширения металла при электроконтактном нагреве заготовка, закрепленная в зажимах, начинает упруго выгибаться. Величина прогиба заготовок увеличивается пропорционально росту ее температуры.

При достижении заготовок температуры 970 ºС наступает остановка роста прогиба, а затем происходит его резкое изменение, т.е. свободное провисание заготовки под собственным весом. Такой критической температурой для заготовки оказалась температура полиморфного предпревращения α→β. В момент свободного провисания заготовки подвергались охлаждению в штампе, что привело к существованию увеличению прочности и пластичности.

Результаты исследований влияния температуры окончательной штамповки на свойства титановых заготовок показали, что наилучшие механические свойства наблюдаются у заготовок, подвергающихся окончательной штамповке в температурной области существования α-фазы, близкой к температуре α→β – предпревращения.

Выводы

1 Исследование упорядочивания диссипативных упрочняющих нанофаз и их наноструктурирование и стабилизация на этапах производства и эксплуатации показывают возможность получения качественно нового состояния: повышенной удельной прочности и трещиностойкости традиционно используемых сталей и сплавов. Подавление за счет стабилизирующей термической обработки релаксационных процессов микроразрушения в определенных критических состояниях позволяет одновременно повысить прочность, жесткость и трещиностойкость.

2 Обратное превращение пакетно-реечного миртенсита или мартенсита в условиях фазового наклепа и повышенной диффузионной подвижности атомов углерода, в первоначальный момент (выдержка доли секуны, температура 400-450 ºС) приводит к резкому, более чем в два раза уменьшению прочности и повышению пластичности более чем на 40 %, при этом структура пакетно-реечного мартенсита или мартенсита сохраняется неизменной, внутренняя энергия уменьшается в 1,5 раза, наблюдается ослабление энергии межзеренной и межфазовой связи, модуль Юнга уменьшается более чем на 50 %, что свидетельствует о процессах перераспределения и уменьшения концентрации дефектов фазового наклепа сверх равновестной. Наблюдается эффект повышенной пластичности при обратном мартенситном превращении.

3 В дальнейшем при температуре аустенизации (выдержке 2 – 3 секунды), наступает равновестное состояние и полигонизация пакетно-реечного мартенсита или мартенсита, прочность достигает исходного состояния, а пластичность увеличивается, наблюдается эффект повышения пластичности при сохранении прочности.

4 Электроконтактный нагрев заготовок из сплава ВТ20 до температуры полиморфного предпревращения и охлаждение в металлическом штампе по сравнению с традиционными методами штамповки привело к повышению временного сопротивления разрыву (σ_B) – на 13 %; предела текучести ($\sigma_{0,2}$) – на 13%; относительного удлинения (δ) – на 45 %; угла загиба (α) – на 15 %; сопротивление малоцикловой усталости (МЦУ) – на 15 %. Существенно снижается и содержание газовых примесей (H_2, O_2, N_2).

5 Временное сопротивление разрыву у штамповок повысилось на 8 – 10 %, а характеристики пластичности в 1,5 – 2 раза по сравнению со штамповками, деформированными в области существования β-фазы. Кроме того, у штамповок, деформированных в области α-фазы, наблюдается стабильность, небольшой разброс и меньшая зависимость механических свойств от направления испытания.

Полученные результаты требуют дальнейших исследований по использованию выявленных эффектов повышенной пластичности и прочности для повышения надежности конструкций из низколегированных сталей и титановых сплавов.

Благодарности

Работа выполнялась коллективом научной школы Муравьева В.И. в соответствии с планом работ в рамках Федеральной целевой программы стратегического развития государственных образовательных учреждений высшего профессионального образования 2012-2014 (Министерство образования и науки РФ, 2011-ПР-054), и в соответствии с темами НИР ФГБОУ ВПО

«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет».

Литература

[1] Чеховой А.Н. Классификация наноматериалов и нанотехнологии для машиностроения и метрология наностроения // Конструкции из композиционных материалов, 2005. №4. с. 8-17.
[2] Муравьев В.И., Фролов А.В., Злыгостев А.М. и др. Изотермическая закалка как инструмент наноформирования дефектной структуры стали Р18 для улучшения эксплуатационных характеристик режущего инструмента // Металлообработка. 2009. №2. с. 50-57.
[3] Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 1999.
[4] Лякишев Н.П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов // Вестник РАН, 2003. Т. 73. № 5.
[5] Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Nanostr. Mat. 1995. V. 6. №1-4.
[6] Blank D. New carbon materials on the base of fullerens, nanotubes and ultra-fine diamonds. International school «Problems and achievments of physical and engineering science of nanomaterials», 7 session – Moscow, 2002.
[7] Терентьев В.Ф. Сопротивление усталости сплавов титана и железа с субмикрокристаллической и наноструктурой. Обзор // Металловедение и термическая обработка металлов, 2007. №10. с. 21-27
[8] Лариков Л.Н. Залечивание дефектов в металлах. – киев: Наук. Думка, 1980, –280 с.
[9] Зимин Н.В. О влиянии температуры, скорости нагрева и исходного состояния структуры углеродистых сталей на процессы образования в них аустенита // Металлообработка. 2006. №1. с. 41-47.
[10] Гуляев А.П. Состояние предпревращения в сплавах железа // Металловедение и термическая обработка металлов, 1991. №6. с. 7-10.
[11] Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 208 с.
[12] Муравьев В.И., Бахматов П.В., Саблин П.А. Активация процессов формирования соединений из металлов и сплавов. Владивосток.: Дальнаука, 2012. 366 с.
[13] Золоторевский Н.Ю. Зисман А.А. Поннурин С.Н., Титовец Ю.Ф., Голосиенхо С.А., Хлусова Е.И. Влияние размера зерна и деформационной субструктуры аустенита на кристоллогеометрческие особенности бейнита и мартенсита низкоуглеродистых сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. №10. с. 39-48.
[14] Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. Пер. с англ. М.: Металлургия. 1982. 184 с.
[15] Муравьев В.И., Марьин Б.Н., Мельничук А.Ф., Макаров К.А., Сотников В.С., Петрова М. Влияние режимов высокотемпературной листовой штамповки на физико-механические свойства деталей из сталей вТ20 // Авиационная промышленность, 1993. №2. с. 31-34.
[16] Муравьев В.И., Бахматов П.В. Долотов Б. И. Обеспечение надежности конструкций из титановых сплавов. М.: Эком. 2009. 752 с.
[17] Муравьев В.И., Фролов А.В., Кириков А.В., Мартынюк А.М. Использование эффктов аустенизации предпревращения и превращения при термической обработке конструкционных сталей // Вопросы материаловедения. 2012. №3. с. 7-14
[18] 10. Муравьёв В.И., Фролов А.В. Управление дефектной структурой сплавов на границе фазовых превращений с использованием метода акустической эмиссии. Комсомольск-на-Амуре, ФГБОУ ВПО «КнАГТУ». 2013. 219 с.
[19] Заяц Л.Ц., Панов Д.О., Симонов Ю.Н. Диспергирование структуры сталей в условиях интенсивного термического воздействия. Часть 1. Выбор оптимальной системы лнгирования// МиТОМ. 2010. №11 С 13-19.
[20] Заяц Л.Ц., Панов Д.О., Симонов Ю.Н. Диспергирование структуры сталей в условиях интенсивного термического воздействия. Часть 2. Исследования влияния системы легирования на эволюцию структуры при аустенизации// МиТОМ. 2010. №11 С 20-25.
[21] Малюков С.Т., Скаков Ю.А., Штремель М.А. Научно исторический обзор // Научные школы МСИиС 75 лет становления и развития под редакцией Ю.С. Карабасова. М. МИСиС. 1997. 628 с.
[22] Горелик С.С. Рекристаллизация и предрекристаллизационные процессы в неорганических материалах и их классификация. // Научные школы МСИиС 75 лет становления и развития под редакцией Ю.С. Карабасова. М. МИСиС. 1997. 628

Наноматериалы и нанотехнологии

А.А. Охлопкова

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, РОССИЯ, 677000, Okhlopkova@yandex.ru

Реферат **- Изложены основные понятия, классификация наноматериалов, краткая история, инструменты и методы нанотехнологий, области применения, современные тенденции развития наноматериаловедения.**

Ключевые слова **– наноматериалы, нанотехнологии, нанохимия, полимерные нанокомпозиты, наномедицина**

I. Введение

Важнейшими параметрами наносистем являются размер, размерность, упорядочение и функциональность. Учет всех этих характеристик порождает нано- и микроструктурированные материалы, обладающими наивысшим, как говорят, инновационным потенциалом и действительно способными определить весь дальнейший прогресс в нанотехнологии. Начнем с избитых истин. *Нанометр* (сокращенно нм) – это одна миллиардная часть метра. Приставка «*нано*» пришла к нам из древней Греции, в переводе на русский язык она означает «гном» или «карлик» (ηαηοσ). В латыни «нано» имеет значение «маленький», «крошечный». И действительно, один нанометр - это очень маленькая величина, увидеть невооруженным глазом объекты такого размера невозможно. Для сравнения заметим, что волосы человека растут со скоростью 10 нм в секунду (а мы этого не замечаем!), а толщина одного волоска составляет огромную величину - почти 100 тысяч нанометров или 100 микрон. Наноразмерный масштаб используют для характеристики самых маленьких объектов, например, атомов и молекул. Размер атома кремния составляет 0.24 нм, а молекулы «фуллерена» С60 (“футбольного мяча”, состоящего из шестидесяти атомов углерода) – 0.75 нм. К представителям наномира также можно отнести кластеры, способные содержать до нескольких сотен атомов, и различного рода

«наноструктуры», размер которых хотя бы в одном из измерений не превышает нескольких десятков нанометров. Мир наноструктур чрезвычайно интересен, ведь они имеют физические свойства, которые отличаются от свойств объемных материалов. Нанометры являются привычными единицами для описания длины волн света. Например, видимый свет имеет длины волн в диапазоне от 400 до 700 нм. В нанометрах измеряют также размеры микроорганизмов, клеток и их частей, биомолекул. Вот лишь некоторые примеры:

Однако «нано» - лишь короткий, хотя и страшно важный, отрезок измерения, его принципиальная важность заключается в том, что на этом кусочке пространственной шкалы реализуются интереснейшие, практически важные химические и физические взаимодействия. В действительности любые объекты и материалы можно и нужно изучать на разных пространственных масштабах, особенности структуры и свойств материалов на которых (структурная иерархия) лишь в неразрывной совокупности предопределяют его конечные свойства, важные для фундаментальных исследований и, конечно, практики. Кроме макроуровня (объект в целом) и атомарного уровня (определяющие, фундаментальные характеристики вещества), обычно выделяют масштабный уровень "микро" (характерный размер - микроны, то есть тысячные доли миллиметра), который задает так называемые "структурно-чувствительные" свойства материала, зависящие, например, от размера зерен керамики. Большую роль часто играет и субмикронный масштаб.

Что касается "нано", IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) установил, что если хотя бы по одному измерению размер объекта меньше 100 нм (0,1 мкм), то мы говорим о *наносистеме* - это и есть уровень наномасштабов. Логичнее было бы определить, что "настоящее нано" начинается с момента появления наноэффектов - изменений физических свойств веществ, связанных с переходом к этим масштабам. Таким образом, в конечном счете, для создания наноматериалов оказывается важным не только их состав (определяющий основные свойства), размер ("модифицирующий" свойства), но и "размерность" (делающая частицы неоднородными) и упорядочение в системе (усиление, "интеграция" свойств в ансамбле нанообъектов). Это характерно для нанотехнологий - новое качество, как правило, получается только при правильно организованной структуре на более крупных масштабах, чем нано.

Рис.1. Наноструктурированные материалы

II. Основные понятия

Итак, дадим определения «нанотерминов» наиболее часто используемых нанотехнологическим сообществом:

- **Наночастица** - аморфная или полукристаллическая структура, имеющая хотя бы один характерный размер в диапазоне 1-100 нм.
- **Нанотехнологии** - совокупность методов и приемов, применяемых при изучении, проектировании, производстве и использовании структур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификацию формы, размера, интеграции и взаимодействия составляющих их наномасштабных элементов (1-100 нм) для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами.
- **Наноиндустрия** - интегрированный комплекс производственных, научных, образовательных и финансовых организаций различных форм собственности, осуществляющих целенаправленную деятельность по созданию интеллектуальной и промышленной конкурентоспособной продукции, относящейся к сфере нанотехнологий.
- **Наноматериалы** - разновидность продукции наноиндустрии в виде материалов, содержащих структурные элементы с нанометровыми размерами, наличие которых обеспечивает существенное улучшение или появление качественно новых механических, химических, физических, биологических и других свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов.
- **Нанокластер** - разновидность наночастиц, представляющая собой аморфную или поликристаллическую наноструктуру, хотя бы один характерный размер которой находится в пределах 1-10 нм.
- **Нанопорошок** - агломерат некристаллических наноструктурных единиц, хотя бы один характерный размер которых менее 100 нм.
- **Нановолокно** - волокно, имеющее диаметр менее 100 нм. Обычно такие волокна получаются методом интерфейсной полимеризации.
- **Наносенсор** - физический, химический или биологический сенсор, транслирующий информацию о наночастицах в виде, доступном для восприятия макроскопическими объектами, в частности, органами чувств человека.

III. Из истории нанотехнологий

Историю нанотехнологий создать крайне сложно по двум причинам - во-первых, "размытости" самого этого понятия. Например, нанотехнологии часто не являются "технологиями" в привычном смысле этого слова. Во-вторых, человечество всегда пыталось экспериментировать с нанотехнологиями, даже и не подозревая об этом. У современной нанотехнологии достаточно глубокий исторический след. Археологические находки свидетельствуют о существовании коллоидных рецептур еще в античном мире например, "китайские чернила" в Древнем Египте. Знаменитая Дамасская сталь, изготавливалась благодаря

наличию в ней нанотрубок. Отцом идеи нанотехнологии условно можно считать греческого философа Демокрита приблизительно в 400 г.д.н. эры он впервые использовал слово "атом", что в переводе с греческого означает "нераскалываемый", для описания самой малой частицы вещества. 1905 год. Швейцарский физик Альберт Эйнштейн опубликовал работу, в которой доказывал, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нанометр. 1928 год. Г.А. Гамов сотрудник Ленинградского технологического института, исследуя строение атомного ядра и явление радиоактивности, разработал основы теории туннельного переноса заряда. 1931 год. Немецкие физики Макс Кнолл и Эрнст Руска создали электронный микроскоп, который впервые позволил исследовать нанообъекты.
1932 год. Нильс Бор в своем Институте теоретической физики в Копенгагене прочитал перед своими учениками, в том числе будущими лауреатами Нобелевской премии по физике Львом Ландау и Вернером Гейзенбергом, лекцию "Свет и жизнь". В этой лекции Бор говорит, что в конечном счете исследования покажут, что жизнь сводится к "элементарным актам" квантовой физики.

1934 год. Первым обратил внимание на возможность разработки квантовой логики венгерский математик И. фон Нейман в статье "Логика квантовой механики", где излагается логическое исчисление со значениями истинности, непрерывно распределёнными от нуля до единицы.

1934 год. Американский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии Юджин Вигнер теоретически обосновал возможность создания ультрадисперсного металла с достаточно малым числом электронов проводимости.

1943 год. Вышла работа нейропсихолога Уоррена Маккалока (J. McCulloch) и математика Уолтера Питтса (W. Pitts) "Логическое исчисление идей, относящееся к нервной деятельности". В ней сформулированы основные принципы построения искусственных нейронов и нейронных сетей.

1951 год. Джон фон Нейман выделил принципы самокопирующихся машин, ученые в целом подтверждали их возможность.

В 1953 году Ватсон и Крик описали структуру ДНК, которая показала, как живые объекты передают инструкции, которые руководят их постройкой.

В 1958 году Френк Розенблатт разработал модель перцептрона (от perception - восприятие). Его обучение требовало около получаса машинного времени на одной из самых мощных в то время ЭВМ IBM-704. Первое упоминание о методах, которые впоследствии назовут нанотехнологией, сделал Ричард Фейнман в 1959 году в своей знаменитой речи "Там внизу полно места" ("There's Plenty of Room at the Bottom"). Он предположил, что возможно перемещать атомы отдельно, механически, при помощи манипулятора соответствующих размеров.
Этот манипулятор он предложил делать следующим способом. Необходимо построить механизм, создававший бы свою копию, только на порядок меньшую. Созданный меньший механизм должен опять создать свою копию, опять на порядок меньшую и так до тех пор, пока размеры механизма не будут соизмеримы с размерами порядка одного атома. При этом необходимо будет делать изменения в устройстве этого механизма, так как силы гравитации, действующие в макромире будут оказывать все меньшее влияние, а силы межмолекулярных взаимодействий и Ван-дер-Ваальсовы силы будут все больше влиять на работу механизма.

Последний этап - полученный механизм соберёт свою копию из отдельных атомов. Принципиально число таких копий неограниченно, можно будет за короткое время создать любое число таких машин. Эти машины смогут таким же способом, поатомной сборкой собирать макровещи. Это позволит сделать вещи на порядок дешевле - таким роботам (нанороботам) нужно будет дать только необходимое количество молекул и энергию, и написать программу для сборки необходимых предметов. До сих пор никто не смог опровергнуть эту возможность, но и никому пока не удалось создать такие механизмы.

1986 год. Ричард П. Фейнман (Richard P. Feynman) из Калифорнийского технологического института увлек научную общественность идеей точного моделирования явлений квантовой физики на компьютере принципиально нового типа, который был назван квантовым.

1986 год. Появился сканирующий атомно - силовой микроскоп (Atomic Force Microscope, AFM). В отличие от СТМ атомно - силовой микроскоп основан на контакте поверхности с подвижным зондом или балкой (кантилевером) и измерении отклонения зонда. Развитие техники СТМ и AFM привело к появлению большого ассортимента зондовых микроскопов - инструментов, ставших в наше время арсеналом нанотехники.

1986 год. Нанотехнология стала известна широкой публике. Американский футуролог Эрик Дрекслер опубликовал книгу "Машины созидания: пришествие эры нанотехнологии", в которой предсказывал, что нанотехнология в скором времени начнет активно развиваться. 2000 год. Администрация США поддержала создание Национальной Инициативы в Области Нанотехнологии National Nanotechnology Initiative. Нанотехнологические исследования получили государственное финансирование. Тогда из федерального бюджета было выделено $500 млн. В 2002 сумма ассигнований была увеличена до $604 млн. На 2003 год "Инициатива" запрашивает $710 млн.
2000 год. Присудение Ж. И. Алферову Нобелевской премии за работы в области полупроводниковых гетероструктур.

Таким образом, сформировавшись исторически, к настоящему моменту, нанотехнология, завоевав теоретическую область общественного сознания продолжает проникновение в его обыденный пласт. В последние годы резко увеличивается число открытий в области нанотехнологий и возможность использования продуктов нанотехнологий в обычной жизни растет ежедневно.

Свойства наносистем настолько отличаются от свойств макроскопических количеств тех же веществ, что их изучает особое научное направление под названием физикохимия наносистем или нанохимия [2].

Нанохимия - область науки, связанная с получением и изучением физико-химических свойств наноматериалов.

Согласно толковому словарю русского языка материалы – это предметы, вещества, сырье, идущие на изготовление чего-либо, т.е. на производство изделий, полезных человеку. Соответственно, **наноматериалами** можно назвать практически любые объекты, вещества или их композиции, размеры структурных элементов которых лежат в «нанодиапазоне» (от 1 до 100 нм). Таким образом, наноматериалы – собирательный термин, объединяющий обширные классы веществ, применимых для изготовления полезных человеку изделий.

Согласно рекомендации 7-й Международной конференции по нанотехнологии (Висбаден, 2004г.), выделяют следующие типы наноматериалов:

-*нанопористые структуры* (терморасширенный графит, наноструктурированный углерод, цианиты);

-*наночастицы* (частицы диаметром от 2 до 100 нм, состоящие из 102-106 атомов);

-*нанотрубки, нановолокна* (цилиндрические образования углеродных атомов диаметром от 0,5 до 10 нм и длиной несколько мкм);

-*нанодисперсии* (коллоиды, взвесь частиц размером от 1 до 1000 нм в органических или неорганических жидкостях);

-*наноструктурированные поверхности и пленки* (плоские наноструктуры толщиной в один или несколько атомов);

-*нанокристаллы и нанокластеры* (частицы упорядоченной структуры размером от 1 до 5 нм, содержащие до 1000 атомов).

В соответствии с терминологией наноматериалы можно разделить на четыре основные категории (рис. 2).

Рис. 2. Классификация наноматериалов.

В США с 2000 года одобрена и действует программа развития нанотехнологических исследований - Национальная Нанотехнологическая Инициатива. В течение 2001-2005 г.г. расходы на эту программу только со стороны государства превысили 4 млрд. долларов, а число ученых превысило 100 000 человек, причём частные инвестиции в нанотехнологии примерно в 10 раз превысили правительственные. В Японии с 1999 года действует японская «Национальная программа работ по нанотехнологии» В Китае пятилетний план 2001 - 2005 включал выделение 300 млн. долларов, позволив выйти на мировой уровень разработок. В Европейском Союзе (ЕС) программа развития нанотехнологий включает множество проектов, направленных на установление лидирующих позиций на ряде критических направлений, начиная с разработки микроантенн и микроустройств, и заканчивая разработкой микророботов, способных восстанавливать больные человеческие органы. В 2007 год на тематическое направление “Нанонауки, наноматериалы и новые технологии” в ЕС планируется выделить три с половиной миллиарда евро. На развитие нанотехнологий в России до 2015 г. планируется направить 200 млрд рублей бюджетных средств.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Государственному заданию № 11.512.2014/К.

Литература

[1] Alexandre M.,Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials // Materials Science & Engineering Reports. - 2000. - R28 (1-2). – P. 1 - 63.
[2] Ray S.S.,Okamoto M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing // Progress in Polymer Science. - 2003. - V.28. – P. 1539 - 1641.
[3] Власов С.В., Калинчев Э.Л., Кандырин Л.Б. и др. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов / – М.: Химия, 1995. – 528 с.
[4] Слепцова С.А., Афанасьева Е.С., Григорьева В.П. Структура и триботехнические свойства политетрафторэтилена, модифицированного слоистыми силикатами //Трение и износ 2009.- Т.30, №6.- С. 587-593.
[5] Охлопкова А.А., Попов С.Н., Слепцова С.А., Петрова П.Н., Аввакумов Е.Г. Полимерные нанокомпозиты триботехнического назначения // Журнал структурной химии.- 2004. №45. С. 172-177.
[6] Воронцов А.С., Лиопо В.А., Авдейчик С.В., Козелло А.В. Процессы агрегации дисперсных частиц модификаторов полимерных матриц // Горная механика и машиностроение. – 2011. №4. С. 81-85.
[7] Белая книга по нанотехнологиям: Исследование в области наночастиц, наноструктур и нанокомпозитов в Российской Федерации (по материалам I Всеросс. Совещания ученых, инженеров и производителей в области нанотехнологий). – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 344с.
[8] Охлопкова А.А. Полимерные нанокомпозиты триботехнического назначения // Журнал структурной химии. – 2004. – Т.45.- С.172-177.
[9] Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000, 672с.
[10] Dong J.H., Hu Z.S. A study of the anti-wear and friction reducing properties of the lubricant additive, nanometer zinc borate. // Tribol. Intern. – 1998. - v. 31, no. 5. P. 203-213.
[11] Кац Г. С., Милевски Д. В. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Справочное пособие. – М.: изд. Химия, 1981. – 736 с.
[12] Нажарова Л.Н. Солянокислая переработка серпентинита: Дис. канд. техн. наук. - Казань, 1999. -152 с.
[13] В.А. Герасин, Т.А. Зубова и др. Структура нанокомпозитов полимер /Na+ - монтмориллонит, полученных смешением в расплаве // Российские нанотехнологии.- 2007.- Т.2, №1-2 – С. 90-105.
[14] Охлопкова А.А. Физико-химические принципы создания триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и ультрадисперсных керамик: дис. … д. техн. наук. – Гомель, 2000.
[15] Игнатьева Л.Н., Бузник В.М. ИК-спектроскопические исследования политетрафторэтилена и его модифицированных форм // Российский химический журнал. – 2008. - Т.LII, №3. - С.139-146.
[16] Игнатьева Л.Н., Цветников А.К., Лившиц А.Н., Салдин В.И., Бузник В.М. Спектроскопическое исследование модифицированного политетрафторэтилена // Журнал структурной химии. - 2002. - Т.43, №1. - С.69-73.
[17] Игнатьева Л.Н., Цветников А.К., Лившиц А.Н., Салдин В.И., Бузник В.М. Спектроскопическое исследование модифицированного политетрафторэтилена // Журнал структурной химии. – 2002. - Т.43, №1. - С.69-73.
[18] Stolarski T., Olszewski O. // Wear. – 1976. – 39. – P.377-387.
[19] Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР спектроскопии в органической химии. - Учеб. пособие для вузов. - М., «Высшая школа», 1971. - 264 с.
[20] Белый В.А., Егоренков Н.И., Плескачевский Ю.М. Термо- и трибоокислительные процессы. – М.: Химия. 1987. – 342 с.
[21] Бревнов П.Н. Нанокомпозиционные материалы на основе полиэтилена и монтмориллонита: синтез, структура, свойства: Автореф. дис. … канд. хим. наук. – М., 2008. – 26 с.

Перспективные направления развития космонавтики на Дальнем Востоке

В.П. Соколов

Национальный исследовательский университет «МЭИ», РОССИЯ, 111250, universe@mpei.ru

Реферат **- Рассматриваются перспективные направления космической деятельности, ориентированные на ее развитие в восточном регионе страны, анализируется состав и функциональное назначение технологического оборудования универсального стартового комплекса семейства ракет-носителей «Ангара» космодрома «Восточный», прогнозируется состав и квалификация специалистов технических расчетов.**

I. Введение

Основными факторами, определяющими в настоящее время развитие исследований и разработок в российской ракетно-космической промышленности, являются:

- реструктуризация отраслей промышленности;
- изменение форм собственности в промышленности;
- политические изменения и экономические санкции, а также связанные с ними риски выполнения инвестиционных и международных проектов.

Для развития российской ракетно-космической промышленности в современных условиях недостаточно емкости только национального рынка. Возможный в этих условиях путь развития связан с выходом на мировой рынок, где необходимо конкурировать с ведущими мировыми производителями. Преодолению существующих барьеров при выходе российских производителей на мировой рынок мешает отсутствие у них таких рыночных преимуществ как конкурентоспособная продукция, надежность поставок, благоприятные ценовые и финансовые условия поставки, унификация в рамках семейств ракетно-космической техники, высокая эксплуатационная надежность. Удержанию российскими компаниями высоких позиций на мировом рынке также препятствуют: значительное технологическое отставание; отсутствие современных сертифицированных систем управления и контроля качества; несоответствие структуры отрасли современной мировой практике; наличие устаревших и неэффективных производств; отсутствие важнейших ключевых компетенций в управлении проектами, глобальными цепочками поставок и системной интеграции, а также нехватка квалифицированных кадров.

II. Основные направления развития космической деятельности

Особое внимание необходимо уделять развитию сфер космической деятельности, в которых у России имеются неоспоримые конкурентные преимущества, а это, прежде всего: предоставление услуг по выведению на орбиту полезных нагрузок, ракетное двигателестроение и пилотируемая космонавтика. Стратегическими факторами определяющими космическую деятельность России являются:

- необходимость гарантированного доступа России в космос со своей территории в интересах обеспечения национальной безопасности, развития социально-экономической сферы и науки;
- создание информационных полей, обеспечивающих на всей территории страны непрерывную связь, телерадиовещание, навигацию, оперативное получение данных наблюдения Земли и атмосферы из космоса;
- получение научных данных о космосе, Земле и других небесных телах для развития фундаментальной науки, достижения и поддержания лидирующих позиций в исследовании Луны, Марса, других тел Солнечной системы, а также выявления опасных для земной цивилизации угроз из космоса и подготовки мер по их парированию;
- наращивание и использование конкурентных возможностей и преимуществ России в сфере космической деятельности, выход России в число ведущих участников мирового рынка космических услуг;
- становление и развитие коммерческого сектора отечественной космической деятельности.

К 2025 году планируется расширение присутствия России на мировом космическом рынке:

- удержание лидирующих позиций на новых и традиционных рынках космических услуг (коммерческие пуски до 30 %);
- расширение присутствия на рынке производства коммерческих космических аппаратов, расширение продвижения на внешние рынки отдельных компонентов ракетно-космической техники и соответствующих технологий, выход на высокотехнологические секторы мирового рынка;
- модернизация и создание системы российского сегмента международной космической станции.

III. Направления развития космонавтики на Дальнем Востоке

Основные цели и задачи развития космонавтики на Дальнем Востоке вызваны и обоснованы обеспечением гарантированного доступа России в космос со своей территории в интересах обеспечения национальной безопасности, развития социально-экономической сферы и науки. Эти задачи могут быть решены своевременным вводом в эксплуатацию космодрома «Восточный».

Космодромы предназначены для приема от изготовителей элементов ракетно-космической техники, технического обслуживания и предстартовой подготовки средств выведения и космических аппаратов и обеспечения их запуска. В составе космодрома функционируют: технические и стартовые комплексы, заправочно-нейтрализационные станции, командно-измерительные комплексы, хранилища различного назначения. Для обеспечения запусков определяются районы падения отделяющихся частей. Для обеспечения процессов функционирования космодромов необходимы многочисленные вспомогательные объекты: заводы по производству компонентов ракетных топлив и окислителей, железнодорожные, автомобильные и другие транспортные коммуникации, аэродромы и различные объекты жилого и социально-бытового назначения.

Выбор места расположения космодромов выполняется с учетом многочисленных факторов, к которым относятся: набор рациональных трасс запусков и активных участков траекторий полетов ракет-носителей, районы падения отделяющихся частей, наличие транспортных коммуникаций, благоприятные сейсмические и климатические условия.

Для запусков ракет-носителей «Союз» в настоящее время используются космодромы «Плесецк», «Байконур» и «Куру». В ближайшем будущем этот список пополнит космодром «Восточный», который должен также обеспечить пилотируемые пуски и запуск ракет-носителей различного класса семейства «Ангара». Космодром «Восточный» создается на месте космодрома «Свободный», образованного еще в 1993 году в Свободненском районе Амурской области Хабаровского края для обеспечения действий ракетной дивизии РВСН.

Развитие отечественной инфраструктуры космодромов позволит: обеспечить независимость гарантированного решения задач обеспечения национальной безопасности, а также поддержания орбитальных группировок космических комплексов и систем научного и народнохозяйственного назначения; обеспечить перевод запусков на заданные орбиты космических аппаратов военного назначения с российской территории; повысить энергетические возможности ракет-носителей и расширить диапазон достижимых орбит по высотам и наклонениям; развивать научно-технологический и производственный потенциал космической отрасли при модернизации существующих и создании перспективных универсальных наземных комплексов для современных космических систем; сократить номенклатуру эксплуатируемых космических ракетных комплексов и повысить их эксплуатационную и экологическую безопасность.

Основными функциональными частями космодромов являются стартовые комплексы, предназначенные для выполнения предстартовой подготовки средств выведения и космических объектов и проведения их запусков. Они характеризуются следующими особенностями: классами ракет-носителей (легкий, средний, тяжелый, сверхтяжелый); способами сборки и транспортировки (горизонтальная, вертикальная); возможностями перемещения в пространстве (стационарный, мобильный); местами расположения (материковый, водный, воздушный); степенью универсальности (специализированный для определенной ракеты или унифицированный для

семейства ракет). Выбор вариантов стартовых комплексов зависит от целевых задач и технических решений, принимаемых при их создании.

Все выше перечисленные характеристики оказывают существенное влияние на состав и квалификацию специалистов, обеспечивающих функционирование космодромов.

IV. Прогнозирование кадрового обеспечения для универсального стартового комплекса

В результате анализа состава и последовательности выполнения технологических операций, а также применяемого для их выполнения технологического оборудования универсального стартового комплекса прогнозировалась потребность по составу и квалификации технического персонала универсального стартового комплекса с учетом опыта эксплуатации аналогичного стартового комплекса ракет-носителей тяжелого класса [1]. Состав технологического оборудования стартового комплекса обусловлен выполняемыми технологическими функциями.

К основному технологическому оборудованию, определяющему рабочие места технических расчетов универсального стартового комплекса, относятся:

Транспортно-установочное оборудование, в состав которого входит транспортно-установочный агрегат, а также локомотив (тепловоз или электроаккумуляторный тягач). Оно предназначено для доставки ракеты космического назначения на стартовый комплекс и установки ее на опоры пускового устройства и обеспечивает доставку, устойчивость положения, соблюдение ограничений по скорости передвижения, перегрузкам, поддержание заданного температурно-влажностного режима, а также выполнение стыковки транспорта с наземным оборудованием стартового комплекса.

Пусковое оборудование включает пусковую установку, газовый отражатель и специальные сооружения, в которых размещены агрегаты и системы, и предназначено для приема и размещения ракет-носителей, обеспечения ветровой устойчивости, вертикализации и азимутального наведения, удержания ракеты на пусковой установке до выхода двигателей первой ступени на номинальный режим при ее пуске и газоотвода продуктов сгорания.

Стартовое оборудование обеспечивает доступ к космическим аппаратам, разгонным блокам и ракетам-носителям, подвод и стыковку магистралей заправки и термостатирования. С его помощью осуществляется доставка персонала стартовых расчетов к верхним отсекам ракет космического назначения, доставка и посадка экипажей в пилотируемые космические аппараты и их эвакуация при аварийных ситуациях. В состав стартового оборудования входит агрегат (башня, ферма) обслуживания, кабель-мачты, заправочно-дренажные мачты, подвижные средства обслуживания (например, автовышки), агрегаты посадки и экстренной эвакуации экипажей.

Оборудование для стыковки и отстыковки коммуникаций включает в себя автостыки-манипуляторы, совмещающие оси стыкуемых разъемов, обеспечивающие их сближение и создание потребного усилия по стыку с последующем удержанием состыкованных элементов до окончания технологических операций, а также механизмы и узлы, стыкующиеся вручную. В его состав входят также системы и механизмы, обеспечивающие заданную кинематику для безопасного отвода расстыкованных узлов и безударного движения агрегатов оборудования и ракет-носителей.

Заправочное оборудование обеспечивает хранение и подготовку жидких компонентов ракетного топлива, сжатых газов и заправку ими ракет-носителей и разгонных блоков, а также контроль доз заправки, выполнение операций захолаживания магистралей и барботажа емкостей, а также подпитку борта криогенными продуктами с момента окончания заправки до момента пуска.

В его состав входят системы заправки окислителем и горючим, система заправки криогенными компонентами, система газоснабжения стартового комплекса, система сбора и нейтрализации промышленных стоков.

Системы термостатирования отсеков ракет-носителей и космических аппаратов используются для обеспечения температурного режима воздуха в отсеках ракет-носителей и под головным обтекателем космических аппаратов в период нахождения ракет космического назначения на пусковом устройстве, а также для подогрева и охлаждения компонентов, обеспечения температурно-влажностного режима в помещениях комплекса и отсеках изделий. Они включают в себя пневмогидравлические системы кондиционирования с воздушными и жидкими теплоносителями, электрооборудование обогрева, контроля и управления.

Комплект проверочного оборудования обеспечивает проведение предстартовых проверок системы управления ракет-носителей, а также приведение бортовых систем ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов в необходимое состояние готовности перед пуском.

Комплект наземного оборудования электроснабжения спецтоками технологического оборудования универсального стартового комплекса служит для электропитания постоянным током систем и агрегатов технологического оборудования, а также бортовых систем ракет-носителей вплоть до пуска.

Специальные технологические системы, к которым относятся системы обеспечения безопасности работ делятся на системы, обеспечивающие безопасность подготовки ракет космического назначения на универсальном стартовом комплексе, и систем, обеспечивающих безопасность пуска. Они включают системы пожарной защиты стартового комплекса (водяные, пенные и порошковые), системы защиты агрегатов и систем, системы защиты подземных помещений и газовых отражателей, системы отбора, нейтрализации промышленных стоков, их откачки, а также вентиляции помещений.

Автоматизированная система управления

процессами подготовки и пуска предназначена для обеспечения высокой точности проведения предпусковых операций, автоматизированного дистанционного контроля их качества, своевременного обнаружения источников опасных факторов, немедленного включения средств защиты и обеспечения безопасности эксплуатирующего персонала. Автоматизированная система подготовки и пуска ракеты-носителя «Ангара» включает электроавтоматику бортовых систем и системы управления технологическим оборудованием и осуществляет управление организационно-техническими процессами на универсальном стартовом комплексе.

Система наблюдения строится на основе телевизионных и видеокамерных средств, обеспечивающих сбор и документирование видеоинформации о процессах подготовки и пуска.

Общее прогнозируемое количество специалистов технического персонала для эксплуатации универсального стартового комплекса семейства ракет-носителей «Ангара» с учетом смен (некоторые расчеты работают в 2 смены и, соответственно, требуется подготовка двойного количества специалистов) составляет 392 человека. Из них: специалистов с высшим образованием (инженеров) – 197 человек, специалистов со средним специальным образованием (техников) – 195 человек.

Указанная численность технического персонала является прогнозируемой и должна уточняться на этапе опытной эксплуатации универсального стартового комплекса семейства ракет-носителей «Ангара».

Учитывая необходимость некоторого резерва подготовленных специалистов для каждого технического расчета универсального стартового комплекса, общая численность специалистов должна быть увеличена на 10-15%.

Литература

[1] Международная энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение/ Гл. ред. А.Г. Братухин. – М.: ОАО «НИЦ АСК», 2015. – 608 с.: ил.

Механизм формирования структуры, свойств и плотности фасонных отливок в условиях внешнего и комплексного воздействия на затвердевающий металл

Е.А. Чернышов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева, РОССИЯ
603095 г. Нижний Новгород, ул. Минина д. 24, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru

Реферат **- В статье рассмотрены основные проблемы низкого качества металла стальных отливок, получаемых по традиционной технологии в объемных форма. Приведены результаты исследования качества отливок при внешнем и комплексном воздействии. Показано, что наиболее плотная структура и высокие свойства отливок достигаются при комплексном воздействии**

Ключевые слова **- стальная отливка, объемная форма, внешнее и комплексное воздействие, кристаллизация, затвердевание, структура, плотность, свойства, качество, дефекты**

Проблема повышения качества литых заготовок плотных и однородных по всему объему, несмотря на большие успехи в литейном производстве, полностью не решена и остается актуальной на современном этапе развития отечественного машиностроения.

Формирование структуры и свойств отливок происходит в результате сложной совокупности различных физико-химических процессов, протекающих в основном при кристаллизации и затвердевании. Зарождение и рост кристаллов в охлаждающемся расплаве, их преимущественная ориентировка в теле отливки, количество, форма и расположение неметаллических включений, наличие или отсутствие дефектов, определяющих важнейшие механические и служебные свойства металла, в значительной степени зависят от условий затвердевания и возможности управления этим процессом.

Однако основную массу отливок до настоящего времени получают в разовых объемных песчаных формах, в которых возможности воздействия на процесс кристаллизации и затвердевания, а следовательно, и качество отливок ограничены. Отливкам, получаемым в таких формах, присущи структурная и физико-химическая неоднородности, невысокие механические и служебные свойства, не всегда удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к ним. Практика показывает, что чем крупнее отливка, тем более развиты в ней структурная и физико-химическая неоднородности и сопутствующие им дефекты.

Кроме того, при получении стальных отливок в традиционных формах, расход металла на прибыли составляет 30-50% и даже 100%, хотя усадочные пустоты в прибыли составляют 3-5% от общего объема металла.

Стремление повысить плотность, снизить пористость за счет увеличения размеров прибылей и технологических напусков приводит к снижению выхода годного и увеличению дефектов ликвационного

происхождения, а также резко повышает трудоемкость финишных операций по отделению прибылей и механической обработки.

Все это приводит к тому, что в литейных цехах возрастают убытки из-за брака, низкого выхода годного и коэффициента использования металла и повышенной металлоемкости стальных конструкций и изделий. Из-за наличия дефектов, образующихся в процессе формирования отливки, литой металл не всегда обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства, поэтому ответственные стальные заготовки, как правило, получают из деформированного металла, что значительно повышает трудоемкость и металлоемкость получения стальных заготовок.

Развитие специальных отраслей машиностроения приводит к более широкому использованию отливок из легированных сталей и вопросы снижения дефектов, связанных с процессом затвердевания, повышения однородности и экономии металла приобретают первостепенное значение. Особенно актуально это при производстве тяжелых корпусных отливок ответственного назначения.

Целью настоящей работы является повышение плотности и однородности строения фасонных отливок их легированных марок сталей.

Указанная цель достигается с помощью двух способов. Первый вариант осуществляется за счет внешнего воздействия (ускоренное охлаждение металла в тонкостенных формах), второй вариант - путем сочетания суспензионной заливки и внешнего охлаждения тонкостенных форм (комплексное воздействие) [1].

Для определения эффективности предлагаемых способов исследовали кинетику затвердевания отливок, макро- и микроструктуры, плотность металла по сечению и высоте отливок, количество и распределение неметаллических включений, наличие усадочных и ликвационных дефектов. Для сравнения одновременно исследовали металл отливок, полученных в объемной песчаной форме.

Исследование кинетики затвердевания отливок проводили с использованием методики В.Т. Борисова, основанной на решении уравнения теплопроводности [2]. Характер кинетических кривых показал, что при внешнем воздействии наблюдается последовательное затвердевание, проявляющееся в сокращении двухфазной зоны и увеличении зоны плотных столбчатых кристаллов. При этом расход металла на усадку двухфазной зоны компенсируется из прилегающей жидкой зоны, в результате чего улучшается питание затвердевающих участков и значительно снижается вероятность образования усадочных дефектов.

При формировании отливки в объемной форме продолжительность пребывания металла в двухфазном состоянии и ширина этой зоны в центральных частях значительно увеличивается. Жидкого металла для компенсации усадки не хватает, поэтому ширина и глубина залегания усадочных дефектов увеличивается.

Проведенное исследование кинетики затвердевания показало, что в тонкостенных формах можно управлять процессом формирования двухфазной зоны, сокращать продолжительность затвердевания и осуществлять принцип направленного затвердевания. Это легко достигается изменением толщины и состава облицовочного слоя и использованием внешнего принудительного охлаждения.

При сравнении качества металла установлено, что в тонкостенных формах особенно в центральных зонах отливки дендритная структура заметно измельчается и становится гораздо плотнее, чем у металла, полученного в объемной форме, что приводит к повышению механических свойств металла.

Однако, как показали исследования, возможности внешнего воздействия на процесс затвердевания ограничены, так как с нарастанием толщины затвердевшей корки металла ее тепловое сопротивление начинает лимитировать теплоотдачу от кристаллизующегося расплава. Следовательно, с увеличением толщины отливки эффективность тонкостенных форм снижается.

Поэтому при получении толстостенных отливок (с толщиной стенки до 180 мм) использовали комплексное воздействие на затвердевающую отливку. При этом учитывали, что успешное проведение суспензионной заливки не может быть осуществлено без учета следующих факторов.

Взаимодействие вводимых микрохолодильников с заливаемым металлом должно происходить как в процессе заливки, так и при последующем затвердевании металла в форме. Равномерное распределение твердых дисперсных частиц оказывает механическое, теплофизическое и модифицирующее влияние и обеспечивает одновременное воздействие на металл во всем объеме отливки.

Механическое воздействие заключается в том, не успевшие расплавиться в литниковой системе частицы микрохолодильников, а также кристаллы твердой фазы, оседают в нижнюю часть массивных отливок в виде так называемого кристаллического дождя. Следовательно, в нижней части отливки накапливается твердая фаза с более холодным и вязким расплавом. В результате этого затвердевание нижних горизонтов металла происходит быстрее по сравнению с верхним, что приводит к направленности затвердевания отливок, залитых суспензионным способом. Направленное затвердевание снижает вероятность образования «мостов» из сросшихся кристаллов, препятствующих подпитке изолированных не затвердевших объемов твердо-жидкой зоны. Это, в свою очередь, приводит устранению осевой рыхлости и связанной с ней V-образной ликвации.

Теплофизический эффект происходит потому, что, во-первых, микрохолодильники интенсивно снимают избыточную температуру перегрева. Вследствие этого

создаются благоприятные условия для ускоре- ния не только скорости кристаллизации, но и затвердевания и получаются отливки с дисперсной и однородной структурой. Во-вторых, микрохолодильники являются поставщиками искусственных центров кристаллизации, а следовательно воздействуют на структуру металла. При соблюдении правила Данилова-Неймарка, то есть когда плавление микрохолодильников заканчивается к моменту достижения расплавом температуры, лежащей несколько ниже температуры ликвидус, наблюдается максимальный эффект от суспензионной заливки, и в полной мере проявляются преимущества этого прогрессивного способа.

Кроме того при суспензионной заливке происходит изменение физико-химических параметров, оказывающих радикальное воздействие на кристаллизацию и структурообразование сплава. Микрохолодильники, отбирая на себя тепло, вызывают локальные изменения температурных и концентрационных полей, способствуют общему переохлаждению расплава. При этом происходит резкое переохлаждение по всему объему затвердевающего металла, следовательно, уменьшается работа образования критического зародыша и увеличивается вероятность его возникновения. Происходит как бы объемная закалка. Примеси, которые вносятся вместе с микрохолодильниками, также могут становиться центрами кристаллизации. Кроме того при суспензионной заливке происходит выравнивание скоростей затвердевания толстых и тонких сечений отливки, что способствует получению более однородных механических свойств и снижению вероятности образования горячих трещин [1,3,4].

Исходя из этих условий и получения максимального эффекта теоретически и экспериментально определили основные параметры суспензионной заливки: продолжительность прогрева и плавления микрохолодильников, их размеры и массу с учетом температуры заливаемой стали и толщины отливки.

Проведенные исследования качества металла показали следующее.

Самое крупное зерно наблюдается у отливки, полученной в объемную форму, в центральной зоне которой несмотря на наличие прибылей видна пористость, как на продольном, так и поперечном разрезах. При внешнем воздействии макроструктура существенно отличается большей протяженностью зоны столбчатых кристаллов, что свидетельствует об ускорении процесса отвода теплоты перегрева. Продолжительность пребывания расплава в интервале ликвидус-солидус и ширина двухфазной зоны сокращается, что приводит к уменьшению усадочных дефектов и повышению плотности металла. При комплексном воздействии ввод микрохолодильников, снимая теплоту перегрева (частично или полностью), уменьшает объем усадки в жидком состоянии. Расширение вводимых твердых частиц при нагреве и плавлении частично компенсирует усадку. Измельчение структуры увеличивает эффект суспензионного питания. Это в сочетании с внешним воздействием повышает плотность и однородность строения металла.

Изменение условий затвердевания влияет и на характер и распределение неметаллических включений, плотность и механические свойства отливок.

Количество и размеры сульфидов возрастают от периферии к центру отливки, причем наиболее сильно увеличиваются у отливки, полученной в объемной форме, в центральных частях они расположены в виде пленок по границам зерен. При внешнем воздействии сульфиды расположены более равномерно по всему сечению и находятся в виде более тонких и прерывистых пленок. При комплексном воздействии образуются оксисульфиды, расположенные, в основном, внутри зерна и имеют компактную форму. Количество силикатных включений и их размеры практически не меняются по сечению отливки и не зависят от скорости затвердевания.

Исследование механических свойств отливки, полученной в объемной форме, показало, что наиболее существенное их падение происходит в центральной по высоте зоне отливки. По сравнению с периферийной в этой зоне прочность понижается в среднем на 19%, пластичность и ударная вязкость соответственно на 26% и 30%.

У отливки, полученной в тонкостенной форме, не наблюдается заметной разницы в механических свойствах как по высоте, так и по сечению отливки.

Но наилучшим сочетанием механических свойств обладает отливка, полученная с комплексным воздействием на затвердевающий металл путем принудительного охлаждения и ввода инокуляторов. При этом получены наиболее высокие пластические свойства и ударная вязкость, а в целом механические свойства – более однородные по сечению и высоте.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Внешнее воздействие (интенсивность охлаждения и толщина огнеупорного облицовочного слоя) и комплексное воздействие (суспензионная заливка в тонкостенные формы) позволяют управлять процессами кристаллизации и затвердевания отливок, измельчать структуру и повышать плотность и механические свойства формирующихся отливок. При этом одновременно возрастает изотропность механических свойств при нормальной и повышенной температурах. Наиболее полно этот эффект достигается при комплексном воздействии.

Литература

[2] Чернышов Е.А. Формирование стальных отливок в условиях внешнего и комплексного воздействия. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2007.-199 с.

[3] Чернышов Е.А. Исследование двухфазной зоны стальных отливок, формирующихся в тонкостенных металлооболочковых формах // Литейное производство. 2003, №11. С.17-19.

[4] Совершенствование технологии стального литья. Под ред. А.А. Рыжикова.-М.: Машиностроение,1977.-143 с.

[5] ЗатуловскийС.С. Суспензионная разливка. - Киев.: Наук. Думка, 1981.-260с.

ДОКЛАДЫ
Международной научно-технической конференции «Фундаментальные исследования в области создания инновационных технологий и новых материалов, направленных на развитие авиационных и космических комплексов»

Применение паттернов проектирования для повышения масштабируемости программно-аппаратного комплекса мониторинга и диагностики летательных аппаратов

С.Ю. Александров[1], Д.Л. Деменин[2]

[1] Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, sandrov@mail.ru
[2] Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, qpiixs@gmail.com

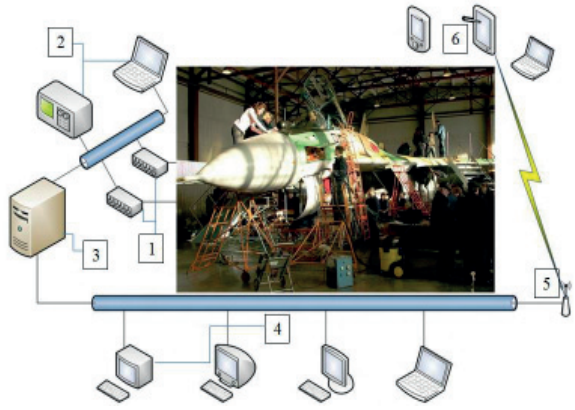
Приводится краткое описание существующего программно-аппаратного комплекса. Предлагается способ улучшения масштабируемости данного комплекса путем применения паттерна проектирования «DoubleSwitch» при реализации его архитектуры.

Ключевые слова **- паттерн, проектирование, программа, масштабируемость, архитектура**

1. Введение

На протяжении пяти последних лет кафедрой «Математическое обеспечение и применение ЭВМ» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета осуществляется разработка программно-аппаратного комплекса, нацеленного на решение задач мониторинга и диагностики бортовых систем летательных аппаратов. Данная работа выполняется в интересах и при поддержке филиала ПАО «Компания «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина». В рамках данной работы был создан ряд программных продуктов, объединенных общей идеологией в единый комплекс[1].

Общая структура и аппаратный состав разработанного программно-аппаратного комплекса представлен на рис. 1.



1 - концентраторы сигналов, 2 - средства объективного контроля, 3 - сервер приложений, 4 - проводные клиенты, 5 - точка доступа, 6 - беспроводные клиенты.

Рис. 1. Общая структура и аппаратный состав разработанного программно-аппаратного комплекса

В качестве основного устройства сопряжения с источником сигналов в настоящее время выступает концентратор КПИ-1[2]. По мере поступления данных на входы КПИ-1, осуществляется прием и преобразование сигналов во внутренний формат КПИ-1. Далее устройство управления опрашивает приемники на наличие новых данных и при наличии данных передает их в буфер типа FIFO (first input first output или очередь) для дальнейшей выдачи контроллером Ethernet 100BASE-TX в ПЭВМ в ЛВС.

Непрерывный поток данных собранный КПИ-1 передаётся в сеть Ethernet пакетами размером 1024 байта по протоколу UDP (широковещательной рассылкой по заданному порту).

Данные КПИ-1 состоят из принятых в порядке поступления двухбайтных слов данных, следующих друг за другом. Слова данных могут быть шести видов в зависимости от источника - слова последовательного кода по ГОСТ 18977-79 (ARINC-429), слова последовательного кода МКИО по ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553B), слова последовательного кода по стандарту RS-232-422-485, слова цифрового параллельного кода (ИИК «Гамма» и т.п.), слова меток времени [2].

В основе существующей архитектуры лежит так называемая таблица управления (ТУ) – файл в ОЗУ, отображаемый на адресное пространство процессов-модулей программного комплекса. Модуль-поставщик данных заполняет этот файл согласно определенным правилам, описанным в отдельной базе данных (БД). Модули-визуализаторы выполняют отображения значений из ТУ в характерном для их представления виде. Изменяя правила описанные в БД можно изменить состав и структуру содержащейся в ТУ информации.

Такая архитектура соответствует распространенной в программной инженерии практике разделять модель, отображение и контроллер – модели MVC. При этом модификация одного из компонентов программного комплекса оказывает минимальное воздействие на остальные. Основная цель применения этой концепции состоит в разделении логики (модели) от её визуализации (представления, вида). За счет такого разделения повышается возможность повторного использования кода.

С увеличением числа решаемых задач и спектра используемых аппаратных модулей (устройств сопряжения с объектом испытаний) возникает потребность в стандартизации не только архитектуры разрабатываемого программно-аппаратного комплекса, но и его отдельных компонентов. Например, при

возникновении потребности в реализации распределенной системы и работы в общедоступных сетях WiFi (проверка подлинности абонентов затруднительна или вовсе невозможна!) возникает необходимость в поддержке шифрования потока, что может потребовать внесения существенных изменений в модули программного комплекса. В основу предлагаемой архитектуры положен паттерн объектно-ориентированного проектирования известный как «DoubleSwitch».

2. Материалы и методы

Паттерн (или шаблон проектирования) – это описание взаимодействия объектов и классов, адаптированных для решения общей задачи проектирования в конкретном контексте. Архитектура системы должна, с одной стороны, соответствовать решаемой задаче, с другой — быть достаточно общей, чтобы сделать возможным внесение изменений, которые могут потребоваться в будущем [3].

Правильно сформулированный паттерн проектирования позволяет, отыскав однажды удачное решение, пользоваться им снова и снова.

Использование паттернов даёт разработчику ряд преимуществ. Модель системы, построенная в терминах паттернов проектирования, является структурированным выделением тех элементов и связей, которые значимы при решении поставленной задачи. Применение паттернов проектирования повышает устойчивость системы к изменению требований и упрощает неизбежную последующую доработку системы.

Применимо к поставленной задаче паттерн будет обеспечивать расширяемость и масштабируемость архитектуры. Расширяемость обеспечивает добавление ресурсов (устройств), а масштабируемость – прирост производительности при добавлении новых устройств. Также паттерн обеспечит лёгкий способ добавления новых устройств в систему, не приводя к её неработоспособности.

К показателям качества программных систем относят возможность их модификации и расширения при возникновении необходимости. Существенную роль при этом играет правильное разбиение системы на составные части, такие как модули, классы, функции.

Очевидным недостатком использования процедурно-ориентированных систем является постоянно возникающая потребность в использовании управляющих конструкций на базе оператора switch. Сопровождение таких программ связано с определенными трудностями, поскольку внесение изменений влечет за собой потребность полного повторного тестирования всех методов, затронутых изменениями.

Частично эту проблему снимает использование объектно-ориентированного подхода к разработке, а также применение тестов и методик, ориентированных на тестирование [4]. Одна из рекомендаций, приведенных в [5], звучит так: «Найдите то, что должно или может измениться в вашем дизайне, и инкапсулируйте сущности, подверженные изменениям!» Таким образом, предлагается инкапсулировать вызываемые методы и реализовывать их в качестве виртуальных, пользуясь механизмом наследования.

Описанный в [3] паттерн «Switch» заключается в следующем: объект типа «переключатель» (класс Switch) использует некую абстрактную «процедурой вообще». Для этого потребуется создание абстрактного класса AbstractEntity, содержащего виртуальный метод DoSomething. Реализацией этого метода будут заниматься классы Entity1, Entity2 и т.п, наследующие классу AbstractEntity.

Для пользования классами Entity1, Entity2 и т.д. в одном из полей класса Switch создается коллекция указателей на их экземпляры. Диаграмма классов этого решения приведена на рис. 2.

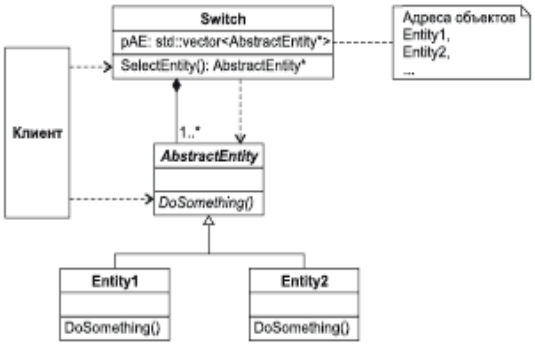


Рис. 2. Диаграмма классов паттерна Switch.

Реализация паттерна DoubleSwitch потребует наличия двух уровней сущностей с тем, чтобы иметь возможность выбора конкретной реализации каждой из них, а уже потом использовать необходимую ассоциацию между ними путем вызова соответствующих методов. Диаграмма классов паттерна DoubleSwitch изображена на рис. 3.

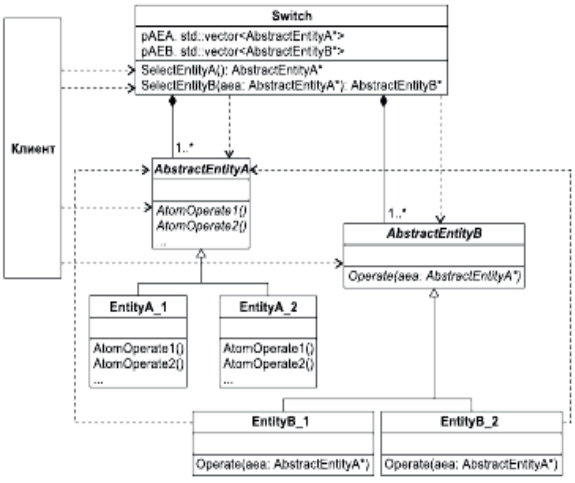


Рис. 3. Диаграмма классов паттерна DoubleSwitch.

Класс Switch содержит методы позволяющие выбрать конкретные реализации абстрактных классов обоих уровней.

После выбора на втором уровне благодаря полиморфизму клиент может вызвать метод Operate, относящийся к конкретной реализации второго уровня. Передача через метод Operate ссылки AbstractEntityA* разрешает последнему обращаться к состоянию через определенные в конкретных объектах иерархии AbstractEntityA операции AtomOperate1, AtomOperate2 и т. п. Эти методы должны реализовывать интерфейс, достаточный для реализации любого метода Operate в иерархии AbstractEntityB. Обычно, это методы и операции, обеспечивающие доступ к защищенным и закрытым полям классов иерархии AbstractEntityA или задающие информацию, специфичную для конкретного класса [3].

3. Результаты

Теперь попытаемся применить этот паттерн к нашей задаче. Устройства, используемые в разрабатываемом комплексе, могут быть разными, но они выполняют одинаковые задачи, а именно получают данные из бортовых магистралей и передают их в режиме реального времени в ПЭВМ (персональная электронная вычислительная машина) или ЛВС (локальная вычислительная сеть). Также существуют варианты накопления данных с их последующей обработкой. Поведение этих устройств определяется согласно одному алгоритму из некоторого семейства. Все алгоритмы этого семейства являются родственными: предназначены для решения общих задач, а именно получения и обработки данных.

Необходимо создать класс некоего абстрактного устройства, которое будет работать с реальными устройствами и иметь единый интерфейс. Тогда, при подключении нового устройства, пользователю необходимо будет просто выбрать нужный алгоритм, отвечающий за работу с этим устройством (рис. 4).

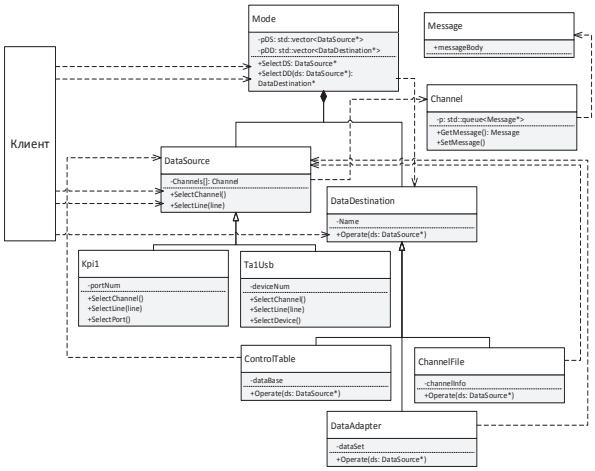


Рис. 4. Диаграмма классов модуля-поставщика данных DataProvider.

В нашей реализации заменим класс Switch классом Mode. Базовым классом в иерархии первого уровня у нас будет класс DataSource (замена класса AbstractEntityA). В качестве базового класса иерархии второго уровня будет выступать абстрактный класс DataDestination (занял место AbstractEntityB). Он будет обеспечивать единый интерфейс для конкретных классов ControlTable (оболочка для таблицы управления), ChannelFile (инкапсулирует состояние канала), DataAdapter (класс был добавлен для иллюстрации того, что список выполняемых операций может легко расширяться, например для интеграции с возможностями технологии ADO).

Метод DataDestination::Operate(DataSource *) заменит AbstractEntityB::Operate(AbstractEntityA*). Реализацию буферизации возложим на дополнительный класс Channel, который, в свою очередь служит контейнером для очереди сообщений, получаемых согласно логике функционирования каждого конкретного типа DataSource. Каждое такое устройство может обрабатывать сразу несколько каналов, поэтому классы, описывающие эти устройства, могут содержать более одного экземпляра Channel. Поскольку число каналов для конкретного типа устройства неизменно, можно оформить их как массив, а доступ к ним осуществлять через итератор.

Выводы

После детального изучения предметной области и анализа задачи, было предложено описать существующее решение с использованием известных паттернов проектирования. Паттерны позволят формализовать процесс разработки и сопровождения программного кода. Получив класс абстрактного устройства, описывающего работу с реальными устройствами, и имеющего единый интерфейс с моделью существующего программного комплекса, можно добиться существенного прироста расширяемости и масштабируемости системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров С. Ю. Математическое моделирование и создание комплекса программ для повышения эффективности сбора и обработки информации при диагностике систем машиностроительных изделий / С. Ю. Александров // Студент и научно-технический прогресс. Сборник научных работ финалистов международного молодежного конкурса. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. – 289 с.
2. Руководство по технической эксплуатации КПИ-1[Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные. – http://tnlab.ru/files/KPI1-10-AUG-2009.zip, 2009.
3. Павловская, Т.А. C/C++. Структурное и объектно-ориентированное программирование: практикум: учеб. пособие / Т.А. Павловская, Ю.А. Щупак. — СПб.: Питер, 2011. — 352 с. : ил. ISBN 978-5-459-00613-1
4. Гэртнер, М. ATDD - разработка программного обеспечения через приёмочные тесты. Пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 231 с.: ил. ISBN 978-5-94074-572-3, 978-0-321-78415-5
5. Влиссидес Дж. Применение шаблонов проектирования. Дополнительные штрихи. — М.: Вильямс, 2003.

Металлографические исследования мезоструктурной упорядоченности плазменных оксидных покрытий

В.А. Барвинок[1], В.И. Богданович[1], С.Б. Марьин[2], И.А. Докукина[1], Е.Г. Громова[1], М.Г. Гиорбелидзе[1]

[1] ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева, Самара, РОССИЯ,
[2] ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на-Амуре, РОССИЯ

Реферат **- в работе приведены результаты исследований структуры мезоупорядоченных плазменных покрытий напыленных из порошков узких фракций. Показано, что за счёт управления режимами напыления удаётся реализовать мезоструктурную упорядоченность, исключающую образование сплошных столбчатых структур, пронизывающих всё толщину покрытия, а для каждого отдельного дискообразного кластера структуры удаётся реализовать образование в приповерхностном слое наностолбчатых структур, обеспечивающих демпфирование связей между кластерами при знакопеременных силовых и тепловых нагрузках деталей с покрытиями. Предложена методика количественной оценки упорядоченности структуры покрытий.**

Ключевые слова **- плазменные покрытия, структура, мезоструктурная упорядоченность, методика количественной оценки**

V. Введение

Детали горячего тракта газотурбинных двигателей находятся в наиболее сложных температурных условиях эксплуатации по сравнению с другими деталями и фактически определяют ресурс двигателя. Потеря работоспособности охлаждаемых лопаток из жаропрочных конструкционных сплавов, камер сгорания и жаровых труб происходит из-за высокотемпературной газовой коррозии поверхности с последующим развитием межкристаллитной коррозии и усталостных трещин[1-4].

Торможение роста усталостных трещин можно обеспечить нанесением на поверхность деталей специальных покрытий, обладающих такой структурой, которая локализует усталостную трещину в микрообъеме не давая ей прорости до границы покрытие – основа, а свойства межзеренных границ таковы, что развитие трещины должно приводить к отделению только некоторого гарантированного по размерам микрообъема покрытия с накопленными микроповреждениями. Получение такого эффекта возможно, если структура покрытия, нанесенного на поверхность детали, обладает заданной степенью упорядоченности.

VI. Материалы и методы

Для получения покрытий с упорядоченной структурой используется метод плазменного напыления из порошковых материалов. Этот метод позволяет получать покрытия, структура которых состоит из отдельных кластеров определенного размера. Формирование покрытий плазменным газотермическим напылением осуществляется осаждением на поверхность деталей прогретых или расплавленных плазменным потоком частиц напыляемого материала, которые, в процессе удара о поверхность, деформируются в дискообразные кристаллиты и вступают между собой в химическое взаимодействие по контактным поверхностям. Структура таких покрытий обычно неоднородна, так как в их формировании участвуют частицы со значительным рассеиванием свих размеров, с различной кинетической энергией и различной степенью нагрева и проплавления. Нашими исследования уставлено, что моделирование и управление процессом напыления плазменных газотермических покрытий позволяет получить существенно более однородную структуру с опеделенной степенью упорядоченности, что приводит к значительному повышению эксплуатационных свойств всего покрытия.

Упорядоченность структуры покрытий определяется дисперсностью напыляемого материала, степенью нагрева и ускорением порошкового материала плазменной струей, протеканием процессов упругого и упруго-пластического деформирования частиц на основе и развитием гетерогенного топохимического взаимодействия на контактных поверхностях.

При проведении моделирования процесса формирования кластеров структуры покрытий исследовались следующие вопросы: какова природа и какие факторы обеспечивают прочность закрепления частиц на основе; какими факторами определяется геометрическая форма кластера после его закрепления на основе; каковы возможности процесса в обеспечении прочности закрепления частиц на уже сформировавшихся кластерах структуры; каково влияние остаточных напряжений и деформаций на гетерогенную прочность формируемого покрытия и т.д.

Наибольший интерес для процесса получения покрытий представляет определение диапазона скоростей частиц и температур их нагрева, когда после удара напыляемой частицы начинается ее пластическая деформация и растекание по поверхности в результате выделения кинетической энергии направленного движения частицы при ее торможении на напыляемой поверхности [5]. В общем случае математическое моделирование такого процесса представляет значительные трудности из-за сложности описания процесса растекания материала вдоль поверхности удара. Однако, для задач технологии получения упорядоченных покрытий достаточным является установление взаимосвязи доли напыляемой частицы,

которая перешла в пластическое состояние, с такими параметрами как скорость, температура, размер и механические характеристики частицы.

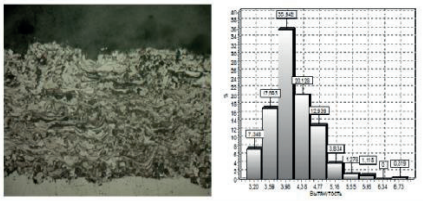
По предложению авторов статьи такие покрытия получили название покрытий с мезоструктурной упорядоченностью. Для оценки качества сформированной упорядоченной структуры нами предложены количественные критерии, основанные на программной обработке изображений с поперечного шлифа покрытий. Количественной характеристикой такой мезоструктурной упорядоченности может служить коэффициент мезоструктурной упорядоченности покрытия χ, определяемый как отношение среднего характерного размера дискообразного кристаллита в горизонтальном направлении (D_c) к его средней толщине (h_c)[5]: $\chi = D_c / h_c$.

Для определения параметра структурной упорядоченности плазменных газотермических покрытий разработана методика, которая использует программное обеспечение для анализа изображений базе компьютера Image Expert Pro 3.0 Professional. Для проведения исследований изготавливались поперечные шлифы покрытий. Образцы покрытия заливались в специальные оправки и обрабатывались с помощью шлифовально-полировального станка Gripo 1V. Исследования микроструктуры проводилось на специальном комплексе оборудования для металлографического анализа включающем.

Использование предложенной методики изложено на примере напыления покрытий из узкой фракции порошка дисперсностью 40-60 мкм на расчетном режиме. На рисунке 1 приведён результат обработки изображений определения коэффициента упорядоченности χ данного покрытия.

VII. Результаты

Анализ показал, что при исследовании данной структуры значения χ меняются от 3.2 до 6.7, а среднее значение χ составляет 4.13. Исследованиями установлено, что увеличение значения χ больше 8 не приводит к улучшению напряженного состояния по контактной поверхности напыляемой частицы в момент формирования покрытия с заданной структурой, и наиболее оптимальным является получение значения коэффициента упорядоченности от 3 до 7.



Параметр	Сумма	Среднее	Отклонение
Площадь объекта, мкм^2	29200,506	46,646	1,7351
Процент по площади анализа	57,632	0,092	0,0034
Диаметр окружности эквивалентной площади, мкм	-	6,696	0,1526
Максимальный диаметр Ферe, мкм	-	16,454	0,3981
Минимальный диаметр Ферe, мкм	-	4,002	0,0976
Вытянутость	-	4,13	0,023
Средний диаметр, мкм	-	10,228	0,2464
Параметр формы [P/sqrt(S)]	-	7,55	0,062

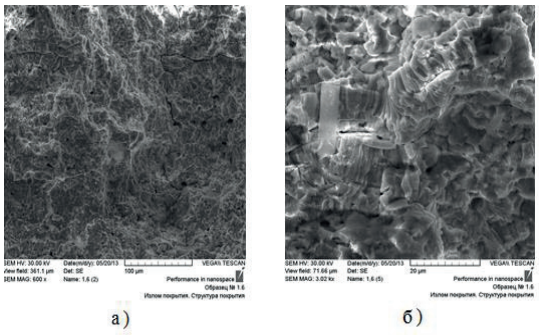
Рис. 1. Результаты исследования коэффициента упорядоченности χ покрытия

При формировании мезоупорядоченных плазменных покрытий необходимо частицы напыляемого порошка нагреть до (0,8…0,9) $T_{пл}$ и разогнать их до скорости, достаточной для их деформирования в дискообразный кластер покрытия. Определение коэффициента упорядоченности χ покрытия позволяет по параметрам структуры напыленного слоя количественно зафиксировать качество полученного покрытия, что существенно более объективно по сравнению с визуальной оценкой качества покрытия на поперечном шлифе.

Исследование микроструктуры сформированных кластеров проводилось на электронном растровом сканирующем микроскопе TESCAN Vega SB. Исследовались покрытия из порошков узких фракции оксида циркония [6-8], напыленные на расчетных режимах (таблица 1). На рисунке 2(а) представлена структура слоя оксида циркония полученного из порошка с размером частиц до 40 мкм в области поперечного излома. Строение основного слоя покрытия стабильно по всей глубине. На рисунке 2(б) видны следы кристаллизации жидкой фазы и не расплавленные фрагменты частиц порошка, присутствует небольшое количество пор и микротрещин.

Таблица 1. Результаты исследований параметров структуры и проситости покрытий

Вид покрытия	Дисперсность порошка	Коэффициент упорядоченности χ	Пористость покрытия, %
ZrO_2 – 8% Y_2O_3	Менее 40 мкм	4,8	6,9
	40-60 мкм	4.9	7,5
	60-80 мкм	4.6	9,6



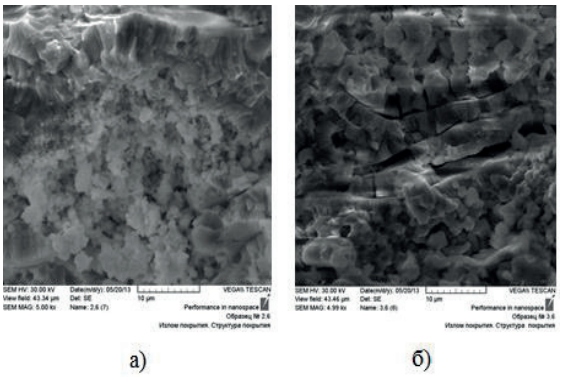
а) общий вид; б) микроструктура

Рис. 2. Структура покрытия напыленного из порошка дисперсностью менее 40 мкм

Наличие микротрещин в покрытии сформированном из порошка с размером частиц менее 40 мкм обусловлено тем, что выделенная фракция менее 40 мкм имеет большой разброс диаметров частиц, часть из которых расплавляется при проведении процесса напыления на расчетном для среднего диаметра режиме. Выделить более узкую фракцию представляет некоторые трудности ввиду отсутствия стандартных сит. Оплавленные частицы при осаждении в слой покрытия затвердевают, в результате чего образуются характерные для кристаллизации столбчатые кристаллиты, по границам которых и происходит разлом покрытия при механическом воздействии. Сформировавшаяся столбчатая структура внутри отдельного дискообразного кристаллита имеет высокие демпфирующие способности и принципиально отличается от столбчатой структуры, получаемой при электронно-лучевом осаждении жаростойких покрытий. Главное отличие состоит в том, что электронно-лучевые покрытия сформированы из кристаллитов, идущих от основы по всей толщине покрытия к его поверхности и границы этих кристаллитов обладают ослабленными связями, а при воздействии механических и термических нагрузок образуют сквозные каналы для проникновения к основе продуктов окисления и являются концентраторами для образования усталостных разрушений.

При формировании мезоструктурноупорядоченного покрытия столбчатая структура формируется внутри дискообразных кристаллитов, а границы этих столбчатых образований замыкаются в слое покрытия на границе со следующим сформированным кластером, который образовался при отвердевании следующей оплавленной частицы. Ширина сформированных столбчатых образований составляет величину порядка 60-70 нм, а высота ограничена размерами дискообразного кластера. На не полностью проплавленных частицах они начинаются на верхней и нижней границах кластера, а заканчиваются на внутренней границе не оплавленного в кластере материала (рисунок 3).

На рисунке 4(а) изображена поперечная микроструктура излома образца покрытия, полученного из порошка 40-60 мкм. Структура покрытия однородна по всей глубине, так же как и в первом образце. Микроструктура оксида циркония напыленного из порошка с размером частиц 60-80 мкм (рисунок 4(б)), представляет собой большое количество полурасплавленных и не расплавленных фрагментов исходного материала. Это можно объяснить тем, что более крупные фракции исходного порошка в процессе плазменного напыления лишь частично расплавлялись, образуя более пористое покрытие. Таким образом, внутреннее строение покрытия оксида циркония прямо зависит от размера фракций исходного порошка – чем меньше фракции, тем плотнее получается структура.



а) на границе не полностью проплавленные частицы; б) на границе кластеров.

Рис. 3. Иллюстрация расположения кристаллитов

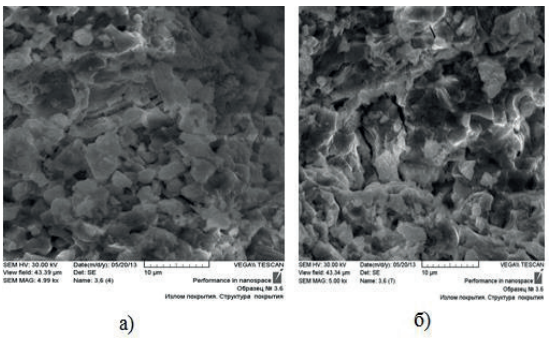


Рис. 3. Структура покрытия напыленного из порошка дисперсностью а) 40-60 мкм; б) 60-80 мкм

Выводы

Таким образом, поведенные исследования структуры мезоупорядоченных плазменных покрытий напыленных из порошков узких фракций на расчетных режимах показали, что в соответствии с расчетными оценками при формировании кластерной структуры покрытие формируется из частично оплавленных частиц. За счёт управления режимами напыления удаётся реализовать мезоструктурную упорядоченность, исключающую образование сплошных столбчатых структур, пронизывающих всё толщину покрытия и, следовательно, обеспечивающих повышение защитных способностей системы к высокотемпературной коррозии и диффузии. А для каждого отдельного дискообразного кластера структуры удаётся реализовать образование в приповерхностном слое кластера наностолбчатых структур, которые обеспечивают демпфирование связей между этими кластерами при знакопеременных силовых и тепловых нагрузках деталей с покрытиями.

Кроме того, проведенные исследования показали, что предложенная методика количественной оценки

упорядоченности структуры покрытий позволяет повысить информативность результатов исследования поперечных металлографических шлифов и исключить субъективность визуальной оценки, а так же дать количественную оценку качества покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Елисеев Ю.С., Бойцов А.Г., Крымов В.В. и др. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 2003. – 510 с..

[2] Фролов В.А., Поклад В.А., Рябенко Б.В., Зимарева А.В. Технологические особенности нанесения теплозащитных покрытий при производстве лопаток газотурбинных установок // Сварочное производство. – 2004. – №11. – С. 39-41..

[3] Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 с.

[4] Абраимов Н.В. Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.

[5] Барвинок В.А., Богданович В.И. Физическое и математическое моделирование процесса формирования мезоструктурно-упорядоченных плазменных покрытий // Журнал технической физики. - 2012. - Т. 82, - С. 105-112.

[6] Nesbitt J. A., Zhu D., Miller R. M., Barrett C. A. Failure morphologies of cyclically oxidized ZrO2 -based thermal barrier coatings // Materials at high temperatures. – 2003. – Vol. 20(4). – p. 507-517.

[7] Коломыцев П.Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. – М.: Металлургия, 1991. - 239 с.

[8] Барвинок В.А., Богданович В.И., Докукина И.А., Мельников А.А., Фролов В.И. Металлографическое исследование структуры мезоупорядоченных покрытий полученных методом плазменного газотермического напыления // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. - №1. - С. 99-*100*

Разработка состава покрытий и оборудования для восстановления и упрочнения деталей энергетических агрегатов методом плазменного напыления

В.А. Барвинок[1], В.И. Богданович[1], С.Б. Марьин[2], И.А. Докукина[1], Е.В. Еськина[1], М.Г. Гиорбелидзе[1]

[1] ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева, Самара, РОССИЯ,
[2] ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на-Амуре, РОССИЯ

Реферат - **в работе рассмотрены основные причины износа деталей энергоагрегатов, таких как лопатки паровых турбин, опорные поверхности валов, детали запорной арматуры и других поверхностей. Предложен эффективный метод восстановления деталей энергоустановок, который позволяет существенно повысить их ресурс и значительно увеличить сроки эксплуатации энергоустановок. Напыление осуществляется мобильной малогабаритной установкой, разработанной авторами. Определены составы покрытий и технологии их нанесения. Для оценки работоспособности покрытий изучены следующие свойства напыленных слоев: структура, химический и фазовый состав, микротвердость, пористость, прочность на изгиб, термостойкость, жаростойкость, износостойкость при трении и прирабатываемость напыленных слоев при врезании контртела. В статье показано, что процесс восстановления размеров рабочих лопаток, валов, запорной арматуры и упрочнение их поверхностей может проводиться прямо на ТЭЦ, а в большинстве случаев и без полного демонтажа агрегатов. Одним из важнейших результатов исследований было установление того факта, что получение покрытий с преимущественной структурой межкристаллитных границ, расположенных вдоль внешней поверхности изделия, значительно повышает большинство эксплуатационных характеристик всей системы покрытие-основа.**

Ключевые слова **- ТЭЦ, энергетические агрегаты, газотермическое плазменное напыление, мобильная малогабаритная установка, стеллитовые пластины, составы покрытий, рабочие лопатки турбины, эрозионный износ.**

I. Введение

В настоящее время энергетические агрегаты большинства ТЭЦ близки к исчерпанию ресурса, требуют замены или дорогостоящего ремонта. Эксплуатация таких станций может приводить к возникновению техногенных катастроф, серьезных социальных и экономических последствий для регионов России.

Основная причина исчерпания ресурса заключается в эрозионном и контактном износе передних кромок лопаток турбины, опорных поверхностей валов, деталей запорной арматуры и других поверхностей, находящихся под воздействием высокоскоростного потока, высоких скоростей вращения (более 3000 об/мин) и нагрузок. Резкое увеличение интенсивности изнашивания деталей паровых турбин, наблюдаемое в последние годы при плановых ремонтах агрегатов, во многом связано с изменением режимов эксплуатации ТЭЦ.

II. Материалы и методы

Существующий метод восстановления ресурса заключается в замене деталей, выработавших свой ресурс на новые, что требует больших экономических затрат, обусловленных стоимостью заменяемых деталей, больших объемов работ, связанных с разборкой и транспортировкой агрегатов [1,2]. Это приводит также к большим экономическим потерям из-за простоя оборудования в течении длительных сроков ремонта и ведет к определенной социальной напряженности. Для

восстановления поверхностей изношенных деталей энергоагрегатов существуют различные методы, такие как вакуумное ионно-плазменное напыление, высокоскоростное напыление и другие. Однако, большинство этих методов малоэффективны или их применение в условиях площадок ТЭЦ не осуществимо [3-7].

Сотрудниками НИИ Технологий и проблем качества Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева установлена возможность восстановления деталей таких агрегатов и существенного повышения их ресурса методом плазменного напыления [1]. При этом процесс восстановления рабочих размеров лопаток, валов, запорной аппаратуры и других деталей и упрочнение их поверхностей может проводиться прямо на ТЭЦ, а в большинстве случаев и без полного демонтажа агрегата.

Нанесение плазменных газотермических покрытий проводится на установках типа УПУ с существенными конструктивными доработками. Нами разработаны новые агрегаты установки улучшенной конструкции (дозаторы, плазмотроны и манипуляторы, защищенные патентами) позволяющие наносить покрытия на детали сложной формы (в том числе на внутренние поверхности) с использованием компьютерной системы управления процессом напыления [1].

Для упрочнения и восстановления деталей различного оборудования на месте эксплуатации наносились покрытия толщиной до 1 мм из порошков металлов, карбидов, оксидов и их соединений. Причем, для подслоя использовали никель, кобальт, хром, алюминий, иттрий в соответствующих пропорциях, а для верхнего слоя использовали порошок на основе карбида хрома.

Для оценки работоспособности покрытий изучали следующие свойства напыленных слоев: структуру, химический и фазовый состав, микротвердость, пористость, прочность на изгиб, термостойкость, жаростойкость, износостойкость при трении и прирабатываемость напыленных слоев при врезании контртела.

Структуру частиц порошков и напыленных покрытий исследовали на поперечных шлифах с помощью оптического микроскопа при увеличениях 60 – 2000. Шлифы для металлографических исследований отрезали вулканитовым кругом с обильным охлаждением водой, затем шлифовали в четыре-пять переходов на водостойких шкурках зернистостью (200 – 20) мкм. Окончательно шлифы доводили на сукне пастообразной окисью хрома или на бумаге алмазной пастой. Для травления карбидов использовали раствор Мураками, для травления матрицы покрытия применяли реактив из раствора трех кислот: соляной – 92 $см^3$, серной – 5 $см^3$, азотной – 3 $см^3$.

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометрах в медном излучении с никелевым селективно поглощающим фильтром. Изменение фазового состава покрытий в зависимости от исследуемых факторов определяли по изменению интенсивности линий на дифрактограммах с привлечением металлографического анализа и результатов измерения микротвердости.

Микротвердость фазовых составляющих покрытий определяли при нагрузке на индентор 0,2 и 0,49 Н в 100 точках на длине 10 мм через (80 – 100) мкм. При этом при замерах микротвердости матрицы в зоне измерения исключались карбидные частицы. По результатам замеров строили гистограммы распределения значений микротвердости слоя в координатах микротвердость – число отпечатков в процентах. Результаты измерения микротвердости с использованием известных литературных данных о микротвердости фазовых составляющих позволяют сделать определенные выводы о их содержании в покрытии.

Для определения состава поверхности порошков, плакированных никелем и напыленных в воду, проводили съемку на растровом сканирующем микроскопе с микроанализатором. Состав сложных карбидов и металлической составляющей напыленных покрытий расшифровывали микрорентгеноспектральным анализом с помощью микрозонда, обеспечивающего локальность анализа (1 – 1,5) мкм. Оценку распределения элементов в слое, снятом с поперечного шлифа покрытия, получали также методом микрорентгеноспектрального анализа. Содержание каждого элемента в изучаемой фазе определяли по соотношению интенсивности линий данного элемента в фазе и в 100 %-ном эталоне с введением соответствующих поправок. Предварительно анализируемые участки выявляли и оценивали с привлечением методов оптической металлографии, на базе компьютера, с помощью программы Image Expert Pro 3.0 Professional.

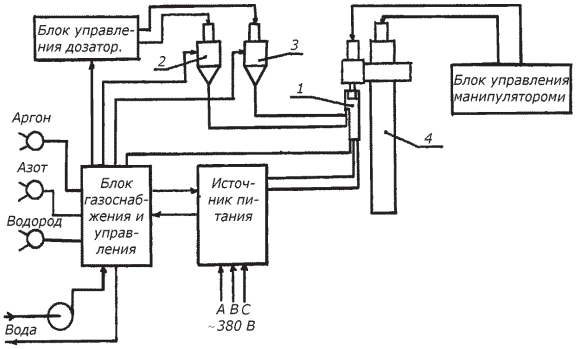
Содержание общего и свободного углерода определяли волюмометрическим методом. Определение углерода основано на сжигании навески в струе кислорода при (1173 – 1673) К в электрической трубчатой печи, улавливании образующегося диоксида углерода и пересчете его на количество углерода в порошке либо покрытии.

При напылении износостойких покрытий (TiC) 35 % Ni или (Cr_3C_2) 30 % Ni использовали композиционные материалы (КМ), состоящие соответственно из карбида титана или карбида хрома, плакированных никелем. В качестве механической примеси в исходных материалах использовали никелевый порошок и термореагирующий никель – алюминиевый порошок НА67.

Одним из важнейших результатов таких исследований было установление того факта, что получение покрытий с преимущественной структурой межкристаллитных границ, расположенных вдоль внешней поверхности изделия, значительно повышает большинство эксплуатационных характеристик всей системы покрытие-основа [1]. Было установлено, что такая структура, получившая по предложению авторов работы название мезоупорядоченная [8], может быть реализована на большинстве напыляемых материалов за счет выбора режима напыления [8,9].

Одним из примеров реализации такого подхода являются прикладные работы, выполняемые нами по ремонту входных кромок лопаток паровых турбин. С целью ремонта, упрочнения и восстановления лопаток турбин ТЭЦ без их демонтажа нами была разработана мобильная передвижная установка и технология

напыления, позволяющие увеличить долговечность наиболее напряженных деталей энергоустановок в 2 – 3 раза, снизить затраты на ремонт деталей и агрегатов энергоустановок в 10-ки раз, снизить простой энергооборудования в связи с ремонтом и отказами примерно в 20 раз, снизить вероятность возникновения техногенного воздействия на окружающую среду при отказах и авариях оборудования. Схема мобильной установки представлена на рис. 1.



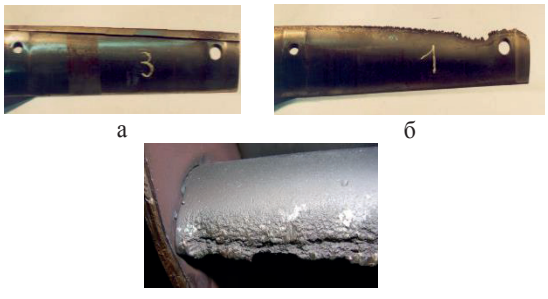
1 – плазмотрон; 2,3 – дозаторы; 4 – манипуляторы для перемещения плазмотрона

Рис.1. Схема установки для восстановления и упрочнения лопаток тепловых турбин ТЭЦ

Установка укомплектована сменными плазмотронами, дозаторами, манипуляторами собственной конструкции и позволяет проводить напыление равномерного покрытия на поверхности сложной формы (лопатки), в том числе без демонтажа и разборки энергетических турбин и других агрегатов.

Следует отметить, что установки такого типа в настоящее время промышленностью не выпускаются, а создание стационарных плазменных участков в местах дислокации крупногаборитных изделий экономически не выгодно.

Общеизвестно, что рабочие лопатки последних ступеней паровых турбин ТЭЦ, работающие в среде влажного пара, подвержены эрозионному износу вследствие ударного и кавитационного воздействия среды, особенно поверхность входной кромки [10].

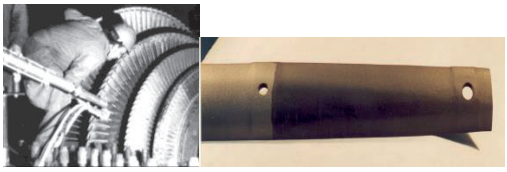


а б в

Рис. 2. Лопатка ротора турбины ТЭЦ: а – со стеллитовой пластиной; б – после потери стеллитовой пластины; в – вид повреждений и эрозии лопатки после эксплуатации без покрытия

На входной кромке вновь изготовленных лопаток имеются припаянные твердосплавные стеллитовые пластины, обеспечивающие защиту от эрозионного износа. После длительной эксплуатации лопаток в местах, где были пластины, возникает эрозионный износ в виде раковин, поверхностных и глубоких рисок, возможен отрыв стеллитовых пластин и повреждение лопаток турбины (рис. 2).Для ремонта входных кромок таких лопаток обычно требуется демонтаж турбины и припайка новых твердосплавных стеллитовых пластин. Этот процесс очень трудоемкий, т.к. требуется подгонка и припайка таких пластин к каждой лопатке.

Впервые такая работа по восстановлению входных кромок лопаток паровых турбин была выполнена нами более 20 лет назад на паровой турбине ЛМЗ ПТ60-130/13, на которой в силу аварийного износа была удалена последняя тридцатая ступень лопаток. В период капитального ремонта паровой турбины ПТ60-130/13 ст.№7 Новокуйбышевской ТЭЦ-2 при ее наработке 186000 часов было установлено, что на 90 % лопаток 29 ступени ротора турбины полностью отсутствуют стеллитовые пластины, на 10 % лопаток стеллитовые пластины остались в виде отдельных фрагментов, и на всех лопатках по месту отсутствия стеллитовых пластин имеются частичные эрозионные разрушения входной кромки. С целью уменьшения дальнейшего эрозионного износа входной кромки лопаток было принято решение об очистке поверхностей лопаток 29 ступени от остатков фрагментов стеллитовых пластин и напыления на входные кромки этих лопаток, находящихся в сборе в составе ротора турбины, двухслойного защитного покрытия плазменным газотермическим методом на мобильном оборудовании (рис. 3а), а на рис. 3б представлена восстановленная лопатка.



а б

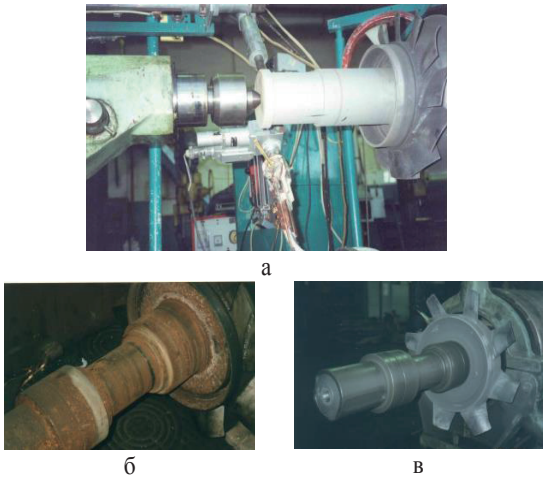
а – процесс восстановления; б – восстановленная наплавкой и плазменным покрытием лопатка ротора

Рис. 3. Восстановление рабочих лопаток 29 ступени ротора паровой турбины на ТЭЦ-2 (г. Новокуйбышевск) плазменным напылением на мобильной установке

С помощью мобильного плазменного оборудования проведено восстановление ротора электродвигателя насоса мощностью 2 МВт на Безымянской ТЭЦ (г. Самара) (рисунок 4а), ресурс эксплуатации которого к настоящему времени составляет десятки тысяч часов, а на рисунке 4б приведено исходное состояние ротора электродвигателя до, а на рисунке 4в после восстановления.

В период следующего капитального ремонта турбины при ее наработке 218544 часа был проведен визуальный осмотр рабочих лопаток 29 ступени при вскрытой крышке цилиндра низкого давления. Осмотр показал, что плазменное покрытие в межремонтный период 32544 часа выполнило свои защитные функции поверхности материала основы лопаток, то есть эрозии поверхности материала основы лопаток не было

обнаружено, а износ проходил по покрытию. При этом внешний защитный слой покрытия был сработан во всех местах кроме «спинки» лопаток, а первый защитный слой был сработан не полностью. Поверхность сохранившегося слоя на лопатках была гладкой, без следов острых выступов и глубоких каверн, характерных для эрозионного износа материала основы. В связи с этим лопатки 29 ступени были оставлены в составе турбины для их эксплуатации до следующего капитального ремонта



а – процесс восстановления с помощью мобильного плазменного оборудования; б – исходное состояние; в – после напыления покрытия толщиной около 1 мм

Рис. 4. Ротор электродвигателя насоса мощностью 2 МВт на Безымянской ТЭЦ (г. Самара):

II. Результаты

В результате осмотра проведенного при наработке турбины 280686 час. выявлено, что поверхность лопаток по месту нанесения покрытия по-прежнему являются гладкой без следов, характерных для эрозионного износа материала основы. На «спинке» лопаток по-прежнему остались сохраненными участки внешнего слоя защитного покрытия. То есть эти поверхности имеют внешний вид такой же или близкий к тому, который был при осмотре на предыдущем капитальном ремонте.

Таким образом плазменное покрытие на лопатках 29 ступени турбины ПТ 60-130/13 ст. №7 НК ТЭЦ-2 выполнило свои защитные функции материала основы лопаток от эрозии входной кромки в зоне фазового перехода и воздействия двухфазного высокоскоростного парогазового потока в период наработки 62142 часа (срок службы 10 лет). При этом лопатки предыдущих ступеней (28 и 27) без покрытия имеют более существенный эрозионный износ по входной кромке, который отсутствует на лопатках 29 ступени. Покрытие также показало лучшие защитные свойства по сравнению со стеллитовыми пластинами. Необходимо отметить, что полученные результаты по защите лопаток паровых турбин плазменными покрытиями и накопленных положительных опыт их эксплуатации в течении более 10 лет (ресурс более 62000 часов) являются пионерскими и не имеют аналогов в мировой практике машиностроения паровых турбин.

Физическая природа такого повышения эрозионной стойкости плазменных покрытий по сравнению с материалом основы лопатки или стеллитовых пластин связана во многом с особой мезоупорядоченной структурой покрытия, обеспечивающей ее демпфирование при ударе и другой механизм макроизнашивания при эрозии [1].

К настоящему времени работы по нанесению эрозионностойкого покрытия на две последние ступени (30 и 29 ступень) проведены на 9 турбинах ЛМЗ различных ТЭЦ. Полученные положительные результаты позволили предложить существенно более экономически эффективный режим эксплуатации лопаток ротора паровой турбины – по фактическому состоянию. При таком режиме эксплуатации на очередном плановом ремонте турбины проводится упрочнение лопаток плазменным покрытием без разборки ротора турбины. Стоимость таких работ не превышает 10 % стоимости нового комплекта лопаток напыляемой ступени ротора. На очередном плановом ремонте проводится дефектация состояния поверхности покрытия лопаток и принимается решение либо о продолжении их эксплуатации либо восстановлению покрытия. Главным элементом применения эксплуатации по фактическому состоянию является отсутствие существенных повреждений материала основы детали перед нанесением покрытий, так как эти повреждения являются концентраторами для развития усталостных разрушений материала основы лопаток и требуют дорогостоящей их замены на новые. Оценка такого режима эксплуатации по фактически полученным экспериментальным результатам позволяют прогнозировать повышение ресурса наиболее изнашиваемых лопаток 29 и 30 ступеней не менее, чем в 3 раза.

Авторы настоящей статьи в течение длительного времени на практических работах доказывают необходимость именно такого режима применения плазменных покрытий на ремонтируемых (восстанавливаемых) изделиях. Действительно, задача покрытия защитить материал основы дорогостоящих деталей изделий от изменения геометрии за счет износа или разрушения из-за развития глубоких повреждений в материале основы. При этом ставить задачу о поиске «абсолютно» стойкого материала покрытия не рационально, экономически не оправдано, а технически скорее всего невозможно. Задача покрытия обеспечить защиту материала основы на определенный межремонтный период изделия при допустимом износе самого покрытия, а задача технологии нанесения такого покрытия – обеспечить его восстановление при отсутствии существенных термических влияний на материал основы (которые, например, возникают при наплавке, пайке, сварке и т.д.) и стоимости работ, существенно более низкой, чем стоимость замены изношенной детали на новую

Выводы

В приведенных результатах на лопатках ротора паровой турбины износ покрытия толщиной 0,3 мм произошел за наработку более 62000 часов (более 10 лет эксплуатации) без повреждения материала основы лопаток, что позволяет провести на этих лопатках восстановление покрытия и обеспечить следующие 62000 часов (не менее) наработки. При этом стоимость технологии плазменного напыления составила около 10% от стоимости новой детали без учета стоимости необходимой для демонтажа, последующей сборки и балансировки ротора при установке нового комплекта лопаток. При этом надо отметить, что в данном случае первое нанесение покрытий было проведено на лопатках 29 ступени ротора турбины, которые были в эксплуатации и уже имели повреждения материала основы и вопрос стоял о том, что на следующем капитальном ремонте (через примерно 30000 часов наработки) их необходимо заменять на новые. То есть, чисто технический эффект повышения ресурса данного комплекта лопаток на этом этапе составляет 2 раза. При этом стоимость часа эксплуатации лопаток с покрытием, по сравнению со стоимостью часа эксплуатации лопаток без покрытия с учетом из замены уменьшена в 2,2 раза. Для, примера, после трехкратного такого восстановления ресурса этих лопаток нанесением покрытия стоимость часа их эксплуатации будет уменьшена более, чем в 7 раз.

В связи с этим в настоящее время авторы данной работы проводят активные консультации с разработчиками и изготовителями лопаток паровых турбин с целью введения технологии плазменного напыления на вновь изготавливаемые лопатки и директивного введения предложенного режима из эксплуатации по фактическому состоянию. Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что значительным резервом повышения эксплуатационных свойств плазменных покрытий и, как следствие, достижение значительных прикладных эффектов является управление их структурой в процессе напыления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс [Текст]. М.: Наука и технологии, 2005. - 452 с.

[2] Г.В. Бобров, А.А. Ильин, В.С. Спектор. Теория и технология формирования неорганических покрытий [Текст]. М.: Альфа-М, 2014. - 925 с.

[3] Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 с.

[4] Рыженков, В.А. Состояние проблемы и пути повышения износостойкости энергетического оборудования ТЭС [Текст] / В.А. Рыженков // Теплоэнергетика. – 2000. - №6. – С. 20-25.

[5] Лисянский, А.С. Обеспечение стойкости к каплеударной эрозии и фреттинг-коррозии лопаток паровых турбин за счет вакуумного ионно-плазменного упрочнения поверхности [Текст] / А.С. Лисянский, С.А. Тихомиров, О.Н. Симин, Т.А. Чижик [и др.] // Энергомашиностроение. – 2005. – №2-3. – С.43-53.

[6] Смыслова, М.К. Исследование и разработка комбинированных ионно-плазменных технологий, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств лопаток газовых и паровых турбин [Текст] / М.К. Смыслова // Уфа: Вестн. УГАТУ. – 2004. – Т.5. - № 3(11). – С. 67-83.

[7] B.S. Mann, Vivek Arya. HVOF coating and surface treatment for enhancing droplet erosion resistance of steam turbine blades [Текст] // Wear, 2003.-Vol.254, Issues 7–8.- P. 652-667

[8] Барвинок В.А. Физическое и математическое моделирование процесса формирования мезоструктурно-упорядоченных плазменных покрытий [Текст]/ В.А. Барвинок, В.И. Богданович // Журнал технической физики.- 2012.- Т.82.- выпуск 2.- С. 105 -112.

[9] Barvinok, V.A. Mathematical modeling of spray material acceleration and heating during the formation of plasma cluster coatings [Текст]/ V.A. Barvinok, B.I. Bogdanovich, I.A. Dokukina, A.V. Barvinok, G.Z. Bunova, V. Cingoski // Wulfenia Journal, 2014.-Vol.21.- №2.- P. 94-103

[10] Перельман, Р.Г. Эрозия элементов паровых турбин [Текст] / Р.Г. Перельман, В.В. Пряхин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.

Использование специального программного обеспечения для анализа технологии изготовления деталей летательных аппаратов из листового материала

С.В. Белых[1], С.И. Феоктистов[1], Л.Е. Усейкин[1], А.В. Станкевич[2], В.В. Мироненко[3]

[1] Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, Belykhsv@knastu.ru
[2] Филиал ОАО "Компания "Сухой" "КнААЗ им. Ю.А. Гагарина" РОССИЯ, 681018
[3] Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет; РОССИЯ, 664074

Реферат **– В работе представлены результаты анализа процесса изготовления детали авиационного назначения из листового материала. Определены технологические решения, обеспечивающие изготовление детали с учетом минимизации трудоемкости и цикла изготовления. По результатам моделирования предложены рекомендации по изменению конструкции детали.**

Ключевые слова **- Обработка металлов давлением, формообразование, листовой материал, формообразующая оснастка, эластичная среда, математическая модель, Pam-Stamp**

I. Введение

Одним из существенных факторов, определяющих сроки и трудоемкость производства объектов авиационной техники, их качество и в конечном итоге конкурентоспособность, становится технический уровень производственно-технологической среды. Отработка и внедрение на производстве технологии изготовления новых деталей и изделий требует глубокого конструктивно-технологического анализа, обеспечивающего минимизацию рисков принятия неверного решения. Основой конструктивно-технологической проработки может быть численный анализ технологического процесса. Моделирование процесса изготовления деталей с применением современных расчетных программных продуктов позволяет оценить и проанализировать ход процесса и еще на стадии технологической отработки определить возможные дефекты.

II. Результаты

Рассмотрим некоторую деталь (рис.1), для которой необходимо принять решение о возможности ее изготовления и выбора наиболее целесообразного, с технико-экономической точки зрения, процесса изготовления. Материал детали - АМг6БМ л. 2,0. Наиболее сложной частью детали является ее носовая часть (наиболее узкая), здесь имеет место глубокая вытяжка металла.

Рассмотрим возможность изготовления детали с использованием процессов формообразования эластичными средами. Такой процесс позволяет изготовить деталь с наименьшими затратами на подготовку производства. В процессе анализа будем оценивать возможность появления таких производственных дефектов, как гофрообразование, чрезмерное утонение (более 20%), разрыв материала и др. В качестве инструмента для проведения анализа используем специальное программное обеспечение для моделирования процессов листовой штамповки Pam-S[illegible] [illegible]рмы ESI Group.

а)

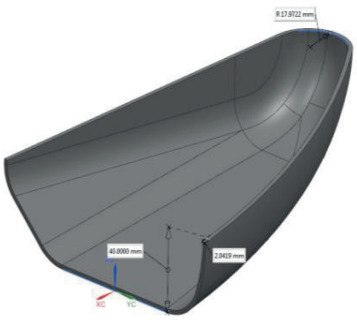


Рис. 1. Электронная модель детали

Типовым решением по реализации процесса изготовления листовых деталей подобного вида является формообразование эластичным пуансоном по жесткой матрице [1]. Форма заготовки для дальнейшего анализа получена путем разворачивания детали на плоскость с использованием инструментов программы Pam-Stamp [2]. Результаты моделирования такого процесса и предварительного формообразования детали представлены на рис. 2.

а)

б)

а) Результаты моделирования процесса формообразования в Pam-Stamp
б) Результаты формообразования детали
Рис. 2. Результаты изготовления детали эластичным пуансоном по жесткой матрице.

Из рисунка 2 видно, что в процессе формообразования в зоне наименьшего радиуса образовалась складка (гофра), что подтверждено как результатами численного анализа, так и путем проведения натурных экспериментов по изготовлению детали. Для предотвращения образования гофров в носовой части детали необходимо создать растягивающие деформации в металле путем дополнительного нагружения края заготовки. Отчасти такое нагружение может обеспечить использование неподвижной прижимной опоры (НПО) в дополнение к ранее использованной оснастке [1, 3, 4].

В соответствии с технологическими рекомендациями [1, 3, 4] определены форма и размеры НПО, спроектирована модель формблока с НПО (рис. 3).

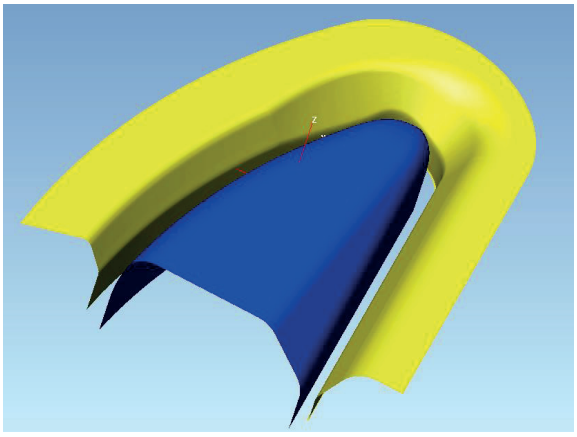


Рис. 3. Модель формблока с НПО

Анализ полученных результатов расчета показал что:

В носовой части материала наблюдается неприлегание заготовки к формообразующей оснастке (рис. 4), связанная со сложностью затекания резины в узкое пространство между формблоком и НПО;

– увеличение этого расстояния приводит к преждевременному соскальзыванию заготовки, т.е. НПО своих функций выполнить не может;

– диаграмма ограничений формуемости показывает наличие разрывов в металле.

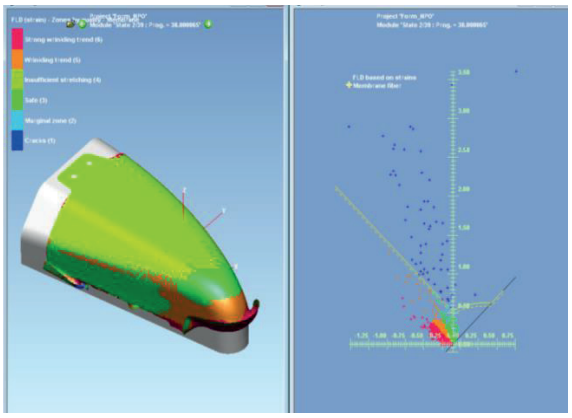


Рис. 4. Диаграмма ограничений формуемости

Рассмотрим процесс изготовления детали вытяжкой. Для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур путем соединения двух деталей. В процессе моделирования выявлена проблема, связанная со сложностью затекания металла в узкую носовую часть матрицы. Высокое давление эластичной среды на заготовку, требуемое для получения детали, приводит к разрыву заготовки. Предотвращение данного технологического брака возможно путем использования технологии вытяжки в жесткую матрицу с использование жесткого пуансона, а для предотвращения образования гофров во фланцевой части детали используется прижим.

В результате моделирования с учетом особенностей материала процесс разбит на пять переходов по глубине хода пуансона (рис. 5). После каждого перехода проводится термообработка (всего 4 термообработки).

Анализ полученных результатов расчета показал что:

– добавление промежуточных термообработок позволило обеспечить допускаемую степень деформации;

– диаграмма ограничений формуемости не показывает появления трещин в ходе вытяжки в носике и в середине детали;

– максимальные деформации (18%) не превышают допустимые 20%.

Другими словами данную деталь возможно изготовить данным способом, однако организация такой технологии потребует достаточно больших затрат на изготовление оснастки, а наличие пяти технологических переходов увеличивает трудоемкость и цикл изготовления детали.

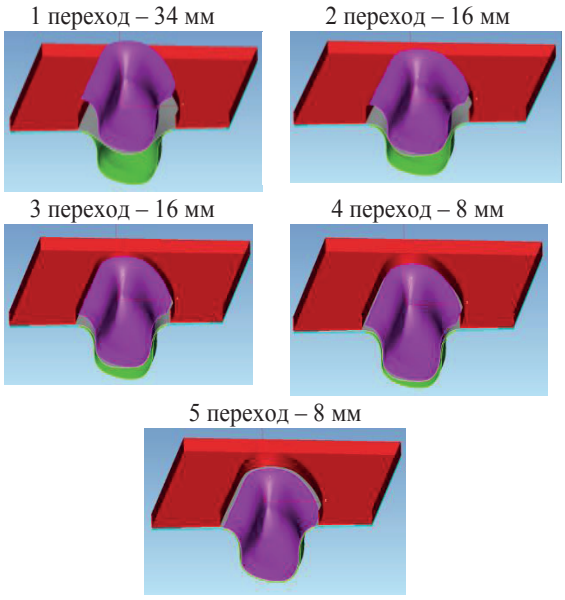


Рис. 5. Схема вытяжки в жестких штампах с применением прижима

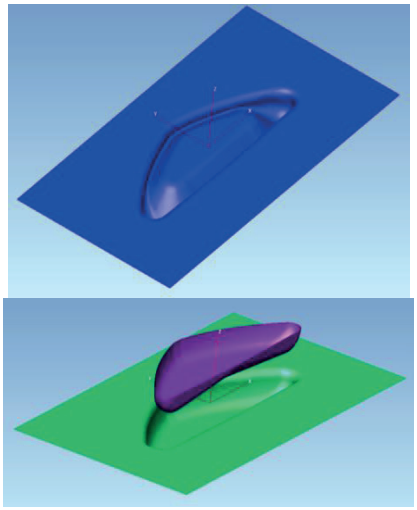


Рис.6. Модель формблока для реализации вытяжки

Анализируя особенность течения металла в процессе формообразования под воздействием давления со стороны эластичной среды видно, что в первую очередь происходит вытяжка в более широкой части детали, а ее носовая часть формируется уже только за счет растяжения заготовки, что и приводит к ее чрезмерному утонению и разрыву. Рассмотрим возможность изменения процесса течения металла путем использования специального вкладыша, обеспечивающее затекание материала в носовую часть детали и предотвращение формообразования в широкой ее части. В соответствии с требованиями определены форма и размеры вкладыша, спроектирована модель формблока для реализации вытяжки (рис. 6) [5, 6].

В результате процесс формообразования разбит на четыре перехода (табл. 1). После 2 и 3 переходов проводится термообработка (всего 2 термообработки).

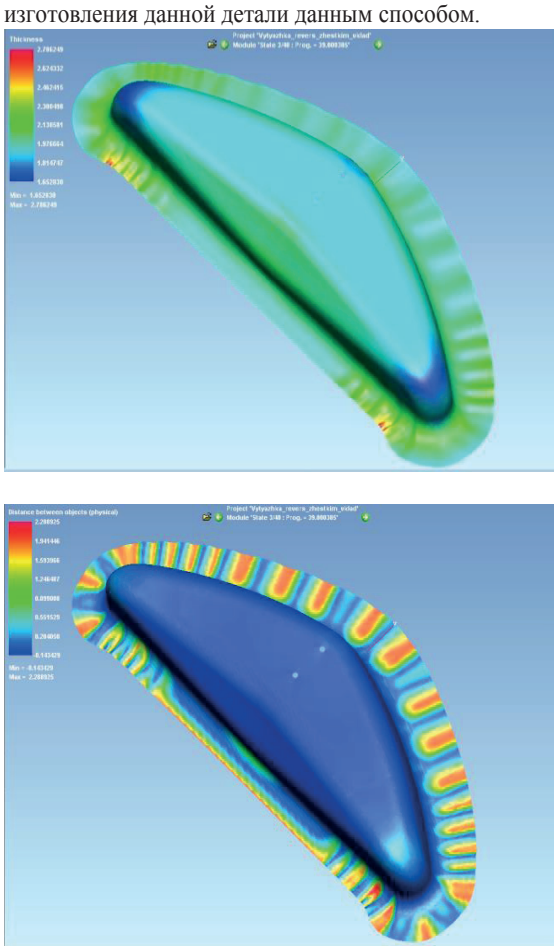
Анализ полученных результатов расчета (рис. 7) показал что:

– расчетное максимальное утонение составляет 18,5% (меньше максимально допустимых 20%);

– диаграмма ограничений формуемости не показывает появления трещин в ходе вытяжки в носике и в середине детали;

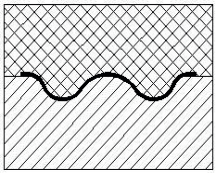
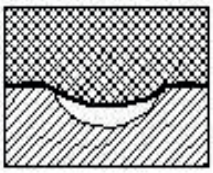
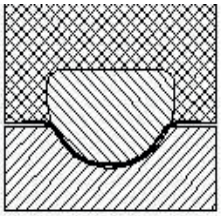
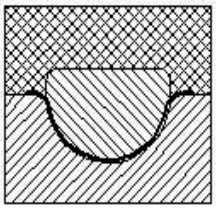
– максимальное расчетное неприлегание детали к оснастке составляет менее 0,1 мм по всей поверхности детали и 2,28 мм на фланцевой зоне.

На основании полученных результатов моделирования был изготовлен комплект формообразующей оснастки. На рис. 8 показан результат формообразования детали в соответствии с разработанным технологическим процессом. Полученные результаты доказывают возможность изготовления данной детали данным способом.



а) Распределение толщин на готовой детали.
б) Диаграмма неприлегания детали к оснастке.
Рис. 7. Результаты моделирования процесса изготовления детали вытяжкой с использованием вкладыша.

Таблица 1. Последовательность переходов в процессе формообразования

№	Содержание операции	Эскиз
1.	Формообразование листовой заготовки в матрицу с реверсивным вкладышем, в результате формировалось углубление небольшой высоты с рифтами.	
2.	Формообразование листовой заготовки в матрицу без реверсивного вкладыша, в результате полученные на этапе 1 рифты выправляются.	
3.	Формообразование листовой заготовки в полость с использованием жесткого вкладыша.	
4.	Формообразование листовой заготовки на всю глубину детали с использованием жесткого вкладыша.	

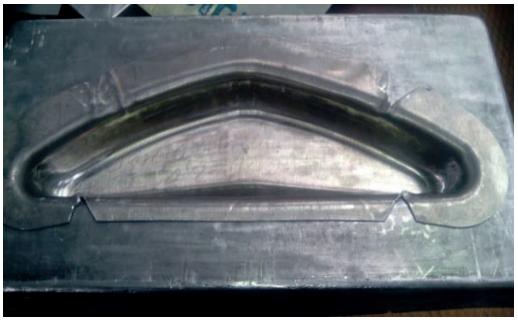


Рис.8. Результат формообразования детали

Выводы

Не смотря на полученный результат можно сделать заключение о сложности изготовления данной детали. С целью снижения затрат на изготовления детали необходимо изменить ее конструкцию – увеличить радиус и уменьшить глубину в носовой части. В этом случае можно добиться изготовления детали за один переход, что приведет к снижению затрат на изготовление детали и снизит вероятность появления брака в процессе изготовления. Проведенная конструкторско-технологическая проработка позволила

значительно сократить срок подготовки производства и отработки технологии изготовления детали.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ершов, В.И. Листовая штамповка: Расчет технологических
[2] параметров: Справочник / В.И. Ершов, О.В. Попов, А.С. Чумадин и др. – М.: Изд-во МАИ, 1999 – 516 с.
[3] Белых, С.В. Расчет разверток деталей с учетом изменения
[4] толщины листа в результате формовки / С.В. Белых, В.В. Мироненко, А.А.
[5] Чеславская // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета № 1 (17) 2014 «Науки о природе и технике» с. 13-17
[6] ОСТ 1,41521-75 – Штамповка-вытяжка с неподвижной прижимной опорой и гибка-формовка листовых деталей эластичной средой на гидропрессах.
[7] ОСТ 1.51813-75 – Оснастка для штамповки-вытяжки листовых деталей эластичной средой на гидропрессах. Неподвижная прижимная опора. Конструкция и размеры.
[8] Исаченков Е. И. Штамповка эластичными и жидкостными средами. – М.:Машиностроение, 1976. 206 с.
[9] Максименко Н.В., Шмаков А.К. Поиск рациональной схемы эластоформования листовых деталей сложной формы с помощью средств инженерного анализа. – Иркутск: Вестник ИрГТУ №12(83) 2013.

Особенности подготовки производства для автоматизированного изготовления узких и длинных обшивок на прессах поперечной обтяжки

С.В. Белых

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, knastu@knastu.ru

Реферат **– Рассмотрены основные этапы расчета и формирования управляющих программ (УП) для прессов поперечной обтяжки типа FET. Представлены возможные последствия не правильного позиционирования обтяжного пуансона в рабочем пространстве пресса. Предложен метод анализа траектории движения губок пресса по данным, полученным из УП. Рассмотрен пример влияния позиционирования обтяжного пуансона на процесс обтягивания узкой детали.**

Ключевые слова **- пуансон, обтяжка, моделирование, кинематическая схема, технологическая подготовка производства,**

I. Введение

Программно-аппаратные средства CALS активно внедряются на всех стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦИ) авиационной техники, в том числе и на стадии технологической подготовки производства [4].

Согласно исследованиям, внедрение CALS-технологий в авиационной промышленности США [3] позволило сократить длительность разработки изделий на 40...60%. При этом относительное сокращение длительности разработки более существенно, чем относительное сокращение стоимости (10...30%). Помимо сокращения длительности предпроизводственных стадий ЖЦИ, важно и сокращение риска появления необходимых конструктивных изменений, доработок, исправления ошибок, и т.п.

Технологическая подготовка производства (ТПП) – совокупность мероприятий, обеспечивающих наличие на предприятиях полных комплектов конструкторской и технологической документации, а также средств технологического оснащения (СТО), необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями [1]. Внедрение нового оборудования для изготовления деталей летательного аппарата из листов на обтяжных прессах типа FET (фирма ACB, Франция), оснащенных числовым программным управлением (ЧПУ), требует нового подхода к проектированию элементов технологического оснащения.

II. Результаты

Для успешного изготовления деталей методами обтяжки на прессах с ЧПУ необходимо решить следующие задачи:

1. Конструкторская проработка геометрии обтяжного пуансона.

2. Определение оптимальных размеров заготовки, позволяющих изготовить качественную деталь при наименьшем расходе материала.

3. Провести моделирование процесса формообразования заготовки с учетом всех особенностей процесса (свойства материала, пружинение и др.). Результатом этого процесса являются управляющие программы для ЧПУ пресса и требования по форме и месторасположению обтяжного пуансона в рабочем пространстве пресса.

Расчет и формирование УП для ЧПУ обтяжного пресса типа FET производится с использованием специальной программы S3F (рис.1), предоставляемой фирмой ACB. Входными данными для дальнейшего расчета является геометрия обтяжного пуансона. При подготовке файла геометрии необходимо систему координат из произвольной точки основания перенести в характерную точку основания пуансона (например, угол или середина одного из ребер основания), которую легко найти на пуансоне. В дальнейшем эта точка будет использоваться для определения положения пуансона на

столе пресса как в программе S3F, так и на реальной машине.

Для расчета и формирования УП необходимо задать ряд параметров процесса формообразования, которые разделены на следующие группы:

- свойства материала;
- значение коэффициента трения;
- размеры заготовки;
- условия термообработки;
- параметры размещения пуансона на столе пресса;
- технологические условия процесса.

Свойства материала заготовки и значение коэффициента трения между заготовкой и обтяжным пуансоном определяются из конструктивных соображений и технолог не вправе варьировать этими значениями в расчете. Условия термообработки и коэффициенты, определяющие технологические условия процесса формообразования, позволяют технологу наиболее оптимально разработать технологический процесс обтяжки путем анализа цветовой диаграммы деформаций и напряжений.

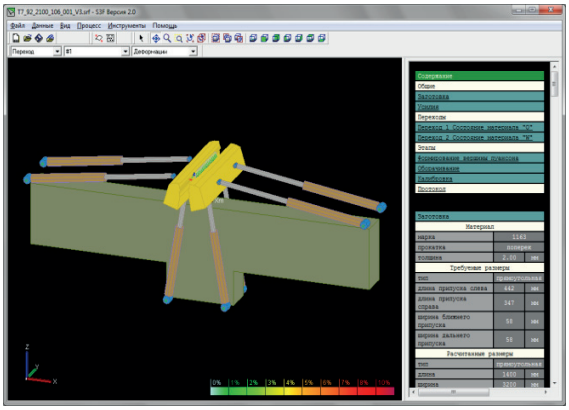


Рис.1. – общий вид программы S3F.

Оставшиеся две группы параметров (размеры заготовки и параметры размещения пуансона на столе пресса) мало влияют на процесс формообразования, но в значительной степени изменяют траекторию движения рабочих органов пресса (обтяжных губок). Возможны случаи, когда неправильно выбранные параметры размещения пуансона и размеров заготовки могут привести к контакту обтяжных губок пресса с технологической подставкой под пуансон. Программа S3F не предоставляет инструментов для проведения такого анализа, это в результате, приводит к тому, что данного рода явления проявляются только при отработке процесса обтяжки реальной детали на прессе и как следствие ведут к дополнительным затратам и увеличению времени на технологическую подготовку и отработку технологии. В этом случае встает задача оптимизации этих параметров.

Для решения этой задачи произведен анализ кинематики пресса FET, по результатам которого определены переменные и постоянные параметры, позволяющие преобразовать управляемые координаты вылета гидроцилиндров пресса в координаты любой точки обтяжных губок в декартовой системе координат [2]. На основании разработанной математической модели была создана программа, позволяющая автоматизировать обработку УП (рис.2).

Рассмотрим процесс позиционирования пуансона и определения размеров заготовки на примере определенной детали – обшивка лобовой части крыла (рис. 3). Пусть система координат модели пуансона установлена в центре его основания, а параметры заготовки приняты таким образом, чтобы она располагалась симметрично относительно оси симметрии пресса. Произведем расчет УП с использованием программы S3F. В результате имеем предложенный программой S3F процесс обтяжки в два перехода (рис. 4).

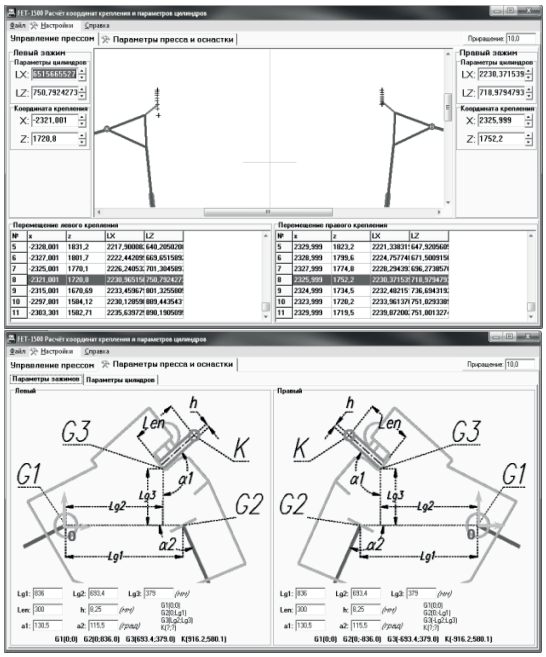


Рис. 2. - Интерфейс программы обработки управляющих программ для ЧПУ FET

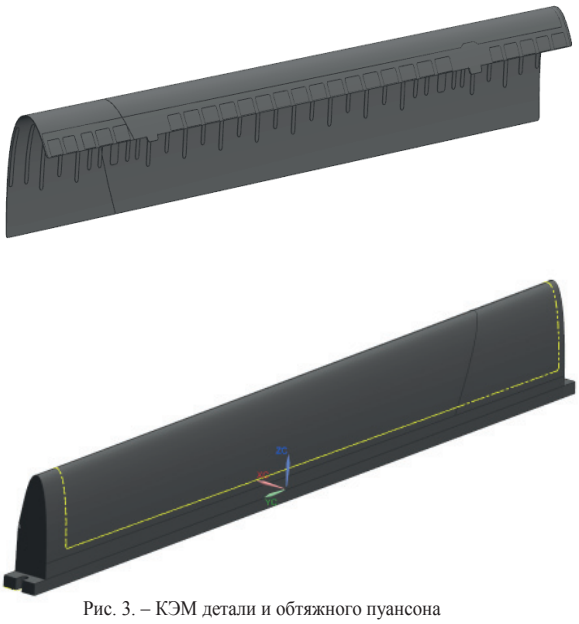
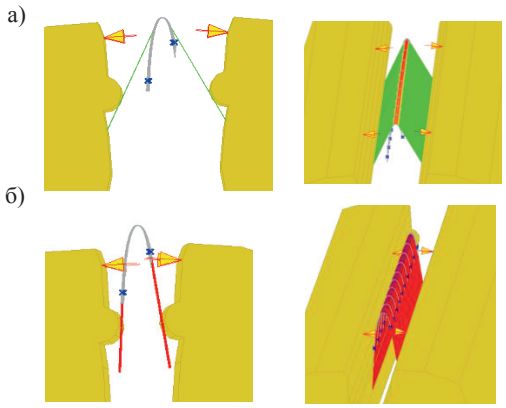


Рис. 3. – КЭМ детали и обтяжного пуансона

Попробуем оценить полученный результат. Для этого произведем перерасчет полученных кадров УП в координаты траектории губок пресса. В результате имеем четыре траектории, по одной для каждой пары гидроцилиндров (XRF и ZRF, XRR и ZRR, XLF и ZLF, XLR и ZLR). Так как пуансон имеет небольшую конусность, то имеет смысл анализировать положение губок пресса только в наиболее узкой части пуансона. Для дальнейшего анализа используем любую CAD программу, например AutoCAD, в которой восстановим геометрию обтяжных губок, траекторию их движения в данном сечении, форму пуансона и подставки под него.

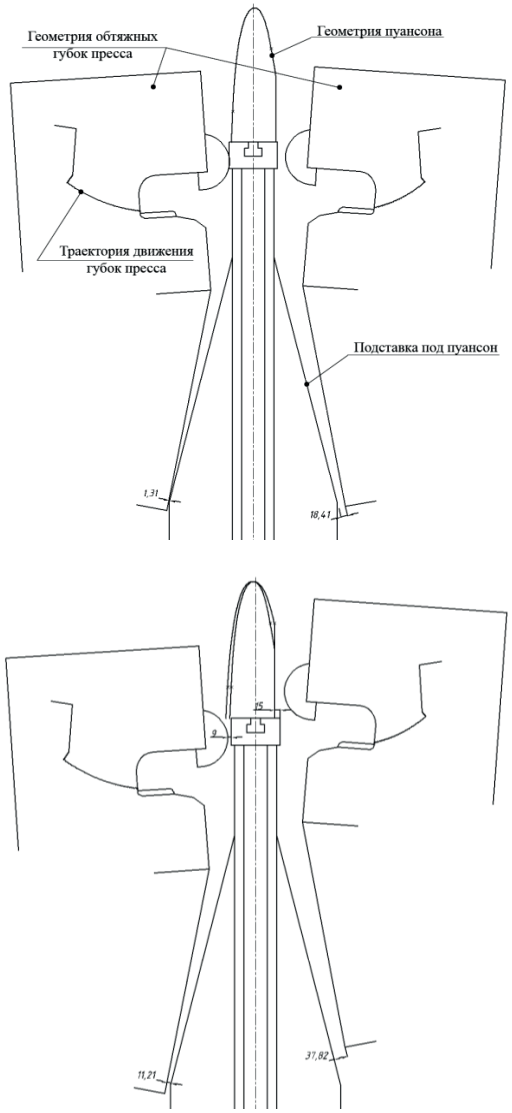
Из полученной схемы (рис. 5а) видно, что губки пресса с левой стороны касаются или приближаются критически близко к подставке под пуансон. Пуансон следует сместить влево, однако расстояние от правой губки пресса до подставки не особо велико и не дает большой возможности смещения пуансона. Для увеличения возможности по смещению пуансона можно уменьшить припуск заготовки с правой стороны, что приведет к смещению траектории движения правой губки пресса вверх. В результате отработки получаем такое положение пуансона, а также размер и положение и заготовки, при которых в крайней точке обтяжки имеется гарантированный зазор между обтяжными губками пресса и элементами технологического обеспечения процесса обтяжки (рис. 5б).



а) –первый переход формообразования
б) – второй переход формообразования
Рис. 4. – Результаты расчета процесса обтяжки в программе S3F

Выводы

Предложенный метод анализа процесса изготовления деталей на прессах поперечной обтяжки типа FET позволяет еще на стадии технологической подготовки производства выявить и предотвратить возможные столкновения рабочих органов пресса и элементов технологического оснащения, путем оптимального выбора положения обтяжного пуансона и заготовки, что, в свою очередь, позволит сократить цикл отработки технологического процесса изготовления детали и исключить затраты на доработку технологической оснастки. Здесь приводятся основные выводы по работе.



а) – первоначальное положение пуансона и заготовки
б) – скорректированное положение пуансона и заготовки
Рис. 5. – Положение губок пресса относительно элементов технологического оснащения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Братухин, А.Г. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А.Г. Братухин. - М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. - 608 с.

[2] Кривенок, А.А. Формообразование профильных заготовок с помощью листового обтяжного пресса. / А.А. Кривенок, А.В. Станкевич, С.И. Феоктистов, Р.Ф. Крупский, С.В. Белых. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. - 2013. - № II - 1(14) – С. 4–8

[3] Одинг, С. С. Управление процессом формообразования обшивок двойной кривизны на обтяжном оборудовании с программным управлением // Изв. Вузов. Авиац. Техника. – 1987. – № 3. – с. 47-51, – № 4. – с. 39-43.

Испытания коррозионной стойкости алюминиевых сплавов в условиях приморского субтропического климата

О.Ш. Бердиев[1], Ю.П. Денисенко[2], В.Г. Добржанский[3], Ю.Ф. Огнев[1], Н.Е. Душина[4]; В.И. Сергиенко[3]

[1] Арсеневский филиал Дальневосточного Федерального университета, Арсеньев, РОССИЯ;
[2]ОАО Арсеньевская авиационная компания «Прогресс», Арсеньев, РОССИЯ;
[3]Институт химии Дальневосточного отделения Российской Академии Наук, Владивосток РОССИЯ;
[4]ПАО Филиала «Компания «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре авиационный завод им. Ю.А. Гагарина»

***Реферат* – при эксплуатации военно-транспортных и гражданских самолетов в тропическом и морском климате высоки риски коррозионного повреждения.**

Основная причина: - в контактной коррозии между различными материалами, степени термической обработки и пластической деформации; - эксплуатации техники в прибрежных районах тропических и субтропических зон Юго-Восточной Азии и тяжёлых климатических условиях (Китай, Вьетнам, Индия).

Постановка задачи: - выявление основных причин контактной коррозии между различными материалами, степени термообработки и их пластической деформации.

Поведение повреждений детали с поверхностью покрытой твердыми защитными слоями:

- стальных кадмированных деталей или без лакокрасочного покрытия (ЛКП): пружин; стальных элементов крепления; закладных гаек; соединителей трубопроводов;

- трубопроводов из алюминиевых сплавов, с повреждениями от нарушения равномерности слоя ЛКП или в зоне контакта с внутренней поверхностью крыла ЛА.

***Ключевые слова* - коррозионные повреждения; Субтропическая и тропическая зоны; Азия; Приморские районы; южные области; Китай, Вьетнам, Индия, эксплуатация и хранение авиационной техники; работоспособность авиационной техники (АТ); узлы; изделия АТ.**

I. Введение

Приморские районы Южной Азии (Китая, Вьетнама и Индии) характеризуются одними из наиболее жестких условий эксплуатации и хранения авиационной техники. Летательные аппараты, эксплуатируемые в тропическом и морском климате, подвержены особенно значительным коррозионным поражениям. Поставки авиационной техники в Юго-Восточную Азию диктуют необходимость обеспечения работоспособности авиационной техники (АТ) [1].

II. Основная часть

Анализ обследования авиационной техники (АТ), показал, что основной причиной коррозионных повреждений является контактная коррозия между разнородными материалами, а также для контактных пар из однородных материалов, но имеющих различную степень пластического деформирования или термообработки, корродирующих по механизму контактной коррозии [2]. При этом инициация развития РСК происходит, в основном, в местах контакта разнородных материалов при отсутствии электрической «развязки», в листовых и других конструкциях в областях повышенной остаточной деформации металла [3], [4]. Коррозии подвержены защитные покрытия и крепежные изделия, контактные пары: нержавеющая сталь класса 18-8, сплавы титана, высокопрочные стали и т.д. с другими сплавами. Расслаивающей коррозии (РСК) [5] подвержены стрингеры, панели крыла, фюзеляжа и стабилизатора; кронштейны навески рулей, главных ног и створок опор шасси. Эксплуатационное разрушение ЛКП в результате эксплуатации создаёт дополнительно условия для усиления коррозии. Для испытаний в субтропических условиях применяется климатическая камера в морском коррозионным центре ИХ ДВО РАН в бухте Рында на острове Русском.

В камере образцы испытывают в кювете с естественной морской водой погруженными на глубину 45 -70 мм от поверхности положении, так чтобы уровень воды был выше верхнего края крепежного элемента. По составу и солености применяемая вода близка к океанской: 32…35%, pH 6,8; 7,2. В присутствии морского тумана в камере поддерживаются относительная влажность 95—98%; температура - регулируемым подогревом t =27 ± 2 °C; дневная доза УФ облучения - управляемым включением бактерицидной лампы [6].

Проведены также испытания на контактную коррозию по применению микродугового оксидирования МДО [7]. Оксидирование коррозионной пары, состоящей из алюминиевого сплава (анод) в контакте с катодом из

титанового сплава ВТ20 со сплавами Д16, Д19, 1441, В95 и АМг 5. Оксидирование проводилось в полностью собранном состоянии (неразъёмное соединение заклёпкой из АМг5). Результаты показали, что пленка МДО толщиной 20 мкм имеет достаточную стойкость.

Цель исследований – ускоренные сравнительные испытания стойкости к общей коррозии образцов сплавов, в том числе сплавов 1441 и 1163, защищенных только анодным оксидированием (без ЛКП) для проверки воздействия эксплуатационного разрушения ЛКП. Образцы для испытаний были изготовлены по технологии серийного предприятия и прошли операции анодного оксидирования

III. Выводы

При испытаниях определено, что состояние плакированного слоя у листов сплава 1441 в состоянии поставки имеет низкое качество и не обеспечивает коррозионной стойкости; стойкость листового материала сплава 1441, ниже, чем у сплава 1163.

Для обоих сплавов коррозия в подводной зоне и переменного смачивания на затененной стороне выше, чем на освещенной стороне, но ниже, чем на освещенной стороне на влажной от оседания тумана поверхности и в затененной части образцов коррозия значительно выше, чем освещенной;

Сравнительные электрохимические исследования образцов обоих сплавов после испытаний показали, что у покрытия сплава 1163 в верхней (атмосферной влажной части) происходит пробой при +1,1 В, в средней части (зона переменного смачивания) при +1,3 В, в подводной части пробой не происходит до +1,5 В; у покрытия на сплаве 1441 пробой происходит после возрастания плотности тока на порядок, но увеличение плотности тока начинается уже с напряжения +0,5 В для атмосферной и подводной частей образца В, причем плотность тока в подводной частей образца увеличивается с $4*10^{-9}$ до $2*10^{-7}$ А/см^2 при изменении напряжения от +0.5 В до +1.2 В и достигает насыщения. Для атмосферной части пробой происходит после значительного увеличения плотности тока при напряжении +1.4 В

IV. Рекомендации

Для снижения контактной коррозии в сочленении деталей рекомендуются следующие мероприятия. В грунт ЭП-076 или ЭП-0215, предназначенный для защиты места посадки крепежа, добавить мелкодисперсный порошок инертного пластического материала (ИПМ) с размером частиц 2-3 мкм до 50% по объёму (ПВХ). Вязкость композиции повышается незначительно, адгезия грунта к поверхности не ухудшается. ИПМ при затяжке внедряется в микронеровности покрытия и создаёт изолирующую пленку. Этим обеспечивается лучшая изоляция. Заменить стальной крепеж на титановый для установки в соединениях, в которых это допустимо по условиям обеспечения требуемой прочности. Желательно заменить покрытие заклёпок Ан.окс.н.хр. на покрытие МДО твердое. Испытания показали, что такое покрытие обеспечило в морской воде высокое омическое сопротивление между заклёпкой и пластиной сплава 1441 R > 2 кОм.

На поверхность высокосрезных заклёпок из алюминиевых сплавов следует наносить покрытие МДО – твердое, сборку производить с применением грунта с ИПМ.

Под головку и гайку стальных болтов или винтов устанавливать прокладки (шайбы) из титановой фольги ВТ1-0 (толщина 0.1 … 0.2 мм) оксидированные МДО твердое + грунт с ИПМ. Прокладки обеспечивают более легкое закручивание резьбового соединения, предохраняют покрытие листа от разрушения и создают высокую изоляцию. Начальное электрическое сопротивление между пластинами более 20 МОм.

Большегабаритные детали из титановых и алюминиевых сплавов оксидировать МДО на режиме «под покраску» с нанесением утвержденных ЛКП. Внутреннюю резьбу в таких деталях обработать МДО на месте, или применять титановый крепеж с МДО твердое с грунтованием в смеси с ИПМ.

Для внутренних поверхностей деталей применять оксидирование МДО «под окраску», как более прочную, обеспечивающую адгезию и технологичность нанесения.

Провести сравнительные испытания в натурной морской воде в камере морского тумана в полупогруженном состоянии (нижний край образцов погружен в морскую воду на 8-15 мм) при относительной влажности 95—98% и температуре 25 – 30 °С с дозой ультрафиолета

V. Требования и выбор региона испытаний

Образцы были установлены под углом 45 градусов к горизонту; нижний край образцов погружен в морскую воду на 8-10 мм. Для ускорения процесса испытаний заказчиком было принято решение повысить температуру до 29 ±2 0С. Доза ультрафиолетового облучения (задавалась таймером 3 раза по 10 мин в сутки), соответствует суммарной дозе УФ летнего дня на широте юга Приморья. Дважды в сутки образцы опрыскивают из пульверизатора мелкодисперсным потоком натуральной морской воды для имитации условий морского тумана

Сравнение основных климатических и аэрохимических характеристик показало, что коррозивность атмосферы МКЦ г. Владивостока значительно выше, чем в Нячанге (Южный Вьетнам), Геленджике (Россия) и Батуми (Ю. Причерноморье Грузии).

При температуре воды ниже 22 ^{0}С - испытания проводятся в климатической камере при относительной влажности 95—98% и температуре 18 - 25°С.

Образцы имели размеры 100 х 50 х (от 1,0 до 2,0 мм^3).

Образцы были изготовлены одновременно с деталями обшивки АТ и прошли операции анодного оксидирования по применяемой на предприятии технологии. Толщина покрытия 8-9 мкм. Лакокрасочные защитные покрытия на них не наносились

Осмотр внешнего вида образцов проводился с отметкой длительности до появления первых коррозионных поражений, а также вида и их размеров (с фоторегистрацией).

Испытания образцов проводились в затененных условиях, характерных для скопления влаги в нижней части конструкции в пластмассовой (оргстекло) кювете, образец соединения частично был погружен в «свежую» морскую воду.

Средняя толщина изолирующего покрытия (хим. окс.) в зонах определялась вихре токовым методом на приборе ВТ201, и составила: 9 мкм исходная, от 8 до 9 мкм (среднее 8,8) - в атмосферной; - в зоне капиллярного смачивания (несколько выше уровня жидкости) ≈ 6 мкм; и 5,6 мкм – в подводной зоне. Состояние поверхности образца до и после испытаний оценивалось визуально под микроскопом «MICROS» Austria при увеличениях от 4$^{\times}$до 8$^{\times}$, при необходимости - до 56$^{\times}$.

VI. ИСПЫТАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СПЛАВОВ

Испытывались соединения оксидированных пластин с покрытием грунтом ЭП-0215, соединенных с помощью болтов и заклепок. Болты изготовлены из титанового сплава с оксидным газотермическим покрытием; под головку болта и гайки устанавливались шайбы алюминиевые 0.3 мм с МДО – покрытием. Болты укорочены, торцы болтов покрыты ЭП-0216 с 50 % наполнителем - порошком пластического инертного материала (ИПМ) с размерами частиц Ø2…5 мкм. Заклёпки - из сплава АМг5 также оксидированы методом МДО [8]. В отверстие под заклёпку вводились грунтовки ЭП-0215 или ЭП-076 как с 50 % добавкой инертного пластического материала ИПМ (типа ПВХ). Образцы соединений, изготовленные на предприятии, после сборки покрываются защитным покрытием по штатной схеме согласно инструкции по защите деталей внешнего контура. Образцы, собираемые в соединения в Институте химии (ИХ ДВО РАН), покрываются защитным покрытием на месте: местное химическое оксидирование + грунтовка ЭП-0215 в 1 слой. Испытания проводились в камере морского тумана в естественной сменной морской воде в полупогруженном положении при относительной влажности 95—98% и температуре 27 – 30 °С и необходимой дозой УФ облучения, соответствующей дозе солнечного летнего дня на широте юга Приморья, что соответствуют жестким условиям испытаний на общую коррозию в морской атмосфере [6].

Испытания на контактную коррозию МДО покрытия коррозионных пар: сплав ВТ20 со сплавами Д16, Д19, 1441, В95 и АМг5, показали, что оксидная пленка МДО толщиной 20 мкм, нанесенная совместно с обеими контактными пластинами, имеет достаточную стойкость даже в таких жёстких условиях испытаний.

Испытание контактных пар АМг5 + АМг5, АМг5 и ВТ20 + заклёпка из АМг5, оксидированных методом МДО совместно после сборки, покрытие «под окраску». Заклёпка Ø=2,8 мм АМг5; Вид узла АМг5+ АМг5, заклёпка d=2,8 из Мг5, совместное нанесение МДО-покрытия «под окраску»; испытано в морской воде S=22‰, при t = 260С, =21день. Примером может служить состояния поверхности образца заклёпочного неразъёмного соединения листа АМг5 в контакте с ВТ20

ЛИТЕРАТУРА

[1] Морская коррозия; Справ. изд. с англ. под ред. Шумахера М.М. - М. : Металлургия, 1983,- 512 с.

[2] Кеше Г. Коррозия металлов (пер. с нем.). - М.: Металлургия 1984,-400 с.

[3] Розенфельд И.Л Коррозия и защита металлов. - М.: Изд-во АН СССР, 1969, 448 с.ОСТ 1,41521-75 – Штамповка-вытяжка с неподвижной прижимной опорой и гибка-формовка листовых деталей эластичной средой на гидропрессах.

[4] Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. - М.: Изд-во АН СССР, 1960 .

[5]] Герасименко А.А., Ямпольская Т.Е. Расслаивающая коррозия алюминиевых сплавов. ч. I Причины возникновения и особенности развития процесса. Диагностика, моделирование, прогнозирование. Защита металлов, том 36 № 2 * 2000 г., - с. 196 - 202

[6] ГОСТ 9.913-90|(ГОСТ 9.913-90 Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий, магний и их сплавы. Методы ускоренных коррозионных испытаний

[7] Ву Динь Вуй, П. В. Стрекалов, Ю. Н. Михайловский, До Тхань Бинь, А. А.Михайлов. Коррозионная стойкость сталей, цинка меди, алюминия, и сплавов во влажных тропиках Вьетнама. Результатов пятилетних испытаний. Защита металлов, 1994, том 30, № 5, с. 502 – 509, 2000 г., - с. 196- 202.

[8] Гнеденков С.В., Хрисанфова О. А., Коврянов А.Н., Синебрюхов С. Л., Завидная А.Г., Лысенко Л. В., Гордиенко П. С. Патент России № 2112087 Б.И. № 15 от 27.05.1998г. Способ получения защитных покрытий на алюминии и его сплавахЛИТЕРАТУРА

Исследование кавитации во всасывающей линии гидросистемы современного самолета

И.О. Бобарика[1], А.И. Демидов[2]

[1] Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, РОССИЯ, 664074, megusMC@mail.ru

[2] Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, РОССИЯ, 664074, demidov-ai@yandex.ru

***Реферат* – объектом исследования является сборная гидравлической системы современного самолёта, конструкция трубопровода линии всасывания работающая в кавитационном режиме.**

В процессе работы выполнен анализ исходных данных об исследуемом объекте, доработаны геометрические модели (КЭМ) сборной конструкции для формирования на их базе расчётных моделей, сформированы расчётные модели для гидродинамического анализа в стационарной и нестационарной постановке. В процессе работы был выполнен поиск возможных стационарных и нестационарных режимов работы гидросистемы, при которых возможно возникновение кавитации в исследуемых элементах конструкции, описаны режимы работы гидросистемы.

В процессе работы выполнен гидродинамический анализ сборной конструкции трубопровода линии всасывания, работающей в кавитационном режиме, получены данные о наиболее вероятных местах возникновения кавитации.

Ключевые слова **- кавитация, гидродинамический анализ, трубопровод, давление.**

I. Введение

Цель работы – анализ исходных данных, формирование расчётных моделей, инженерный анализ трубопровода гидравлической системы, работающего в кавитационном режиме.

Для формирования расчётной области использовались только модели элементов, непосредственно контактирующих с потоком, так как для гидродинамического анализа сборной конструкции трубопроводов (задача внутреннего течения жидкости) важен внутренний тракт, границы которого являются границами расчётной области.

Геометрическая модель конструкции напорной лини гидросистемы показана на рис. 1.

Так как гидродинамический анализ данной конструкции предполагает возможность наличия кавитации, то при формировании исходной расчётной модели одним из важных свойств жидкости является давление насыщенных паров. В качестве рабочей жидкости рассматриваемой гидросистемы используется масло АМГ-10. Диаграмма зависимости давления насыщенных паров от температуры представлена на рис. 2.

Гидросистема работает в условиях нагрева до температуры 100ºС, при этом допускается местные кратковременные повышения температуры до 250ºС.

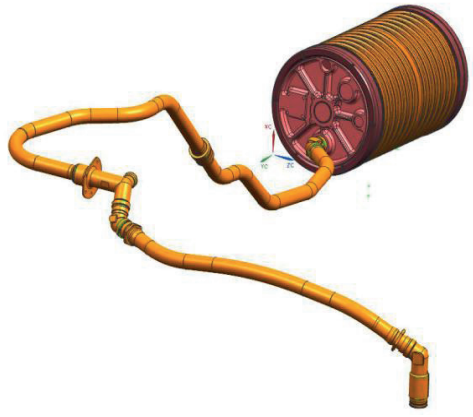


Рис. 1. Геометрическая модель трубопровода

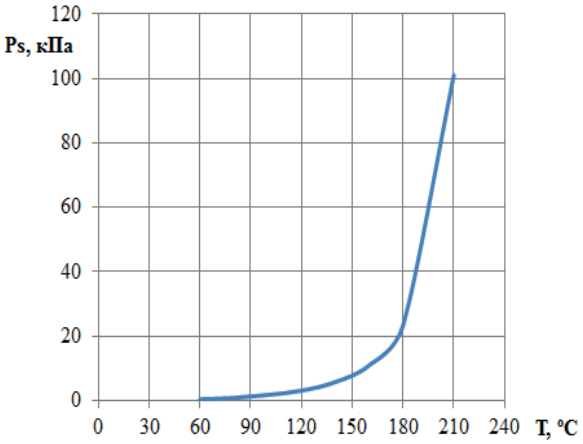


Рис. 2. Зависимость давления насыщенных паров в АМГ-10 от температуры

II. Стационарная постановка задачи

В рамках стационарной постановки задачи рассмотрены следующие режимы работы гидросистемы:

–Режим минимальной производительности гидронасоса (с потреблением 15л/мин);

–Режим 70% максимальной производительности гидронасоса (с потреблением 218л/мин).

На обоих режимах проведен гидравлический анализ и получены картины распределения давления и скоростей по линии гидросистемы.

Отмечено, что критических значений скорости и давления не возникает, что свидетельствует об отсутствии кавитации на данных режимах работы. Однако интенсивное падение давления в элементах трубопроводной арматуры свидетельствует о возможности возникновения кавитации при определённых внешних условиях: повышение температуры и вибрация.

III. Нестационарная постановка задачи

В рамках нестационарной постановки задачи рассмотрен переходной процесс с режима минимальной производительности на режим 70% максимальной производительности. График изменения расхода жидкости по времени для переходного процесса представлен ни рис. 3.

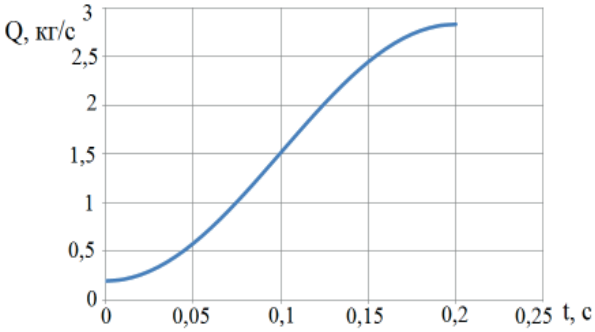


Рис. 3. Изменение расхода жидкости по времени

Анализ выполнялся для двух постановок: нестационарная постановка без учёта кавитации и квазистационарная постановка с учётом кавитации при повышении температуры до 190ºС.

На рис. 4 показана картина распределения давления в элементах трубопроводной арматуры для времени t=0,161с. переходного процесса, при котором наблюдаются наибольшее падение давления в трубопроводе.

На полученных картинах распределения давления значения давления ниже давления насыщенных паров (30 кПа) некорректны и свидетельствуют лишь о наличии зоны кавитации. Представленная информация необходима для определения исходных параметров расчёта в квазистационарной постановке с учётом кавитации для конкретного времени.

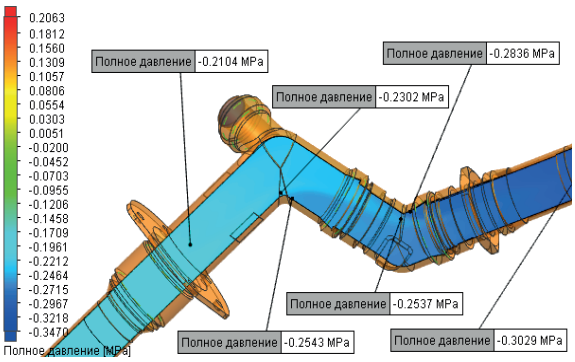


Рис. 4. Распределение давления во фланцевом тройнике

Функционально программный продукт не позволяет выполнять гидродинамический анализ течения жидкости в нестационарной постановке с учётом кавитации, но результаты анализа в нестационарной постановке без учёта кавитации показали падение давления ниже давления насыщенных паров (что по сути отражает наличие кавитации), поэтому выполнение стационарного анализа для конкретного времени переходного процесса (анализ стоп-кадра или квазистационарная постановка задачи) является единственным инструментом, позволяющим определить места возникновения кавитации и рассмотреть ее развитие.

Результаты гидродинамического анализа сборной конструкции трубопровода всасывающей линии гидросистемы современного самолёта в квазистационарной постановке во время переходного процесса в момент времени наибольшего падения давления представлены на рис. 5.

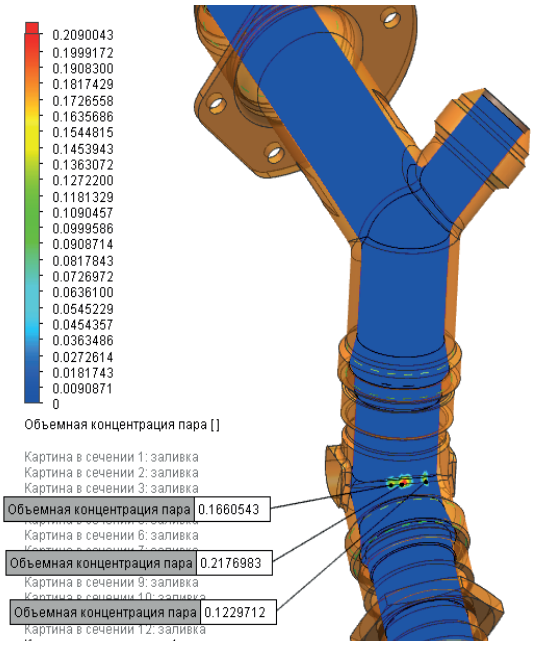


Рис. 5. Источник кавитации во фланцевом тройнике

Место возникновения кавитации определено по объёмной концентрации паров газа в жидкости (безразмерная величина). Вне кавитационной зоны объёмная концентрация пара условно равна нулю (так как массовая концентрация растворённого газа в жидкости не превышает 0,0001). В зоне кавитации объёмная концентрация пара имеет отличные от нуля значения. Развитие кавитации во фланцевом тройнике показано на рис. 6

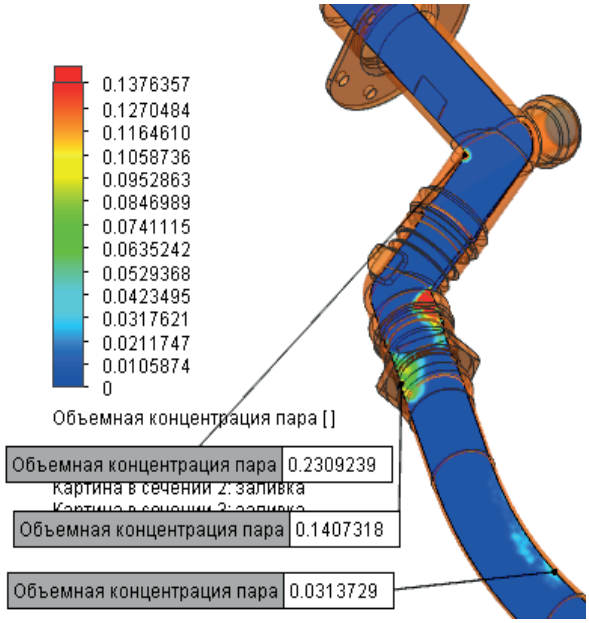


Рис. 6. Картина развития кавитационной области во фланцевом тройнике

Выводы

При выполнении данной работы был выполнен анализ сборной конструкции трубопровода всасывающей линии

гидравлической системы, работающей в кавитационном режиме.

Были выполнены анализы нескольких характерных режимов работы гидронасоса в стационарной, нестационарной и квазистационарной постановках задачи.

В настоящей статье в обобщённом виде представлены методики постановки задач гидродинамического анализа сборной конструкции трубопровода всасывающей линии гидросистемы, работающей в кавитационном режиме.

Кроме того представлены полученные в ходе выполнения данной работы картины распределения давлений, скоростей потока и объёмной концентрации паров газа, растворённого в жидкости, позволяющие оценить совершенство конструкции и гидравлические нагрузки на трубопровод при различных режимах его работы.

Отмечено отсутствие кавитации в режиме минимальной производительности гидронасоса.

Отмечено возможное возникновение кавитации в следующих элементах трубопроводной арматуры: фланцевом тройнике и угольнике гидронасоса в режиме 70% максимальной производительности гидронасоса при дополнительных внешних воздействиях: температуре (как общей рабочей температуры рабочей жидкости, так и местной в зонах расположения трубопроводов) и вибрациях элементов конструкции планера современного самолёта.

Отмечено возникновение кавитации во время переходного процесса при изменении режима минимальной производительности на режим максимальной производительности гидронасоса. В рамках решения квазистационарной задачи для определённого момента времени определены источники и места возникновения кавитации, определены значения объёмной концентрации паров газа, растворённого в жидкости. Также определена область распространения кавитации.

Также в статье отмечено, что квазистационарная постановка задачи является вынужденной ввиду ограниченности функционала программного обеспечения и при расширении функционала результаты могут быть уточнены.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Недра, 1982. - 224 с.
[2] Башта Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств. - М.: Изд-во Оборонгиз, 1961. – 97 с
[3] Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.
[4] Комаров А.А. Трубопроводы и соединения для гидросистем / А.А. Комаров, В. М. Сапожников. – М.: Машиностроение, 1967. – 232с.
[5] Одельский Э.Х. Гидравлический расчёт трубопроводов разного назначения: Учебное пособие. – Минск: Высшая. школа, 1967. - 103 с
[6] Сапожников В.М., Лагосюк Г.С. Прочность и испытания трубопроводов гидросистем самолетов и вертолетов. - М.:Машиностроение, 1973 г. - 248 с.
[7] Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д.А. Фокс – М:. Энерготздат, 1981, 248 С.

Установка для диффузионной сварки

Е.А. Гридасова, С.П. Кобыляков

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, РОССИЯ, 690000, olvin@list.ru

Реферат **– в данной работе приводятся основные технические характеристики, конструкторские особенности и принцип действия технологической установки, предназначенной для диффузионной сварки различных материалов в вакууме.**

Ключевые слова **– композиционные материалы, вакуум, диффузионная сварка.**

I. Введение

На данном этапе развития науки и техники основной интерес представляют композиционные материалы, сочетающие в себе материалы, обладающими разными характеристиками и свойствами. В течении долгого времени в США и Европе проводятся экспериментальные расчетно-конструкторские и технологические работы по созданию пешеходных мостов с преимущественным применением композитных стеклопластиковых и углепластиковых пултрузионных профилей. Стержни из стекла, полимерных композиционных материалов применяют в качестве силовых и армирующих элементов в оптико-волоконных кабелях, стекло – и базальтопластиковые стержни небольших диаметров широко используют в строительстве в качестве гибких связей утепленных трехслойных панелей и стен. Использование композитов в судостроении началось значительно раньше других отраслей – с конца 40-х годов XX века. Побудительным моментом в данном случае явились как эксплуатационные свойства композиционных материалов, так и их вес, как правило, в 2 раза легче стальных, что позволяет соответственно сократить на 50 % расход топлива или увеличить грузоподъемность (водоизмещение) судна. Поэтому разработка технологий создания разнообразных композиционных материалов является перспективными направлениями современной науки. Однако, ни одна технология не возможна без использования соответствующего оборудования, что и обуславливает актуальность его проектирования.

II. Материалы и методы

Как известно, в настоящее время создано более 70 типов установок диффузионной сварки. Диффузионной

сваркой в вакууме практически освоено соединение около 500-т композиций металлов, сплавов и неметаллических материалов. С ее помощью получают высококачественные соединения керамики с ковaром, медью, титаном, электровакуумных стекол, оптической керамики, сапфира, графита с металлами; композиционных и порошковых материалов и др. а соединяемые заготовки весьма различны по своей форме и геометрии, а также имеют компактные или развитые поверхности контактирования [1]. Многие научно-производственные фирмы и компании предлагают свои услуги по проектированию и созданию установок, направленных на решение определенные технологических задач, ставящихся исследователями.

III. Результаты и обсуждения

Настоящая работа посвящена созданию установки для диффузионной сварки. Спроектированная установка (рис.1) представляет собой технологическую установку, предназначенную для диффузионной сварки различных материалов в вакууме и включает в себя пять основных систем: создания вакуума, сжатия свариваемых деталей, нагрева, охлаждения и контроля параметров сварки и управления процессом. Установка относится к сварочной технике и позволяет изготавливать стержневые конструкции из разнородных материалов [2], [3], разных диаметров и размеров, ограниченных только геометрией сварной камеры.

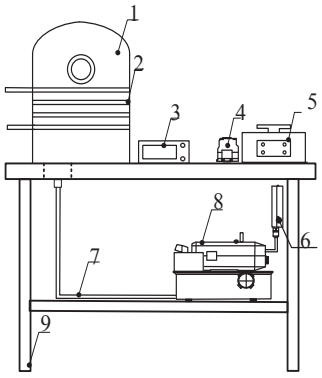


Рис. 1. Схема установки для диффузионной сварки
1 – вакуумный рабочий объем;
2 – змеевик системы охлаждения; 3- ТРМ;
4 – контактор малогабаритный; 5 - ;
6 – вакуумметр; 7 – вакуумная магистраль;
8 – вакуумный насос; 9 – стол лабораторный.

Для обеспечения требуемого вакуума используется вакуумная система, состоящая из: вакуумного рабочего объема (рис.2); вакуумного насоса, вакуумной магистрали и вакуумметра. Регулировка вакуума выполняется вакуумметром, который измеряет избыточное или вакуумметрическое давление паров газа, а также неагрессивных газов, в том числе кислорода, создающих давление или разряжение в измеряемой среде, и замыкает (размыкает) электрическую цепь при прохождении установленного предела вакуума или давления.

Отличительной особенность этой установки является ее система нагрева, которая представляет собой электропечь, размещенную внутри вакуумного рабочего объема (рис.2). Схема электрической печи (рис.3) включает в себя металлический корпус, камеру для сварки, нагревательный элемент, теплоизоляцию и термопару.

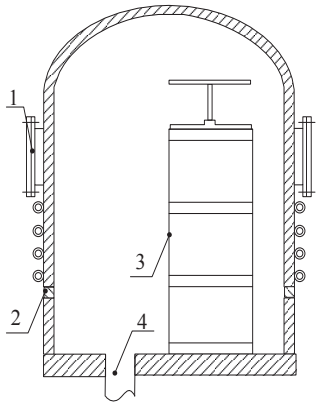


Рис. 2. Вакуумный рабочий объем
1 – смотровое окно;
2 – уплотнительное кольцо; 3- корпус электрической печи;
4 – вакуумная магистраль.

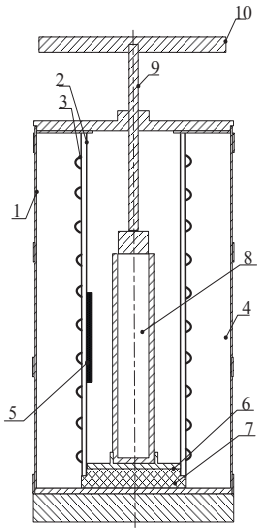


Рис.3 Схема электрической печи.
1 – металлический корпус; 2- камера для сварки;
3 – нагревательный элемент; 4 - термоизоляционный материал;
5- термопара; 6 - центровочное устройство;
7 – дно камеры; 8 – образец цилиндрической формы;
9 – шток; 10 – нагрузочная платформа.

Сварочная камера цилиндрической формы предназначена для создания стержневых конструкций и арматуры, а также соединения материалов разных форм, ограниченных только ее геометрическими размерами. Для варки цилиндрических образцов используется специальное центровочное устройство, размещенное на дне сварочной камеры. Контроль температуры внутри печи выполняется термопарой ТХА. Термопара введена в рабочую зону камеры и подсоединена к микропроцессорному терморегулятору ТРМ, который в свою очередь, подключается к сети с напряжением в 220 вольт.

Для придачи необходимого давления используется система сжатия, состоящая из штока, через который

осуществляется подача необходимого давления на образец и нагрузочной платформы.

В целях защиты конструкции от перегрева и во избежание проплавления рабочих элементов установки используется открытая (одноконтурная) система водяного охлаждения, состоящая из шлангов забора воды, змеевика закрепленного на корпусе вакуумного рабочего объема и клапанов, контролирующих поступление воды в трубки.

При такой системе охлаждения можно визуально наблюдать за поступлением воды в каждую линию охлаждения, а также следить за ее температурой на выходе из системы охлаждения. Технические характеристики установки диффузионной сварки приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение сети, В	220
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность установки, кВт	3
Рабочая температура печи, °С	1100
Общая длина электрической печи, мм	24
Общий диаметр электрической печи, мм	132
Рабочая длина сварочной камеры, мм	190
Рабочий диаметр сварочной камеры, мм	53
Высота вакуумного рабочего объема, мм	400
Ширина вакуумного рабочего объема, мм	300

ВЫВОДЫ

Данная установка является уникальной научной установкой, что дает возможность расширить технологию изготовления разнородных материалов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проведена при финансовой поддержке «Стипендии имени Гензо Шимадзу».

ЛИТЕРАТУРА

[1] К.И. Томас. История сварочной техники и технологии. Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 213с.

[2] Патент №2428389 РФ, МПК C03C27/02. Способ изготовления стеклометаллокомпозита / Гридасова Е.А., Любимова О.Н., Пестов К.Н, Каяк Г.Л. - №2009149794; Заяв. 31.12.2009; Опубл. 10.09.201, Бюл. №25.- 6с.

[3] Патент №2428388 РФ, МПК C03C27/02. Способ изготовления стеклометаллокомпозита / Гридасова Е.А., Любимова О.Н., Пестов К.Н, Каяк Г.Л. - №2009149790; Заяв. 31.12.2009; Опубл. 10.09.201, Бюл. №25.- 6с

Развитие транспортной системы Сибири и Дальнего Востока

И.Н. Гусев, А.В. Карманов

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет; РОССИЯ

Реферат **– определена перспектива применения экранопланов для грузопассажирских перевозок в районах Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока. Рассмотрены основные проблемы, стоящие перед создателями экранопланов.**

Ключевые слова **- экраноплан, транспортное средство, устойчивость, аэродинамическое качество**

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших современных научно-технических проблем является создание новых перспективных транспортных средств с улучшенными эксплуатационными, экономическими и экологическими характеристиками. Создание такого транспорта особенно актуально для регионов Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока со слаборазвитой транспортной системой и легкоранимой природой. Решить эту проблему можно, создавая бесконтактные транспортные аппараты с динамическим принципом поддержания. Важное место среди них занимают экранопланы (ЭП) – аппараты, использующие положительное влияние опорной поверхности на аэродинамические характеристики. Целесообразность создания экранопланов обусловлена их бóльшей экономической эффективностью по сравнению с самолетами, вертолетами, СПК и другими аппаратами; специфическими особенностями, в частности отсутствием контакта с опорной поверхностью, отсутствием необходимости оборудованных взлетно-посадочных полос и сложного аэродромного хозяйства, высокой скоростью, амфибийностью, независимостью от погоды, экологичностью [1].

II. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Область применения экранопланов может быть самой разнообразной. Они могут быть использованы для грузопассажирских перевозок в районах Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока, где автомобильные и железные дороги развиты слабо и основная доля грузопассажирских перевозок приходится на водный транспорт, срок эксплуатации которого ограничен. Поэтому для этих районов возможно использование экранопланов по акваториям больших и средних рек как для пассажирских перевозок, так и для перевозок различных грузов, почты, ценного сырья, нефти, газа. При этом решается важнейшая проблема их эксплуатации в течение всего года, а это приведет к большой экономической эффективности. Большой социальный эффект принесет внедрение этих

транспортных средств в народное хозяйство страны, так как приведет к созданию нового быстроходного вида транспорта и новой отрасли машиностроения – экранопланостроения.

В эпоху международной экономической интеграции применение экранопланов как транспортного средства на морских и океанских трассах позволит не только снизить себестоимость перевозок, но и приведет к возникновению новых торговых маршрутов.

Интенсивные исследования в области околоэкранной аэродинамики и создания экранопланов ведутся как в России, так и за рубежом. Наибольший вклад в практическое экранопланостроение внесен работами, проводившимися под руководством Р.Е. Алексеева, продолжением которых являлась постройка серии экранопланов и одновременное развитие материальной базы, охватывающей все циклы производства. Однако, несмотря на большую важность и теоретические достижения в области аэродинамики и проектирования экранопланов, промышленное производство в постперестроечные годы было полностью свернуто в России.

Проектные проработки экранопланов и строительство опытных экземпляров (или мелкой серии) в Российской Федерации выполняют сейчас следующие организации: ОАО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева», ОАО «ТАНК им. Г.М. Бериева», ОАО «ОКБ Сухого», различные ЗАО и ООО, а также студенческие КБ и конструкторские коллективы при ВУЗах.

III. Проблемы

Перед конструкторами и исследователями в настоящее время стоят следующие проблемы:

1. Проблема старта и преодоление гидравлического «горба» сопротивления (для экранопланов базирующихся на воде).
2. Получение высокого аэродинамического качества основного несущего крыла и аппарата в целом.
3. Обеспечение устойчивости (стабилизации) экраноплана при полете на малых отстояниях от опорной поверхности, где в большей мере реализуются его преимущества.
4. Отсутствие нормативно-правовой базы.

Проблема старта решается соответствующим выбором аэродинамической компоновки, силовой установки и стартовых устройств с использованием статической воздушной подушки и поддува под фюзеляж и основное крыло.

Получение высокого аэродинамического качества основано на использовании специальной компоновки (схема «утка») и геометрии основного крыла.

Обеспечение устойчивости (стабилизации) экраноплана возможно созданием быстродействующей системы автоматической стабилизации или выбором аэродинамической схемы экраноплана, обеспечивающей самостабилизированный полет.

Выводы

Сложной проблемой, возникающей при создании экранопланов, является отсутствие нормативно-правовой базы. Проектирование, строительство, продажа и коммерческая эксплуатация любого транспортного средства невозможна без наличия национальных или международных правил, гарантирующих обеспечение надлежащего уровня безопасности и его проверки. Трудности заключаются еще и в базовых определениях международной морской организации (ИМО) и международной организации гражданской авиации (ИКАО). Эта проблема в настоящее время решается ассоциацией разработчиков, производителей и потребителей экранопланов России (г. Москва) путем консолидации усилий в рамках государственно-частного партнерства.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гусев И.Н. Улучшение эксплуатационных возможностей экранопланов схемы «Утка»//Изв. Вузов. Авиационная техника. 1995, № 2. с. 9-13

Результаты, полученные с помощью обновленного российского аппаратно-программного комплекса «iKolobok»

Д.О. Доронин[1], Д.М. Журавский[2], Н.М. Куприков[3],А.К. Павлов[2], Б.В. Иванов[2]

[1] ФГУП «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, РОССИЯ, doroninden@gmail.com.
[2] ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, РОССИЯ, danilazhuravskiy@gmail.com.
[3]Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), РОССИЯ, kuprikov@raki.aero

Реферат **- в работе рассматриваются результаты совместной синхронной работы трёх метеорологических комплексов «iKolobok» rev. 1, «iKolobok» rev. 2 и Vaisala WXT520, с целью оценки качества данных, получаемых с помощью обновлённого прибора «iKolobok» rev. 2.**

Ключевые слова **- температура воздуха, влажность, атмосферное давление, синхронная эксплуатация интеркалибрация.**

I. Введение

В результате предыдущего периода работы аппаратно-программного комплекса (АПК) «iKolobok»

были выявлены некоторые конструктивные и технические недочёты. После внесения исправлений в АПК было проведено тестовое измерение в период с 16.12.2014 по 14.01.2015. В ходе доработки конструкции и усовершенствования приемо-передающего тракта и шасси переносного аппаратно-программного комплекса «iKolobok», регистрирующего основные метеорологические параметры среды (температуры воздуха, атмосферное давление, влажность), было получено качественно новое изделие, обладающее высокой погодозащищенностью и устойчивостью к кратковременным ударным нагрузкам и повышенным потенциалом расширения функциональности.

II. Материалы и методы

Лабораторные исследования показали, что конструкция обладает рядом преимуществ и показывает лучшую точность регистрации данных в жестких условиях. С целью натурной проверки возможностей старой и новой версий приборов, была осуществлена зимняя эксплуатация приборов на действующей метеорологической станции. В качестве эталонной метеорологической станции была выбрана автоматическая метеорологическая станция (АМС) Vaisala WXT520, расположенная на крыше здания факультета географии и геоэкологии СПбГУ по адресу: Санкт-Петербург, 10 линия В.О., д. 35. Базирование на крыше выполняло также функцию ужесточения природных условий эксплуатации, поскольку на Васильевском Острове в зимний период на высоте 20 метров возможно сильное ветровое воздействие на точность измерений. Сильные ветровые и прочие стрессовые нагрузки предполагаются в качестве обычных состояний окружающей среды в местах эксплуатации прибора. Целью этой проверки было также выяснить, оказывают ли они влияние на регистрируемые параметры, или программно-аппаратные комплексы обладают достаточной «погодозащищенностью».

Период синхронной эксплуатации всех трех метеорологических комплексов составил почти месяц. Поскольку АМС Vaisala WXT520 функционирует асинхронно, со сдвигами времени регистрации данных, данные регистрации синхронизировались и подвергались фильтрации: удалялись данные с пропусками в наблюдениях АМС Vaisala. По итогам фильтрации, было получено 646 синхронных наблюдений за период развертывания программно-аппаратных комплексов, на основании которых было сделано статистическое описание и расчет корреляции испытываемых комплексов с эталонным.

III. Результаты

В результате обработки данных были построены графики изменчивости температуры воздуха, атмосферного давления и относительной влажности со временем. На Рис. 1 (атмосферное давление) данные с трёх приборов практически идентичны. Различия лежат в пределах погрешности.

Среди измеряемых параметров наибольшее отличие отмечается в данных относительной влажности. Данные получаемые с «iKolobok» обеих версий занижены. Для первой ревизии (rev.1) разница может достигать 34.5 %.

Рассчитанные на основании синхронизированных и отфильтрованных рядов данных корреляционные матрицы приведены ниже. Усовершенствования программно-аппаратного комплекса слабо повлияло на точность измерения атмосферного давления, если сравнивать с эталонным значением.

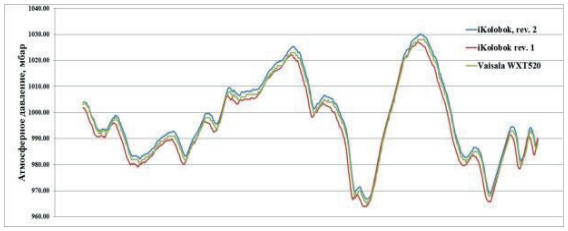


Рис. 1. Синхронизированные данные (ежечасные наблюдения) показаний атмосферного давления, мбар для iKolobok rev.1, iKolobok rev.2, Vaisala WXT520. относительной влажности, % (B)

По температуре сходимость рядов данных высокая. Незначительные флуктуации, скорее всего, связаны с конструктивными отличиями используемых датчиков. Это связано с тем, что точность измерения данного параметра в первой версии устройства уже была высокой. Менее точный (согласно паспортным данным) датчик усовершенствованного «колобка» зарекомендовал себя как хорошая замена предыдущего.

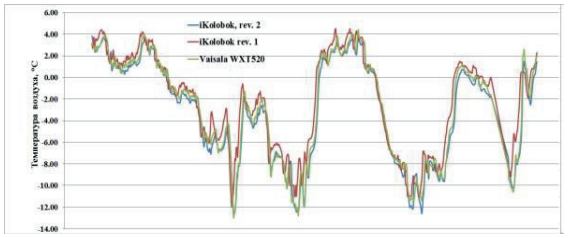


Рис. 2. Синхронизированные данные (ежечасные наблюдения) показаний температуры воздуха, °C для iKolobok rev.1,iKolobok rev.2, Vaisala WXT520.

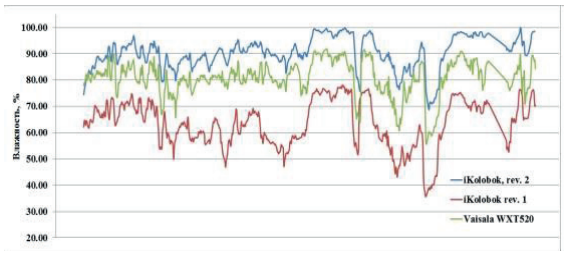


Рис. 3. Синхронизированные данные (ежечасные наблюдения) показаний относительной влажности, % для iKolobok rev.1, iKolobok rev.2, Vaisala WXT520.

ТАБЛИЦА 1. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МАТРИЦА РЯДОВ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ IKOLOBOK REV.1, IKOLOBOK REV.2, VAISALA WXT520

	Vaisala WXT520	iKolobok rev.1	iKolobok rev.2
Vaisala WXT520	1	0,96	0,96
iKolobok rev.1		1	0,96
iKolobok rev.2			1

Изменение элементной базы и усовершенствование конструкции более существенно сказалось на точности регистрации температуры воздуха. В абсолютных величинах это выражается в увеличении коэффициента корреляции на 0,0324 (3%) относительно эталона.

ТАБЛИЦА 2. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МАТРИЦА РЯДОВ ДАННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ДЛЯ IKOLOBOK REV.1, IKOLOBOK REV.2, VAISALA WXT520

	Vaisala WXT520	iKolobok rev.1	iKolobok rev.2
Vaisala WXT520	1	0,74	0,87
iKolobok rev.1		1	0,76
iKkolobok rev.2			1

Самое сильное улучшение точности наблюдается в данных регистрации относительной влажности: выраженное в изменении коэффициента корреляции, оно достигает 0,1233 (12%). Улучшенная версия комплекса в итоге имеет корреляцию 0,87 с эталонным метеорологическим комплексом. Неточность измерений проявляется в стабильном завышении показаний примерно на 10%.

Выводы

Суммарная погрешность измерений новой версии «iKolobok» и Vaisala WXT520 в диапазоне наблюдаемых значений около 90% влажности, согласно паспорту, может достигать 8,5%, что не позволяет однозначно судить о величине ошибки. Помимо этого, необходимы дополнительные исследования и сравнения с иными, регулярно тарируемыми и поверяемыми метеорологическими комплексами именно по регистрации данных относительной влажности. Если погрешность измерений действительно существует, она может быть вызвана не окончательно проведенной гидроизоляцией камеры, в которой установлены датчики, и недостаточной продуваемостью ее нижней части, что предполагается устранить в ближайшее время.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Доронин Д.О., Павлов А.К., Куприков Н.М., Журавский Д.М., Иванов Б.В. Сравнение данных о характеристиках приводного слоя атмосферы в Антарктике с помощью российских перспективных метеорологических средств измерений и мониторинга. М.: Вестник МАИ, 2015.

[2] Куприков Н.М., Доронин Д.О., Журавский Д.М., Павлов А.К., Иванов Б.В. Сравнение данных о температуре приводного слоя атмосферы, полученных приборами различного типа в период 57-й Российской Антарктической экспедиции (тезисы докладов IV Международной. конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана»). СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2014.

[3] Куприков Н.М., Павлов А.К. Интеркалибрации данных мониторинга полярной (арктической) геофизической и гидрометеорологической обстановки в интересах эксплуатации авиационной инфраструктуры в Арктике (тезисы докладов I Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях»). Архангельск, 2014.

[4] Куприков Н.М., Журавский Д.М, Малыгин Д.В., Иванов Б.В., Павлов А.К. и др. Перспективные космические аппаратно-программные комплексы для повышения конкурентоспособности крупных инфраструктурных проектов в Арктическом регионе и на Дальнем Востоке. Казань: Вестник «КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева», 2014, №4.

[5] Куприков Н.М., Долгов О.С. Анализ технических и геополитических условий эксплуатации региональных самолетов в арктическом регионе Российской Федерации. М.: Журнал Академии Военных Наук. №4, 2014. - С.99-113.

[6] Куприков Н.М. Учет требований эксплуатации в Арктике на облик летательного аппарата как основа повышения конкурентоспособности на мировом рынке. М.: Журнал Академии Военных Наук. №3(40), 2012. - С.120-123.

[7] Техническое описание измерительно-навигационного аппаратно-программного комплекса «IKolobok» и входящих в него компонентов (под редакцией Куприкова Н.М.). М.: ООО «Гагаринский старт», 2011.

Аппаратное обеспечение метода лазерной виброметрии на базе высокоскоростного виброметра HSV2000

В.И. Зайков, Н.А. Тарануха, В.А. Ярополов

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, knastu@knastu.ru

Реферат **– выполнен анализ эффективности аппаратного обеспечения метода лазерной виброметрии. Представлены результаты теоретического обоснования и рассмотрены схемные решения, обеспечивающие оптимальное функционирование лазерного виброметра в различных режимах эксплуатации.**

Ключевые слова **– лазерная виброметрия, гетеродинный интерферометр, доплеровский эффект, квадратичное фотодетектирование.**

I. Введение

В настоящее время методы лазерной виброметрии и интерферометрии получили широкое распространение

как научных исследованиях так и в технологических процессах современного производства. Высокая чувствительность и точность данных устройств, реализация принципа бесконтактного контроля исследуемых объектов определяет их основополагающую роль в современных технологиях [1]. Достаточно значительное количество разработок в этой области свидетельствует об особой актуальности лазерно-оптических методов и средств виброизмерений и определяет необходимость их классификации. В качестве классификационных признаков обычно используют:

- параметры сигнала фотоприемника, несущего информацию об исследуемой вибрации:
- способ выделения информации о параметрах движения (фотомодуляционный, интерференционный, доплеровский и т.д.);
- способ приема информации о параметрах движения объекта измерения.

Фотомодуляционный способ выделения информации основан на измерении изменения интенсивности излучения; доплеровский (частотный) - на измерении величины изменения частоты лазерного излучения, отраженного от исследуемого объекта; интерференционный - на использовании интерференции лазерного излучения. Использование когерентного лазерного излучения предъопределило развитие сугубо доплеровских (без вещественной разности хода) измерительных систем в оптическом диапазоне. Широкое распространение интерференционные и доплеровские методы получили, пожалуй, в большей степени из-за того, что они обладают фундаментальным с точки зрения метрологии преимуществом: искомая информация выявляется из сравнения с длиной волны лазерного излучения, параметра, исключительно устойчивого к действию внешних влияющих факторов

Область применения бесконтактного контроля с использованием доплеровских лазерных систем достаточно широка. Лазерные системы с частотной модуляцией применяют при испытаниях в самолетостроении, в области оптической связи, в приборостроении, при сейсмических измерениях, при метрологической аттестации виброизмерительной аппаратуры и т.д.

II. Теоретическое Обоснование и функциональная структура метода лазерной виброметрии

Принцип работы лазерного виброметра основан на доплеровском сдвиге частоты оптического (лазерного) излучения, отраженного от движущегося объекта.

В этом случае применяют метод оптического гетеродинирования отраженного от объекта слабого оптического сигнала на основе двухлучевой интерференционной оптической схемы с последующим формированием квадратурных компонент электрического сигнала фотодетекторами балансного типа с помощью ячейки Брэгга. Скорость и амплитуда вибрирующего объекта создают частотную или фазовую модуляцию вследствие доплеровского эффекта. Таким образом, отраженный луч подвергается небольшому сдвигу частоты, который называется доплеровской частотой. Доплеровская частота является функцией компоненты скорости v в направлении объекта согласно уравнению (1):

$$f_D = 2\frac{v}{\lambda} \tag{1}$$

где λ – длина волны лазерного излучения.

В свою очередь, с помощью ячейки Брэгга в опорном луче создается сдвиг частоты f_B оптического диапазона (70 МГц). После совмещения опорного и измеренного сигналов на фотодетекторе формируется электрический сигнал с мгновенной частотой (2):

$$f_c(t) = f_B + f_D(t) = f_B + 2\frac{v(t)}{\lambda} \tag{2}$$

Соотношение (2) характеризует сигнал несущей частоты f_B модулированной доплеровской частотой $f_D(t)$ с соответствующим знаком. Сигнал скорости можно декодировать путем частотной демодуляции [2], [3] .

В состав лазерного виброметра входят оптическая система, формирующая квадратурные составляющие доплеровского сигнала, и электронная система (рис.1). Оптическая система лазерного виброметра реализована на основе классической схемы интерферометра Майкельсона. Основными структурными элементами оптической системы лазерного виброметра являются: лазерный источник монохроматического излучения; телескопическая система, выполняющая функции приемо-передающей "оптической антенны"; оптическая система сопряжения волновых фронтов сигнальной и опорной волны типа; фотоприемные модули балансного типа; оптический делитель-смеситель для формирования и пространственного совмещения опорного и сигнального лазерных пучков [4].Особенность оптико-электронной схемы лазерного виброметра обусловлены в первую очередь со значительным (на 5–7 порядков) ослаблением принимаемой световой мощности лазерного пучка, направляемого на объект, а также со спектр-структурой распределения интенсивности волнового фронта диффузно отраженного излучения лазера. Режим анализатора спектра считается типовым режимом работы лазерного виброметра. В этом режиме определяются значения резонансных частот исследуемых объектов и измеряются уровни сигналов малых значений виброскорости при наличии сопутствующих шумов различного происхождения. Если сравнить сигналы во временной и частотной областях, то выявится очевидное преимущество спектрального подхода к измерению виброскорости. Если уменьшить амплитуду в 100 раз (до -40дБ), то корректно измерить амплитуду сигнала во временной области будет сложно из-за сильных шумов. В спектральной области амплитуда измеряется с гораздо меньшей погрешностью: разность между значениями 9,38 дБ и -49,53 дБ составляет -40,15 дБ. Измерить значения виброскорости порядка 10 мкм/с и менее можно только в режиме спектрального анализа. Электронная система состоит из фотоприемников,

которые преобразуют оптические квадратурные составляющие доплеровских сигналов в соответствующие им электрические. Последние усиливаются в блоке малошумящих усилителей с системой автоматической регулировки усиления. С выхода блока усилителей квадратурные доплеровские сигналы поступают на демодуляторы, которые их преобразуют в сигналы, пропорциональные мгновенным значениям виброскоростей исследуемого объекта

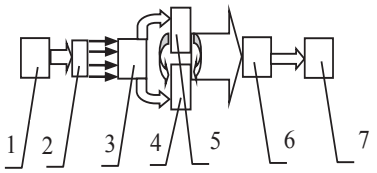


Рис.1 Функциональная схема метода лазерной виброметрии
1- лазерно-оптический блок; 2- фотоприемники; 3- блок усилителей; 4- демодулятор частотный; 5- демодулятор аналитического сигнала; 6- блок управления; 7- персональный компьютер.

В системе присутствуют два вида демодуляторов: демодулятор частотный, предназначенный для формирования сигнала виброскорости от 50 до 0,2 мм/с, и демодулятор аналитического сигнала для формирования сигнала виброскорости от 1 до 0,01 мм/с. Демодуляторы построены на основе аналого-цифровых схем с применением микропроцессоров. С выходов демодуляторов аналоговый сигнал виброскорости поступает на выходной разъем и на вход управляющего блока, созданного на базе сигнального и управляющего микропроцессоров. Микропроцессоры, входящие в состав лазерного виброметра, производят цифровую обработку и анализ вибрационных сигналов. Результаты в виде спектрограмм или осциллограмм отображаются на экране внешнего компьютера, подключенного через соответствующие порты, разъемы которых размещены на панели управления прибора. Измерение параметров сигнала проводится при помощи подвижного маркера на экране дисплея.Такое сочетание микропроцессоров позволило реализовать разные режимы работы управляющего блока: режимы осциллографа, анализатора спектра, а также связь с внешними устройствами.

III. Оценка эффективности системы лазерной виброметрии на базе комлекса HSV2000.

В состав системы HSV-2000 входит контроллер HSV-2001/2002, лазерный модуль HSV-800 и прочная компактная сенсорная головка HSV-700. Лазерный модуль включает в себя интерферометр и лазер малой мощности.

Предлагаются сенсорные головки с фиксированным и переменным фокусом. Головка с фиксированным фокусом имеет чрезвычайно большую глубину резкости и может быть рекомендована для измерения больших перемещений. В одноканальной версии (HSV-2001) к контроллеру HSV подключается один лазерный модуль, для двухточечных и дифференциальныхизмерений подключаются два модуля (HSV-2002). В HSV-2001 встроен шестидиапазонный декодер перемещений с разрешением 0,32мкм и максимальным измеряемым перемещением ±82 мм. Дополнительно имеется однодиапазонный декодер скорости для частот колебаний до 50 КГц сфиксированным масштабным коэффициентом 5 м/с/В. В некоторых испытаниях, например при исследованиях клапанных механизмов, требуется выполнять дифференциальные измерения. При этом один лазерный луч направляется на клапан, а второй на цилиндр. HSV-2002 обеспечивает раздельный вывод сигнала виброскорости по каналам А, В и дифференциальному каналу А – В. Информация о перемещениях доступна по каналу А и А – В. Требуемые выходные сигналы скорости и перемещения выбираются с помощью поворотного переключателя на передней панели. Оба контроллера оснащены крупными графическими экранами, которые в виде столбчатых диаграмм отображают уровень сигнала, возвращаемого от объекта испытания. Фактический диапазон измерения перемещений устанавливается нажатием кнопки и выводится на ЖК-экране. Входной сигнал от исследуемого объекта (например, положение распределительного вала) может создавать управляющий импульс для измерения перемещений. Для регистрации данных к аналоговым выходным каналам HSV подключаются БПФ-анализатор, цифровой осциллограф или плата АЦП. Дополнительно к задней панели через цифровой интерфейс может быть подключена плата счетчика интерференционных полос.

Выводы

Представленые результаты теоретического обоснования и схемные решения, обеспечивающие оптимальное функционирование метода бесконтактной лазерной виброметрии позволяют сделать вывод об эффективности его применения в различных режимах эксплуатации. Аппаратное оснащение комплекса HSV2000 позволяет существенно расширить функциональные возможности данного метода. К основным направлениям использования лазерных доплеровских систем следует отнести:

- измерение параметров движения объектов контроля в рабочих условиях, когда имеется сильное влияние внешних факторов (температуры, давления и т.д.). В этом случае траектория движения может быть произвольной. Целью измерения является как определение закона движения, так и получение необходимых параметров процесса вибрации.
- измерение параметров механических колебаний при проведении виброиспытаний. Цель измерений заключается в получении результатов, на основании которых можно сделать вывод о способности объекта работать в условиях вибраций.
- измерение параметров механических колебаний при метрологической аттестации виброизмерительной аппаратуры. Форма колебаний синусоидальная.
- измерение параметров ударных процессов.

Кроме перечисленных областей применения, лазерные системы с фазовой модуляцией можно использовать при измерении угловых колебаний,

исследовании неравномерности скорости движения узлов и деталей машин, контроле профиля поверхности, в системах активного контроля**.**

ЛИТЕРАТУРА

[1] Королев А.М. Оптические модуляционные методы измерения параметров механических колебаний. // Приборостроение и автоматический контроль вып. 2. Лазерные устройства и их применением: Машиностроение 1985. С. 179-197.
[2] Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. М.: Радио и связь, 1987.
[3] Протопопов В.В., Устинов Н.Д. Лазерное гетеродинирование /Под ред. Н.Д. Устинова. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985. 288 с.
[4] Захарченко В.Д., Брыжин А.А., Васильев А.Ф. Оценка параметров лазерного доплеровского виброметра. //Измерительная техника. -1998 -№12. с. 80-82.

Применение САПР для моделирования перспективных методов формообразования – штамповке эластичными средами

И.Н. Иванов, Д.Г. Колыхалов

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, ivanov_il@inbox.ru

Быстрое развитие компьютерных мощностей повлекло за собой создание программного обеспечения для сложных математических расчетов. Современные САПР позволяют моделировать изделия и процессы высокой сложности с огромной точностью. Авиационная промышленность всегда шла и идет в ногу со временем, используя новейшие технологии в области моделирования, так как ошибки обходятся очень дорого в плане потери времени и денег. Применение CAD/CAM/CAE-систем давно стало привычным в этой отрасли. В виртуальной среде производят твердотельное моделирование, прочностные расчеты, фрезеруют и штампуют детали, проверяют кинематику, проводят краш-тесты и многое другое.

Благодаря САПР, у нас появилась возможность виртуально проанализировать перспективные, мало изученные методы формообразования, отработать основные ошибки и вариации до отработки на реальном эксперименте.

Ключевые слова **- САПР, CAD, CAE, формообразование, штамповка, эластичная среда, лед.**

I. Введение

У современных самолетов особое внимание уделяется компоновке оборудования в пространстве самолета с целью оптимизации использования его объемов. В связи с этим, гидрогазовые системы летательного аппарата часто имеют сложную форму. На решение проблем, связанных с их изготовление уходит много времени, даже с использованием современных САПР, так как у каждой детали имеются свои тонкости и нюансы. В настоящее время, чаще всего сложные участки гидросистем изготавливают свариванием двух полупатрубков, заранее отштампованных из листа на персонально спроектированной оснастке. Штамповка часто происходит с использованием эластичной среды (полиуретана), что несколько удешевляет и упрощает процесс.

При использовании в штамповке эластичных, эластосыпучих сред, а так же воды, можно на половину снизить стоимость оснастки, так как среда является своеобразным универсальным пуансоном или матрицей.

II. Программы виртуального моделирования и методы их работы

Для проверки работоспособности и возможностей малоизученных методов, было решено проверить их в современных программных комплексах. Но для начала, необходимо убедиться, что программа выдает результаты, схожие с тем, что происходит на практике. Был построен опытный образец штампа, для раздачи трубчатой заготовки, при помощи энергии расширения воды при заморозке. Он предназначен для раздачи средней части трубы. В программе NX была построена твердотельная модель штампа, с которой были сняты необходимые поверхности для моделирования в программе CAE. Для CAE-анализа была использована программа Pam-Stamp 2G.

CAE-анализ ведется методом конечных элементов, т.е. при загрузке поверхностей в программу, происходит их разбиение на сетку из треугольников и четырехугольников. В случае загрузки в программу твердотельного элемента, происходит построение его пространственной сетки, т.е. тело заполняется кубами и треугольными пирамидами.

III. Моделирование, анализ и результаты

Задав необходимые параметры в PAM-Stamp 2G, соответствующие реальному штампу и заготовке (назначили материалы, силы трения между поверхностями, направление и силу раздачи, скорость процесса и т.д.), и запустив расчет, мы получили множество различных данных, графиков и диаграмм. На рис. 1 представлены этапы изменения диаграммы толщины заготовки на различных участках, вплоть до разрыва.

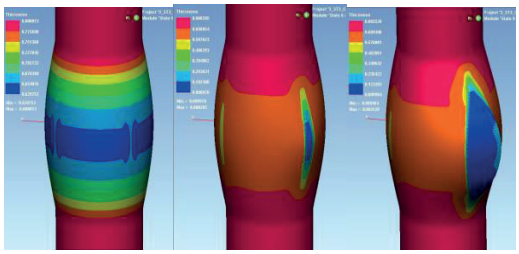


Рис. 1. Процесс появления разрыва (диаграмма распределения толщин).

На рис. 2 представлен вид разрыва, полученный опытным путем.

Как мы видим, разрывы практически идентичны, а значит, программа работает корректно, и сможет предупредить нас заранее о возможном появлении различных дефектов.

Рис. 2. Трещина на опытном образце.

Благодаря программе, не прибегая к изготовлению опытного образца, были смоделированы различные конфигурации штампов для раздачи и обжима трубчатой заготовки с применением эластосыпучей среды (рис. 3, рис. 4, рис. 5).

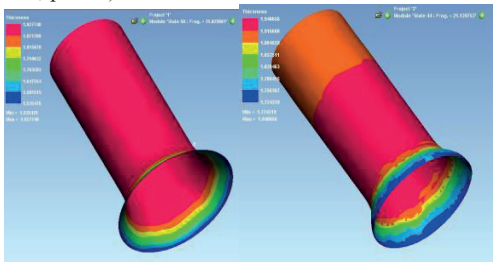


Рис. 3. Различные способы раздачи, с применением эластосыпучей среды..

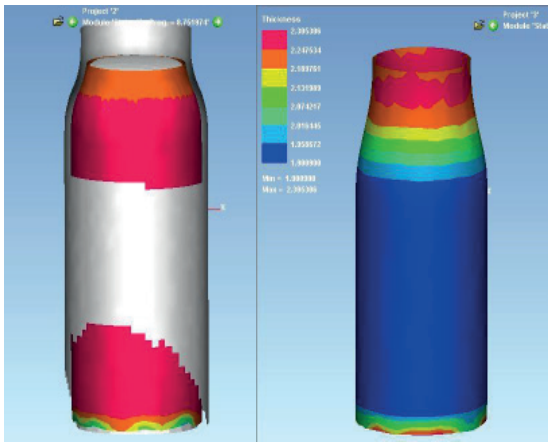


Рис. 4. Применение эластосыпучего стержня при обжиме

В настоящее время, тройники в гидросистемах изготавливают литьем или свариванием из нескольких деталей/полупатрубков, и очень редко формованием из трубчатой заготовки. При использовании энергии расширения воды при заморозке, создание тройников может стать довольно простым. Необходимы лишь правильные расчеты объема заливаемой воды, трубчатая заготовка и матрица. Данный способ был проверен, и получены неплохие результаты, представленные на рис.

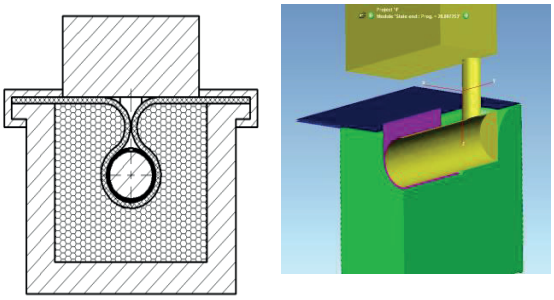


Рис. 5. Формование трубчатой заготовки из листа в эластосыпучую среду (слева - схема штампа, справа – четверть штампа при моделировании).

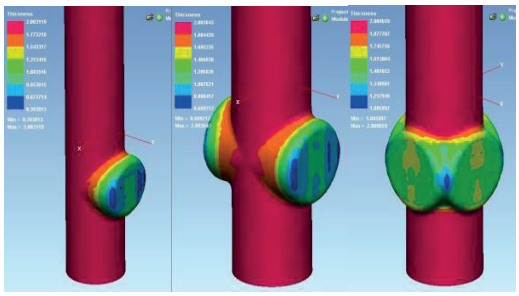


Рис. 6. Формование тройников различной сложности при помощи энергии расширения воды при заморозке.

Вероятность появления утонения выше предельно допустимого имеется, но оно возникнет в отрезаемой зоне, т.е. непосредственно важная для тройника зона перехода из одной трубки в другую дефектов не имеет.

Как видно из выше проделанной работы, применение различных сред при штамповке, позволяет снизить затраты на изготовление деталей, а так же придать

форму заготовке в неудобном или труднодоступном месте, как в случае с тройником.

Выводы

Огромным плюсом CAE-программ является гибкость их настроек. В них возможно задание большого количества различных параметров, таких как сила трения, параметры материала, температуры объектов, скорости процессов и многое другое. Но основной проблемой является то, что в программе все рассчитывается для идеальных условий, идеальных материалов и деталей с идеальными размерами. В реальности же существует огромное количество различных факторов, которые просто невозможно учесть в программе. К ним относится неоднородность материалов, дефекты в них, неоднородность шероховатостей, отклонения размеров, плоскостностей, соосностей и другие факторы. В итоге, в программе мы можем получить результаты очень близкие к реальным, однако, всегда будут отличия, масштаб которых будет зависеть от различия реального и идеального объектов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ходырев В.А. Применение полиуретана в листоштамповочном производстве. Пермь, Пермские книжные издательства, 1973. – 218 с.

[2] Применение эластичных сред в листовой штамповке / С.Б. Марьин, А.И. Олейников, В.В. Куриный // Ученые записки КнАГТУ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. - 2010. – №II-1(2). – С. 105-109.

[3] Патент РФ №82432. Универсальная эластичная матрица для штамповки листовых заготовок с нагревом. /Марьин С.Б. - 2008148876/22. заявлено 10.12.2008. Опубл. 27.04.2009. Бюл. №12.

[4] Гибка листовых заготовок с применением эластосыпучих сред / С.Б. Марьин, А.В. Кирина, К.В. Залесский, В.В. Маценко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2013. - № II-1(14). – С. 90-92 с.

[5] Пат. 124805 Российская Федерация U1 24/12. Устройство для испытания трубной заготовки /Д.Г. Колыхалов, Б.Н. Марьин, С.Б. Марьин и др.; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т. – №2012121722/28; заявл. от 25.05.12; опубл. 10.02.13, Бюл. № 4. – 3с.

[6] Колыхалов, Д.Г. Моделирование процесса обжима полых и трубчатых заготовок при использовании ледяных стержней в качестве рабочего тела/ Д.Г. Колыхалов, Б.Н. Марьин, С.И. Феоктистов, Р.В. Шпорт // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. тех. ун-та. Науки о природе и технике. – 2011, № IV- 1 (8). - С.78-85.

[7] Колыхалов, Д.Г. Прогрессивные способы изготовления трубопроводов летательных аппаратов / Д.Г. Колыхалов, С.Б. Марьин, Б.И. Долотов, В.И. Якимов, А.В. Жабаров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. тех. университета. Науки о природе и технике. – 2012, № II-1 (10). - С. 4-10.

[8] QForm – универсальная и эффективная программа для моделирования ковки и штамповки [Электронный ресурс]/ сост.: Н.В. Биба и др.; ООО «КванторФорм», г. Москва. URL: http://qform3d. ru/db_files/326/1394.pdf (дата обращения 22.02.2013).

Применение поли-пара-ксилилена в криогенных условиях

Е.С. Калинин, А.В. Костин, Е.А. Щелоков

АО РКЦ «Прогресс», Самара, РОССИЯ, 443009 , Kalininsc@gmail.com

Реферат **– материалы этой статьи содержат информацию о применяемых типах покрытий, сравнение электрических характеристик применяемых покрытий и предлагаемого, методологию испытаний, выводы о возможности применения поли-пара-ксилилена (ППКП) в космической промышленности (а именно в баках ракетоносителей в условиях азотной среды).**

Ключевые слова **– поли-пара-ксилилен, азотная среда, радиоэлектронная аппаратура, влагостойкость, электрическая прочность.**

I. Введение

В настоящее время к радиоэлектронной аппаратуре для космической промышленности выдвигаются такие требования как: долговечность, безотказность, надежность.

Для защиты от основных внешних воздействий, влияющих на безотказность и надежность, применяется защитное покрытие радиоэлементов. В настоящие время благодаря своим характеристикам широко используются полимерные покрытие. На предприятии АО «РКЦ «Прогресс» по этой тематике осуществляется научно-исследовательской работа «Исследование возможности использования поли-пара-ксилиленого покрытия для защиты бортовой аппаратуры изделий разработки предприятия от воздействия внешних факторов». В связи с этим предполагается использовать ППКП для защиты конструктивных узлов в баках ракетоносителя взамен применяемых лаков (эпоксидные, силиконовые, уретановые). В таблице 1 приведены сравнительные электрические характеристики различных покрытий.

Таблица 1. Электрические характеристики

	ППКП	эпоксиды	силиконы	уретаны
Эл. прочность, кВ/мм	260	90	79	138
Удельное объемное сопротивление	$1,4*10^{17}$	10^{14}	10^{15}	$2*10^{15}$
Поверхностное сопротивление, Ом	10^{13}	$5*10^{13}$	$3*10^{13}$	$6*10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь				
60 Гц	0,0002	0,03	0,0005	0,01
10^3 Гц	0,0002	0,03	0,0004	0,01
10^6 Гц	0,0002	0,04	0,0008	0,01

Главным недостатком применения ППКП является диапазон рабочих температур от минус 100˚С до +200˚С (при отсутствии кислорода до +450˚С). Температура в предполагаемом месте защиты составляет минус 196˚С.

II. Достоинства ППКП

Основными достоинствами поли-пара-ксилиленовых покрытий являются:

1) Сплошность и равномерность по толщине на любых поверхностях, в том числе под элементами, на местах паек, выводах и т.п.;
2) Низкая влаго- и газопроницаемость;
3) Высокие электроизоляционные свойства;
4) Толщина покрытия от 5 мкм.

III. Методы испытаний

Для подтверждения возможности применения ППКП для защиты радиоэлектронных компонентов в азотной среде необходимо доказать целесообразность использования предложенного покрытия. С этой целью был проведен следующий объем испытаний:

1) Устойчивость к повышенной влажности.
2) Устойчивость к компонентам топлива.
3) Устойчивость к термоудару.

В ходе испытаний было произведено следующее:

1) Нанесение ППКП на конденсатор;
2) Выдержка конденсатора в течении 8 суток в камере с повышенной влажностью 95-98%;
3) Выдержка конденсатора в жидком азоте в течении 100 часов;
4) Выдержка конденсатора в жидком азоте в течении 2 часов, затем немедленное перемещение в камеру тепла с температурой 200°С на 3.5 минуты;

По окончании каждого вида испытаний производилась проверка емкости конденсатора, сопротивления изоляции и электрической прочности изоляции.

Выводы

Покрытие ППКП выдержало все воздействия- не отслоилось и не утратило своих защитных свойств. Результатом проделанной работы является подтверждение возможности применения покрытия типа поли-пара-ксилилен в криогенных условиях, что дает ряд преимуществ перед лаками, который применяется в данный момент:

1) Выдерживает более высокие напряжения.
2) Проникает во все щели.
3) Высокая влагостойкость.
4) Использование отечественного сырья.

Данное исследование позволят расширить область применения покрытия ППКП и использовать его для защиты ЭРИ датчиков заправки топлива, датчиков уровня и т.п. взамен лаков, за счет увеличения диапазона рабочих температур.

Благодарности

АО «РКЦ «Прогресс»

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gorham W.F. “J.Polymer Sci.”, 1966, A-1, 4, №12, p.3027-3039.
[2] Buller K.-U. Heat and heat-resistant polymers. / Per. with it. M .: Chemistry, 1984 - 1056s.
[3] Kaloshina NV, Grechanik GT Tests based coatings polipara-xylylene // Technology aviation instrument and agregatostroeniya. 1988, №2, s.8-10.
[4] Murthy N.S., Kim H.-g. Molecular packing in alkylated and chlorinated poly-n-xylylenes // Polymer. 1984, 25, №3, p.1093-1096.

Зависимость приращения коэффициента подъёмной силы крыла с щелевой механизацией от параметров аэродинамической щели при посадке

С.К. Кириакиди, И.С. Роговский, А.И. Казакевич

Воронежский государственный технический университет, РОССИЯ, 394026, rector@vorstu.ru

Реферат – **В работе приведены результаты исследований щелевой механизации конфигурации «посадка» для крыла со сдвижной верхней панелью и закрылком, содержащим носовую поворотную панель и подвижную хвостовую часть.**

Цель работы – исследование влияния величины перехлёста сдвижной панели крыла и носовой части щелевого закрылка на приращение коэффициента подъёмной силы крыла со сдвижной панелью при посадке.

Ключевые слова **– скорость потока, угол атаки крыла, величина относительной хорды закрылка, величина относительной части поворотного хвостового звена, угол отклонения хвостика закрылка, приращение коэффициента подъемной силы, щелевая механизация, аэродинамическая щель**

I. Введение

В работе приведены результаты исследований щелевой механизации конфигурации «посадка» для крыла со сдвижной верхней панелью и закрылком, содержащим носовую поворотную панель и подвижную хвостовую часть.

Цель работы – исследование влияния величины перехлёста сдвижной панели крыла и носовой части щелевого закрылка на приращение коэффициента подъёмной силы крыла со сдвижной панелью при посадке.

Исходными данными и условиями являются:

1) Скорость потока:
$v = 50$ *(м/с)*
2) Угол атаки крыла:
$\alpha = 8^\circ$
3) Величина относительной хорды закрылка:

$$\bar{b}_з = \frac{b_з}{b} = 0.378$$

4) Величина относительной части поворотного хвостового звена закрылка («хвостика»):

$$\bar{b}_{хв} = \frac{b_{хв}}{b_з} = 0.365$$

5) Угол отклонения хвостика закрылка:
$\delta_{хв} = 32^\circ$
6) Величина относительного зазора между крылом (сдвижной панелью) и закрылком:

$$\bar{e} = \frac{e}{b} = 0.049$$

7) Угол отклонения закрылка при посадке:
$\delta_з = 43^\circ$
8) Величина относительной хорды поворотной панели закрылка:

$$\bar{b}_{пп} = \frac{b_{пп}}{b} = 0.052$$

9) Угол отклонения носовой панели закрылка:
$\varphi = 85^\circ$

II. Материалы и методы

Расчёты по определению коэффициента подъёмной силы крыла с механизацией (приращения данного коэффициента при посадке) были выполнены с использованием пакета Flow Works для Solid Works при следующих относительных значениях перехлёста крыла (хвостовой части подвижной панели крыла) и носовой части закрылка $\overline{m}$:
$\overline{m} = 0.025$; $\overline{m} = 0.030$; $\overline{m} = 0.035$; $\overline{m} = 0.040$; $\overline{m} = 0.047$;
$\overline{m} = 0.047$; $\overline{m} = 0.050$; $\overline{m} = 0.055$.

III. Результаты

Результаты представлены в таблице 1 и на графике на рис.1

Таблица 1. Результаты вычислений
Таблица 1

$N_{n\backslash n}$	α°	β°	$\overline{m}$	ΔC_y
1	8	43	0.025	3.104
2			0.030	3.202
3			0.035	3.148
4			0.040	3.158
5			0.047	3.130
6			0.050	3.108
7			0.055	3.108

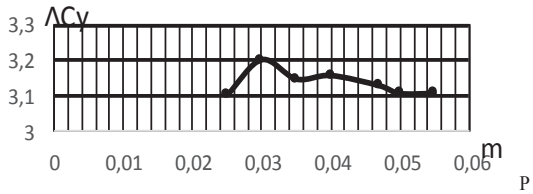


Рис.1 График зависимости приращенного коэффициента подъёмной силы от величины перехлеста $\overline{m} = 0.030$

Выводы

Из графика (рис.1) следует, что максимум приращения коэффициента подъёмной силы механизированного крыла со сдвижной верхней панелью при посадке, при сформулированных выше исходных параметрах, достигнут при величине относительного перехлёста крыла и закрылка $\overline{m} = 0.030$.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Житомирский,Г.И. Конструкция самолётов:Учебник для студентов авиационных специальностей вузов / Г.И.Житомирский – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005 – 406 с.: ил.
[2] МхитарянА.М.Аэродинамика:учебник/А.М. Мхитарян – М.: Машиностроение, 1976 – 448 с. с ил.

Пневмотермическая формовка и пневмотермическая формовка - диффузионная сварка деталей и многослойных конструкций летательных аппаратов в режиме сверхпластичности

А.В. Колесников, А.В. Колесник, А.П. Заболотский

Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет, РОССИЯ, 664074, info@istu.edu

Реферат **– в работе описано применение пневмотермической формовки для изготовления листовых деталей из титанового сплава ОТ4-1, а также метода пневмотермической формовки и диффузионной сварки для изготовления многослойной конструкции из титанового сплава ВТ20. С помощью виртуального моделирования в программе «MSC Marc» определены параметры формовки.**

Ключевые слова **- пневмотермическая формовка,**

сверхпластичность, многослойные конструкции, титановые сплавы

I. Введение

В современных конструкциях летательных аппаратов неуклонно увеличивается применение

Пневмотермическая формовка (ПТФ) и пневмотермическая формовка, совмещённая с диффузионной сваркой (ПТФ/ДС) в режиме сверхпластичности, повышает эффективность производства деталей из титановых сплавов.

II. Методы и средства

На примере формовки деталей типа «Обтекатель» (рис.1) из титанового сплава ОТ4-1, толщиной 0.5 мм показана возможность изготовления авиационных деталей методом ПТФ на основе результатов виртуального моделирования процесса формообразования.

При изготовлении деталей методом ПТФ необходимо поддерживать режимы процесса формовки, при которых обеспечиваются условия сверхпластичности, такие как обеспечение постоянства скорости деформации и напряжения течения в очаге деформации. Для обеспечения этих условий необходимо изменять давление формовки по времени в процессе изготовления. Для определения закона изменения давления формовки по времени при изготовлении деталей был применён программный комплекс «MSC Marc». Параметры сверхпластичности сплавов для расчёта пневмотермической формовки приняты по данным научно-технической литературы.

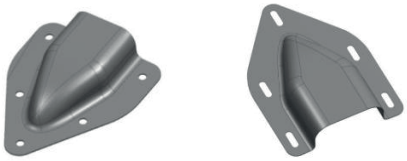


Рис. 1. Обтекатели

Программный комплекс «MSC Marc» позволил рассчитать распределение относительных деформаций по поверхности детали (Рис. 2). Из анализа распределения относительных деформаций следует, что максимальные относительные деформации заготовки составляют 50%. Так как, для сплава ОТ4-1 допустимая относительная деформация в режиме сверхпластичности составляет более 200%, то рассчитанные значения являются допустимыми и не приведут к разрушению деталей в процессе формовки

труднодеформируемых титановых сплавов. Однако широкое применение титановых сплавов сдерживается их низкой технологичностью при обработке, большой трудоемкостью и стоимостью изготовления изделий.

.

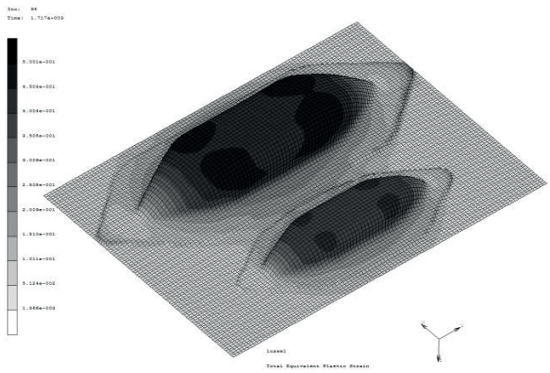


Рис. 2. Относительные деформации при формовке обтекателей

III. Результаты

По рассчитанным в результате моделирования параметрам формовки на прессе сверхпластической формовки «FSP 60T» при температуре 890°С была выполнена пневмотермическая формовка обтекателей (рис.3).

Рис. 3. Отформованные детали

На рис. 4 показаны обтекатели после обрезки по контуру, сверления отверстий и осветления.

Рис. 4. Детали обтекатели

Особенно эффективна пневмотермическая формовка, совмещенная с диффузионной сваркой, для изготовления многослойных конструкций (рис. 5).

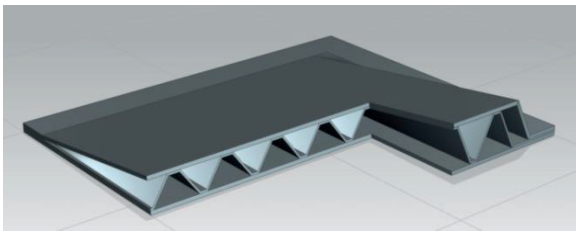


Рис. 5. Клиновидная панель

Моделирование формообразования клиновидной панели из титанового сплава ВТ20 ОСТ1 90218-76 представлено на рис. 6. Моделирование проводилось с целью анализа процесса формообразования и определения графика зависимости давления формовки по времени.

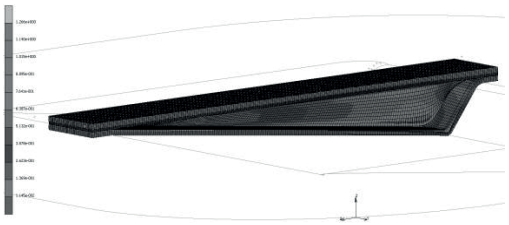


Рис. 6. Относительные деформации при формовке клиновидной панели

Из анализа распределения относительных деформаций (рис. 6) следует, что максимальные относительные деформации в конструкции составляют 126,6%. Так как для титанового сплава ВТ20 допустимая относительная деформация в режиме сверхпластичности составляет около 400%, то рассчитанные значения являются допустимыми и не приведут к разрушению конструкции в процессе формовки.

Закон изменения давления формовки по времени (Рис. 7) для изготовления клиновидной панели рассчитывается из условия постоянства скорости деформации ребра гофра в режиме сверхпластичности.

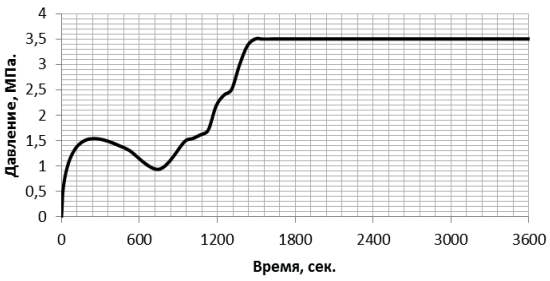


Рис. 7. График давления формовки клиновидной панели

По рассчитанным параметрам ПТФ/ДС была осуществлена формовка клиновидной трехслойной панели габаритными размерами 212х188х22,5 мм из титанового сплава ВТ20 на прессе сверхпластической формовки и диффузионной сварки «FSP 60Т» при температуре 950°С. На рис. 8 представлена изготовленная клиновидная трёхслойная панель.

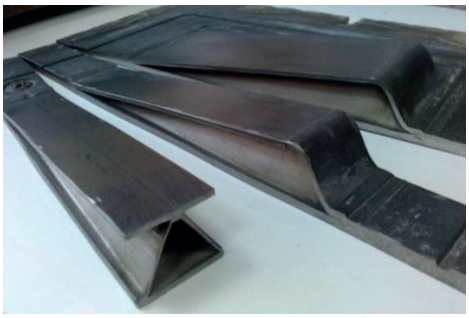


Рис. 8. Гофр клиновидной трёхслойной панели

Выводы

Таким образом, по результатам моделирования в условиях научно-исследовательской лаборатории ИрНИТУ методом ПТФ и ПТФ/ДС были изготовлены сложных однолистовые детали и многослойные конструкции, показывающие большие возможности данной технологии.

Дальнейшие исследования процесса пневмотермической формовки в ИрНИТУ, связаны с уточнением параметров сверхпластичности, определения оптимальных режимов формовки и анализа возможностей технологии ПТФ и ПТФ/ДС при изготовлении сложных конструкций из труднодеформируемых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Смирнов О.М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности – М.: Машиностроение, 1979.

[2] Чумаченко Е.Н. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии / Е.Н. Чумаченко, О.М. Смирнов, М.А. Цепин. М.: КомКнига, 2005.

[3] Колесников А.В. Предотвращение возникновения дефектов в процессе пневмотермической формовки трёхслойных панелей из титановых сплавов// Вестник МАИ, 2014, Т.21, №2, с.66-74.

Автоматизация процесса нивелирования узлов подвески при агрегатной сборке летательного аппарата

М.Р. Крупский, В.И. Зайков

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, knastu@knastu.ru

Реферат **– В контрольно-монтажных работах, выполняемых при изготовлении самолета, важное место занимают технологические процессы монтажа блоков оборудования систем навигации и вооружения самолета. Важность указанных выше технологических процессов объясняется функциональным назначением этого оборудования. Основные блоки систем навигации и вооружения должны иметь точную угловую ориентацию относительно осей самолета. Следовательно, посадочные места под эти блоки в узлах, устанавливаемых на самолёт, также должны иметь соответствующую угловую ориентацию относительно его осей.**

С увеличением скоростей летательного аппарата возрастают требования к точности выполнения теоретических обводов планера и взаимному расположению его агрегатов. Для обеспечения требуемых допусков на стыковку самолета необходимо в первую очередь иметь наиболее достоверную информацию о положении нивелировочных точек на теоретических поверхностях агрегатов, отсеков. Возникает необходимость не только центрирования, но и измерения смещений объектов относительно оси луча. Этого можно достичь с наименьшей погрешностью при помощи лазерных измерительных систем, как на стадии агрегатной сборки, так и при стыковке планера.

Ключевые слова **– агрегатная сборка, угловая ориентация, лазерные измерительные системы, автоматизация.**

I. Введение

Значительное распространение в авиастроении получили различные оптико-механические приборы, как геодезические (нивелиры, теодолиты), так и специализированные (ППС-7, ППС-11, оптические струны и др.). Оптические приборы, являясь в большинстве своем высокоточными устройствами, при их использовании в сборочно-монтажных процессах в самолетостроении имеют ряд следующих принципиальных недостатков.

1. При работе на относительно небольших расстояниях, характерных для цеховых условий, геодезические приборы могут иметь значительные неустранимые и неконтролируемые погрешности, связанные, например, с необходимостью перефокусировок при наблюдении объектов, расположенных на разных расстояниях.

2. Визирные оси оптических приборов не являются материальными, представляют собой некоторые воображаемые линии, положение которых в пространстве определяется характеристиками и взаимным положением оптических элементов приборов. Это обстоятельство делает невозможным применение более точных, нежели визуальные, методов регистрации результатов измерений.

3. Построение многофункциональных или специализированных пространственных измерительных систем, когда требуется располагать и очень точно увязывать взаимное положение в пространстве оптических, оптико-механических, электронных и других устройств, входящих в такие системы, затруднительно или невозможно.

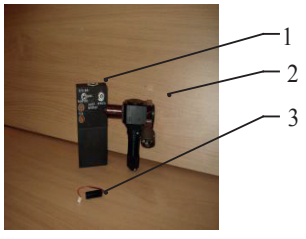
4. Привязка оптико-механических приборов к конкретным конструкциям и техпроцессам требует разработки и изготовления высокоточной специализированной оснастки, которую трудно унифицировать.

5.Ненаглядность и субъективность процессов измерения и контроля, неудобства при работе в цеховых условиях.

6. Сложность и дефицитность многих приборов, требования высокой квалификации исполнителей.

Таким образом, разработка простых, малогабаритных, специализированных лазерных измерительных систем является актуальной задачей.

В рамках научно-исследовательской работы «Лаборатории лазерных технологий» КнАГТУ по тематике «Исследование и разработка оптических систем лазерно-оптических устройств контроля агрегатов и сборочной оснастки на базе полупроводниковых излучателей инжекторного типа» разработано нивелировочные устройство (визир) на основе полупроводниковых лазеров инжекционного типа рис. 1.

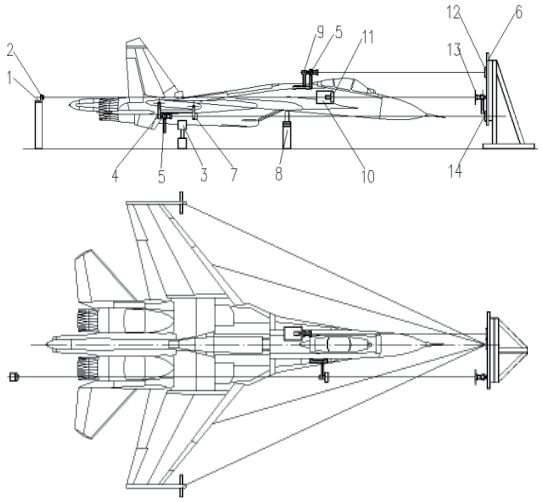


1 – блок питания; 2 – лазерный визир; 3 – источник излучения
Рис. 1. Общий вид лазерного визира

Лазерный визир является оптико-электронным устройством и в комплекте с контрольно-измерительной оснасткой предназначен для задания с помощью лазерного пучка базовых, технологических и монтажных осей с последующим измерением линейных и угловых отклонений. Схема применения визира представлена на рис. 2.

В качестве источника излучения в конструкции лазерного визира используется полупроводниковый

инжекционный лазер на основе GaAs, генерирующий световой пучок в видимом диапазоне на длине волны λ = 0,63-0,68 мкм.



1 – узел под визуальный целевой знак; 2 – визуальный целевой знак; 3 – регулируемый ложемент; 4, 9, 10 – технологические приспособления; 5 – лазерный излучатель; 6 – координатный щит; 7 – блок управления лучом; 8 – регулируемая шаровая опора; 11 – зеркальный датчик; 12, 13,14 – мишени
Рис. 2. Лазерная измерительная система для контроля посадочных мест оборудования самолета

Оптическая система лазерного визира формирует протяженный осесимметричный лазерный пучок интерференционной структуры. Интерференционная структура в поперечном сечении лазерного пучка имеет вид контрастных кольцевых полос с ярко выраженным световым пятном в центре на оси лазерного пучка рис. 3.

Рис. 3. Интерференционная структура в поперечном сечении лазерного пучка

Диаметр центрального светового пятна изменяется по дистанции измерения в пределах от 0,1 мм до 1,5 мм, что позволяет осуществлять наведение и визирование с погрешностью не превышающей 0,01мм. Установка лазерного визира в рабочее положение по оси координатно-фиксирующих отверстий осуществляется за счет посадочного хвостовика, закрепленного на корпусе лазерного визира. Ось посадочного хвостовика и ось лазерного пучка согласованы по линейному и угловому взаимному смещению с погрешностью не превышающей соответственно 0,01 мм и 0,5 угл.секунд. Для автоматизации определения координат энергетического центра изображения поперечного сечения лазерного пучка интерференционной структуры разработан программный продукт, позволяющий анализировать пространственно-энергетические характеристики пучка.

II. Алгоритм определения центра интенсивности изображения поперечного сечения лазерного пучка

Для анализа пространственно-энергетических характеристик интерференционного створофиксатора используются изображения поперечного сечения лазерного пучка. В зависимости от ориентации контролируемого приспособления относительно оси ЛА, лазерный луч может падать на электронную марку под некоторым углом, образуя на ее поверхности эллипсы Рис. 4..

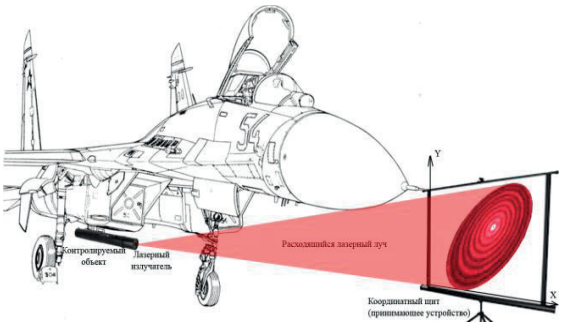


Рис. 4. Изображение поперечного сечения лазерного пучка интерференционной структуры под некоторым углом

В зависимости от ориентации контролируемого приспособления относительно оси ЛА, лазерный пучок может падать на край электронной марки. Различные вариации смещения оптического центра относительно центра системы координат принимающего устройства представлены на Рис. 5.

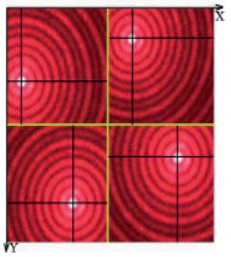


Рис. 5. Варианты расположения лазерного пучка в плоскости экрана электронной марки

Центр масс (центр инерции) системы материальных точек – условная (или эквивалентная) точка, представляющая собой одну из геометрических характеристик распределения масс в системе. За эквивалентный показатель массы при анализе структуры пучка принята интенсивность цвета.

Пусть mi – масса i-той (i=1,…,n) точки системы, а ri– радиус-вектор этой точки в некоторой системе координат. Тогда радиус-вектор rc точки C – центра масс определяется по формуле:

$$r_c = \frac{\sum_i r_i m_i}{\sum_i m_i},$$ где:

rc - радиус-вектор центра масс,
ri - радиус-вектор i-й точки системы,
mi - масса i-й точки.

Реализован алгоритм для нахождения оптического центра изображения поперечного сечения лазерного пучка методом центра масс (интенсивности).

За вес пикселя (xi, yi) принималась интенсивность его цвета I(xi, yi).

По аналогии с механическими системами, где центр масс системы определяется как средне взвешенное значение, можно записать:

$$X^{n}_{ц.м.} = \frac{\rho(x_0)x_0 + \rho(x_1)x_1 + ... + \rho(x_n)x_n}{\rho(x_0) + \rho(x_1) + ... + \rho(x_n)}, \text{где} \quad \rho(x) = \sum_{y=0}^{\infty} I(x,y)$$

$$Y^{n}_{ц.м.} = \frac{\rho(y_0)y_0 + \rho(y_1)y_1 + ... + \rho(y_n)y_n}{\rho(y_0) + \rho(y_1) + ... + \rho(y_n)}, \text{где} \quad \rho(y) = \sum_{x=0}^{\infty} I(x,y), \text{где:}$$

(xi, yi) – координаты текущего пикселя, I – интенсивность его цвета.

Модель для расчета центра масс пучка представлена на рис. 6.

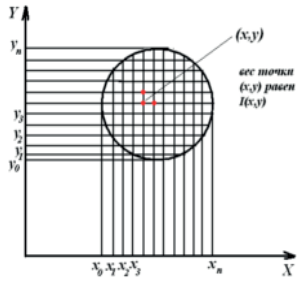


Рис. 6. Модель для расчета центра масс пучка

Интерфейс программного модуля, а также результат определения координат изображения поперечного сечения лазерного пучка интерференционной структуры методом центра интенсивности представлены на рис. 7.

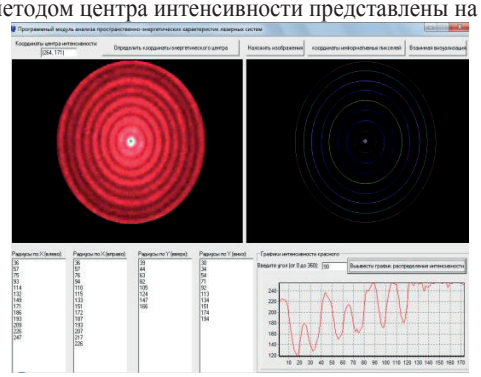


Рис. 7. Интерфейс рабочего окна программного модуля

Выводы

Разработан программный продукт, позволяющий анализировать пространственно-энергетические характеристики пучка лазерного створофиксатора, с возможностями различными методами определять координаты энергетического центра изображения поперечного сечения лазерного пучка интерференционной структуры.

Разработанный программно-аппаратный комплекс будет использоваться в лаборатории лазерной техники КнАГТУ для дальнейшего исследования пространственно-энергетических характеристик лазерного створофиксатора и определения метрологических характеристик лазерной оптической системы. Также в дальнейшем планируется внедрение программного модуля в агрегатно-сборочное производство Филиала ОАО «Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А.Гагарина».

ЛИТЕРАТУРА

[1] Иванов, Ю. Л. Стыковка и нивелировка самолетов с использованием лазерных измерительных систем / Ю. Л. Иванов / Сборка в машиностроении, приборостроении, «НАУКА»; - М. 2004. – С. 463.

[2] Зайков, В. И. Оценка кривизны поверхности волнового фронта / В.И. Зайков, М.Р. Крупский // Лазеры. Измерения. Информация.2013: сб. докладов 23-й Междунар. конф. – Т. 1. – 2013 – С. 42-48.

[3] Зайков, В. И. Исследование модели аберрационного лазерного излучателя / В.И. Зайков, М.Р. Крупский // Инновационные материалы и технологии: достижения, проблемы, решения. Школа-семинар по фундаментальным основам создания инновационных материалов и технологий: материалы Междунар. науч.-техн. конф. в 2 ч. ч. 2. – 2013 – С. 89-93.

[4] Муравьев, В. И. Монтаж и увязка сборочной оснастки / В. И. Муравьев / Сборка в машиностроении, приборостроении, «РусГео»; - М. 2003. – С. 283.

[5] Зайков, В. И. Расчет пространственных параметров дифракционно ограниченого лазерного пучка / В.И. Зайков, М.Р. Крупский // Ученые записки КнАГТУ Науки о природе и технике – 2014. - №III-1(19). – С. 11-16.

[6] Потёмкин, Ф.В. Измерение пространственных характеристик лазерного пучка / Ф.В. Потемкин, П. М. Михеев // МГУ им. Ломоносова. – 2010. – № 6 (87). – С. 164-171.

Концепция проектирования двухступенчатых пневматических микротурбин

Ю.П. Кузнецов , В.Л. Химич , С.Н. Хрунков , А.А. Крайнов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, РОССИЯ, tseu@nntu.nnov.ru

Реферат **– данная работа направлена на создание средств повышения производительности и качества выполнения технологических операций при производстве объектов авиационной, морской и речной техники. Рассматриваются вопросы теории микротурбинного привода для ручного пневматического шлифовального инструмента. Предложена концепция проектирования двухступенчатых пневматических микротурбин для привода ручного шлифовального инструмента, обеспечивающего более полное использования современного быстрорежущего инструмента, по сравнению с существующими аналогами.**

Ключевые слова **- микротурбина, газовая динамика, сопловой аппарат, рабочее колесо, пневматический инструмент, технология, судостроение, авиастроение**

I. Введение

В настоящее время большая доля разнообразных доводочных работ во многих отраслях промышленности, таких как авиа- и судостроение, машиностроение, строительство и т.д., выполняется с помощью пневматических шлифовальных машин. Пневматические машины пожаро- и электробезопасны, эргономичны, обладают большим моторесурсом, способны работать в широком диапазоне температур, при повышенной влажности, в загрязненных и запыленных пространствах. Высокая удельная мощность пневмодвигателей обеспечивает небольшие размеры и вес пневмомашин, что способствует меньшей утомляемости рабочих и более высокой производительности труда.

Дальнейшее повышение производительности труда при выполнении трудоемких доводочных операций может быть обеспечено переходом к высокоскоростному шлифованию. Поэтому за последние 10─15 лет абразивной промышленностью был освоен выпуск высокоскоростных шлифовальных кругов со скоростями резания от 80 до 120 м/с (завод «Ильич», СПб) и высокоскоростных твердосплавных борфрез (фирмы Solid Carbide Tools, SGS, Carbid Burr Kids, Best Carbide и др.).

Из теории высокоскоростного шлифования известно, что повышение скорости резания позволяет существенно (в 3–5 раз) повысить производительность процесса шлифования при одновременном повышении качества обрабатываемой поверхности. Для высокоскоростного режущего инструмента потребовались шлифовальные машины с частотой вращения ротора от 20 до 130 тысяч 1/мин, причем, для обеспечения рекомендованных условий работы шлифовального круга или борфрезы, одновременно с повышением частоты вращения ротора соответственно должна быть соответственно увеличена и мощность привода. Многие производители пневматического инструмента (фирмы Biax, Pferd, ATA-Group, Daewoo) среагировали на эту тенденцию, и в их каталогах появились высокооборотные машины с частотой вращения 20–70 тысяч 1/мин. В качестве привода использовался традиционный ротационно-пластинчатый двигатель, которым в настоящее время оснащены 99% парка пневматических машин. Однако, в силу особенностей рабочего процесса ротационного двигателя, одновременно повысить частоту вращения и мощность двигателя практически невозможно [1]. В результате мощность ротационного привода, как правило, получается заниженной, что не позволяет в должной мере реализовать положительные качества высокоскоростных шлифовальных кругов и борфрез.

Решением проблемы представляется применение в пневматических машинах микротурбинного привода. Однако имеются серьезные научные и технологические проблемы, затрудняющие использование турбопривода в пневматическом инструменте. Основная проблема заключается в трудностях создания микротурбины, эффективно работающей при малом отношении скоростей $u_2/c_0 \leq 0.15$, где u_2 – окружная скорость лопаток турбины, c_0 – скорость истечения потока из сопел турбины ($c_0 \approx 450$ м/с) [2]. Для полноразмерных турбоприводов традиционным подходом к решению этой проблемы является применение многоступенчатых турбин. Для микротурбин такое решение затруднено вследствие крайне малых размеров их проточной части. Есть также существенные технологические проблемы: так, например, осевые турбины не могут быть изготовлены путем литья в пресс-формах и требуют изготовления путем объемного фрезерования на пятикоординатных станках с ЧПУ, что резко повышает стоимость двигателя и затрудняет массовое производство. Кроме того, следует также учесть, что применение турбопривода в пневмоинструменте возможно только вместе с надежным регулятором частоты вращения ротора, обеспечивающим стабильность оборотов ротора под изменяющейся нагрузкой и ограничивающим обороты холостого хода. Регулятор должен быть технологичным и недорогим в изготовлении, компактным и точным, обладать высоким быстродействием. Конструкция регулятора должна хорошо компоноваться с турбиной, что также значительно влияет на выбор кинематической схемы турбинной ступени.

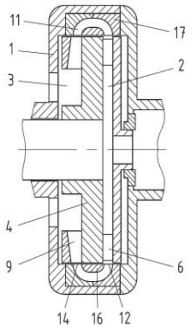
II. Материалы и методы

Поскольку осевые микротурбины имеют, вследствие высокого радиального градиента давления, недопустимо высокий уровень утечек в радиальный зазор, то следует рассматривать кинематические схемы с радиальными ступенями. Перспективной кинематической схемой является двухступенчатая турбина, в которой в качестве первой ступени используются струйно-реактивные турбины со 100%-ной степенью реактивности. Такой выбор определяется тем, что струйно-реактивные турбины позволяют скомпоновать турбину с регулятором частоты вращения ротора таким образом, что исключаются утечки потока воздуха, проходящие через турбину, минуя регулятор.

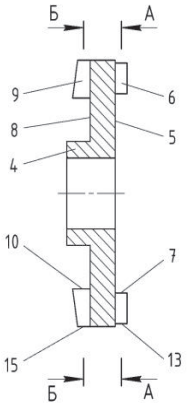
Решение [3], обеспечивающее повышение энергетической эффективности, достигается тем, что в турбинном приводе, рисунок 1, содержащем корпус, размещенные в корпусе впускной и выпускной каналы и турбинное колесо, выполненное в виде диска с двумя боковыми поверхностями, на одной из которых размещена группа центробежных сопел с входным сечением, сообщенным с впускным каналом. На противоположной боковой поверхности турбинного колеса размещен венец центростремительных рабочих лопаток с выходным сечением, сообщенным с выпускным каналом, а в корпусе со стороны периферийной поверхности турбинного колеса неподвижно установлена перепускная камера. Входное сечение камеры расположено напротив выходного сечения группы центробежных сопел, а выходное сечение расположено напротив входного сечения венца центростремительных рабочих лопаток, при этом перепускная камера содержит внутренний кожух, наружный кожух, охватывающий внутренний кожух по периферии, и направляющий аппарат, размещенный в зазоре между внутренним кожухом и наружным кожухом. Направляющий аппарат выполнен в виде направляющих лопаток, у которых входные кромки расположены со стороны входного сечения перепускной камеры, а выходные кромки расположены со стороны со стороны выходного сечения перепускной камеры. У направляющих лопаток сечение входных кромок может быть совмещено с входным сечением перепускной камеры, а сечение выходных кромок совмещено с выходным сечением перепускной камеры.

Окружной коэффициент полезного действия струйно-реактивной ступени давления центробежно-центростремительной микротурбины определяется потерями кинетической энергии с выходящим потоком и потерями энергии в лопатках рабочего колеса, обусловленными необратимыми составляющими протекающих процессов (трение, внезапное расширение, вихреобразование и другие виды потерь). Вычислить окружной коэффициент полезного действия можно по отношению удельной работы на окружности и располагаемой работы:

$$\eta_{|u} = A_u \Big/ A_0 \qquad (1)$$



а) продольный разрез турбинного привода



б) продольный разрез рабочего колеса

Рис. 1. Турбинный привод
1 - корпус, 2 - впускной канал, 3 - выпускной канал, 4 - турбинное колесо, 5 - боковая поверхность турбинного колеса, 6 - группа центробежных сопел, 7 - входное сечение группы центробежных сопел, 8 - боковая поверхность турбинного колеса, 9 - венец центростремительных рабочих лопаток, 10 - выходное сечение венца центростремительных рабочих лопаток, 11 - перепускная камера, 12 - входное сечение перепускной камеры, 13 - выходное сечение группы центробежных сопел, 14 - выходное сечение центростремительных рабочих лопаток, 15 - входного сечение венца центростремительных рабочих лопаток, 16 - внутренний кожух, 17 - наружный кожух

В соответствии с уравнениями Эйлера элементарной струйной теории центробежных машин [4] удельная окружная работа определяется как произведение окружной скорости рабочего колеса u_2 и абсолютной скоростью рабочего тела на выходе из рабочего колеса c_2:

$$A_u = u_2 \cdot c_2 \qquad (2)$$

С учетом того, что относительную скорость рабочего тела на выходе из рабочего колеса ω_2 можно определить с учетом коэффициента потерь энергии ψ через энтальпию торможения потока i_2^*:

$$A_u = u_2 \cdot c_2 = u_2 \cdot (\omega_2 - u_2) = u_2 \cdot \left(\psi \cdot \sqrt{2 \cdot i_2^*} - u_2\right) = u_2 \cdot \left(\psi \cdot \sqrt{2 \cdot (i_0 + i_2)} - u_2\right) = u_2 \cdot \left(\psi \cdot \sqrt{c_0^2 + u_2^2} - u_2\right) \qquad (3)$$

Тогда, учитывая, что располагаемую работу можно определить через перепад энтальпий по скорости c_0, окружной коэффициент полезного действия можно рассчитать следующим образом:

$$\eta_{|u} = \frac{A_u}{A_0} = \frac{u_2 \cdot \left(\psi \cdot \sqrt{c_0^2 + u_2^2} - u_2\right)}{\frac{c_0^2}{2}} = 2 \cdot \frac{u_2}{c_0} \cdot \left(\psi \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{u_2}{c_0}\right)^2} - \frac{u_2}{c_0}\right) \quad (4)$$

III. Результаты

Основной теоретической потерей энергии являются потери с кинетической энергией уходящего потока. Для их анализа примем, что потери в следствии необратимости процессов отсутствуют (ψ=1). Результаты проведенных расчетов приведены на рисунке 2.

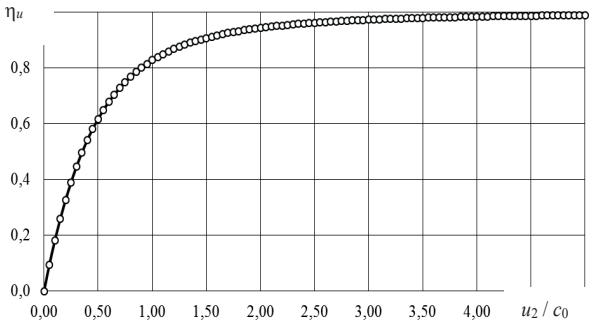


Рисунок 2. Окружной коэффициент полезного действия струйно-реактивной ступени давления центробежно-центростремительной микротурбины с учетом потерь только с кинетической энергией уходящего потока.

Однако в реальных микротурбинах имеют место потери энергии от трения в рабочем канале, внезапного расширения на выходе из сопла, вихреобразования на косом срезе сопла и ряд других потерь, зависящих от квадрата скорости течения рабочего тела. Эти потери обусловлены как относительной скоростью течения рабочего тела вдоль газовых каналов, так и переносной скоростью от вращения рабочего колеса, обеспечивающей изменение абсолютной скорости рабочего тела.

Результаты расчетов окружного коэффициента полезного действия струйно-реактивной ступени давления центробежно-центростремительной микротурбины с учетом потерь и с кинетической энергией уходящего потока, и от необратимости рабочих процессов, представлены на рисунке 3.

ηu

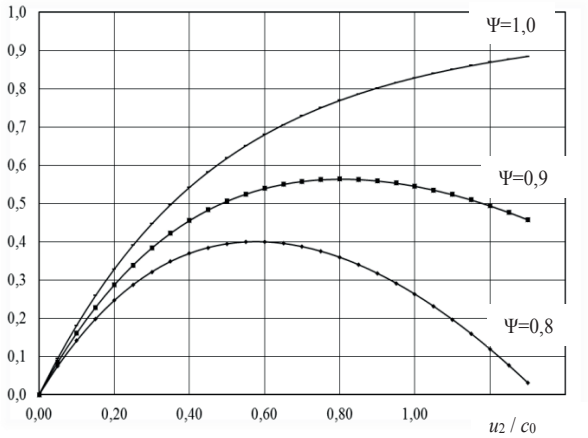


Рисунок 3. Окружной коэффициент полезного действия струйно-реактивной ступени давления центробежно-центростремительной микротурбины с учетом потерь и с кинетической энергией уходящего потока, и от необратимости рабочих процессов

IV. Обсуждения

Анализ представленных данных показывает, что окружной коэффициент полезного действия струйно-реактивной ступени давления центробежно-центростремительной микротурбины с учетом потерь только с кинетической энергией уходящего потока монотонно возрастает с ростом отношения скоростей u_2/c_0 и в бесконечности стремится к единице. Это соответствует снижению скорости рабочего тела на выходе из рабочего колеса. Однако влияние потерь от необратимости рабочих процессов тем выше, чем больше отношение скоростей u_2/c_0 и довольно быстро потери по своим размерам становятся сопоставимы с располагаемой работой [5].

Таким образом, анализ результатов расчетов окружного коэффициента полезного действия струйно-реактивной ступени давления центробежно-центростремительной микротурбины с учетом потерь и с кинетической энергией уходящего потока, и от необратимости рабочих процессов, представленных на рисунке 3, показывает, что в реальных микротурбинах наибольшая эффективность названной ступени давления достигается в рабочем диапазоне отношения скоростей u_2/c_0 не более 0.6…0.8.

Следующим этапом проводимых исследований должны стать разработка теории ступени скорости микротурбины предлагаемой конструкции, ее регулятора и методов их согласования.

Выводы

Предлагаемая концепция проектирования двухступенчатых микротурбин для привода ручного шлифовального инструмента позволяет решить основные проблемы создания микротурбинного привода для более полного использования современного высокоскоростного режущего инструмента:

- одновременное повышение мощности микротурбинного привода и частоты вращения ротора;

• создание высконагруженной микротурбинной ступени, эффективно работающей при малых (до 0.25) отношениях скоростей u_2/c_0.

Для эффективного использования полученных результатов при проектировании пневматических микротурбин необходимо продолжение проводимых исследований.

Благодарности

Исследования, промежуточные результаты которых изложены в данной статье, проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения № 14.577.21.0104 с федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0104).

Литература

[1] Григорьев В.А., Калабухов Д.С., Радько В.М., Мусаткин Н.Ф. Анализ состояния проблемы повышения эффективности турбоприводов сверхмалой мощности и пути ее решения // Авиационно-космическая техника и технология. - 2010. - №7(74). - С. 168-172.

[2] [Ванеев С.М., Королев С.К., Бережной А.С. Расчет оптимальной окружной скорости рабочего колеса струйно-реактивной турбины // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки.- Сумы, 2009.- №4. - С. 22-29.

[3] [Кузнецов Ю.П., Чуваков А.Б. Радиальный турбинный привод // Патент на полезную модель RUS 118358 07.03.2012.

[4] [Кириллов И.И., Кириллов А.И. Теория турбомашин. - Л.: Машиностроение, 1974. - 326 с.

[5] [Косолапов Е.А., Рамс Э.Э., Соленников М.Д., Хрунков С.Н. Квазиодномерный расчет течения газа в турбинных соплах с косым срезом // Современные проблемы науки и образования. - 2014, № 2, С. 50

Использование специального программного обеспечения для анализа технологии изготовления деталей летательных аппаратов из листового материала

Б.Н. Марьин, С.В. Старцев, А.С. Марьин

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013 maryinsb@mail.ru

***Реферат* – представлен универсальный инструмент, позволяющий снизить трудоемкость работ, расширяющий технологические возможности обработки отверстий разных типоразмеров**.

***Ключевые слова* - дорнирование, развертывание, протягивание, комбинированный инструмент, обработка, отверстие.**

I. Введение

Одной из основных задач при создании современных объектов и изделий является обеспечение надёжности и высоких ресурсных показателей. Отказы вследствие повреждений планера самолета в общей сумме отказов составляют 12-30% [1]. Надежность и долговечность авиационных конструкций в значительной степени определяется усталостной прочностью наиболее ответственных деталей и элементов конструкции планера. В процессе эксплуатации разрушения возникают, главным образом, в местах возникновения очагов концентрации напряжений.

Результаты экспериментальных исследований и испытаний на выносливость, а также опыт эксплуатации изделий показали, что ресурс изделия в первую очередь определяется ресурсом болтовых соединений, которые являются концентраторами напряжений и источниками зарождения усталостных трещин. Зарождение усталостных трещин в силовых элементах в зоне установки болтов предопределяется концентрацией напряжений в этой зоне и интенсивностью развития фреттинг-коррозии при контактном взаимодействии и переменных нагрузках, вызывающих деформации и микросмещения деталей.

В конструкции современных самолетов количество болтовых соединений составляет 300 – 300 000 шт., в зависимости от категории самолета, при этом 50-70% болтов устанавливается в высоконагруженных зонах.

Ресурс болтовых соединений в значительной степени зависит от конструктивных параметров этих соединений, способов образования отверстий и установки болтов, характера посадки болта в отверстие, параметров свинчивания соединения, характера контакта сопрягаемых поверхностей. Следовательно, задача обеспечения заданной долговечности болтовых соединений является конструкторско-технологической.

II. Методы и средства

Основными конструктивно-технологическими параметрами, оказывающими влияние на ресурс болтовых соединений, являются:

- характер посадки болта в отверстие;
- упрочняющая обработка отверстий под болты;
- осевая стяжка пакета в результате свинчивания болтового соединения;
- точность и стабильность технологических процессов выполнения соединений.

Совокупность конструктивно-технологических параметров болтового соединения должна обеспечивать благоприятное, с точки зрения долговечности конструкции, напряженно-деформированное состояние (НДС) в зоне соединения. Характер НДС в этой зоне определяется действующими эксплуатационными

нагрузками и величиной остаточных напряжений, возникших в деталях в процессе обработки отверстий под болты, напряжений, вызванных установкой болтов в отверстия с радиальным натягом, и напряжений от силы сжатия пакета деталей в результате свинчивания болтовых соединений.

Для болтовых соединений, работающих на срез, предпочтительным следует считать такой вариант конструктивно-технологического выполнения этих соединений, при котором абсолютные значения растягивающих напряжений в деталях пакета минимальны, сжимающих - максимальны, амплитуда действующих локальных напряжений - минимальна.

Обработка отверстий под болты резанием (сверлением, развертыванием, протягиванием) не создает в поверхностном слое отверстия сколько-нибудь значительных остаточных напряжений. Создание благоприятного НДС достигается применением упрочняющих методов обработки отверстий пластическим деформированием материала деталей в зоне отверстия.

К упрочняющим методам обработки отверстий, нашедшим практическое применение, относятся: раскатка, дорнирование, чеканка переходных кромок отверстий.

Пластическое деформирование деталей при раскатке и дорнировании осуществляется за счет того, что диаметр инструмента (раскатника, дорна) больше диаметра обрабатываемого отверстия, т.е. инструмент входит в отверстие с натягом. Величина натяга при этом равна разности диаметра инструмента и диаметра отверстия, подготовленного под обработку.

Упрочнение отверстий раскаткой

Значение оптимального натяга при раскатывании отверстий составляет 0,6-0,8%. После раскатывания с этим натягом отверстий в пластине из алюминиевого сплава Д16Т величина остаточных напряжений на глубине около 0,3 мм достигает 160-200 МПа. Вблизи поверхности отверстия величина этих напряжений уменьшается в 2,5-4 раза. Применение раскатки отверстий под болты позволяет увеличить долговечность болтовых соединений в 2-3 раза.

Достоинствами процесса раскатывания отверстий, кроме указанного обеспечения благоприятного НДС вблизи отверстия, являются:

- снижение шероховатости поверхности отверстия в результате его раскатывания;
- отсутствие необходимости в применении специального механизированного инструмента.

К недостаткам процесса раскатывания отверстий следует отнести:

- отклонения диаметров отверстий после раскатки, превышающие предельные отклонения;
- сложность конструкции раскатников и, соответственно, их высокая стоимость;
- невозможность создания надежной конструкции раскатников для обработки отверстий диаметром менее 8 мм;
- необходимость периодической регулировки раскатников для обеспечения заданной точности обработки отверстий;
- необходимость выдерживания в процессе раскатки осевой подачи в пределах 0,4-0,8 мм/об. Раскатывание с меньшей подачей приводит к многократному прокатыванию роликов по одному и тому же месту поверхности отверстия, что вызывает перенаклеп и шелушение поверхности.

Упрочнение отверстий методом дорнирования

Упрочнение отверстий методом дорнирования осуществляется за счет создания остаточных напряжений сжатия вблизи отверстия в результате пластического и упругого деформирования материала детали при протягивании дорна через отверстие. Дорнирование отверстий позволяет создать остаточные напряжения сжатия величиной 150-350 МПа в зависимости от величины натяга при дорнировании. Максимальные значения остаточных напряжений сжатия расположены на расстоянии 0,2-0,3 мм от стенки отверстия, а глубина залегания напряжений сжатия достигает 1,5-2,5 мм, что позволяет создать более благоприятное НДС по сравнению с упрочнением методом раскатки.

III. Результаты

Результаты испытаний образцов из алюминиевого сплава В95Т со свободными дорнированными отверстиями диаметром 8 мм (рис.1) показали, что дорнирование отверстий с натягом 3,0-3,5% повышает долговечность образцов примерно в 3-5 раз.

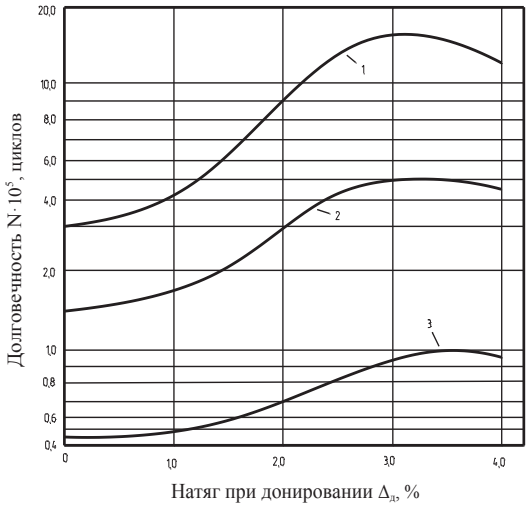


Рис.1. Зависимость долговечности образцов из алюминиевого сплава В95Т с дорнированными отверстиями от натяга при дорнировании и номинальных растягивающих напряжениях при испытаниях: 1 – $\sigma_{ном}$ = 120 МПа; 2 – $\sigma_{ном}$ = 150 МПа; 3 – $\sigma_{ном}$ = 180 МПа

Аналогичные результаты получены при испытаниях образцов двухрядных, двухсрезных болтовых соединений. Материал образцов - алюминиевый сплав В95Т. Отверстия под болты дорнировались с натягами 1,2; 2,4 и 3,6%. Окончательная обработка отверстий осуществлялась развертыванием. Припуск на развертывание составлял 0,02-0,04 мм на сторону. Отклонения диаметров отверстий после развертывания не превышали предельных отклонений по Н7. Болты диаметром 8 мм устанавливались в отверстия с зазором

от 0 до 30 мкм. Свинчивание болтовых соединений осуществлялось крутящим моментом, равным 16 Н-м. Испытания проводились при значениях номинальных растягивающих напряжений 130, 150 и 180 МПа и коэффициентом асимметрии цикла R = 0,1.

Результаты испытаний образцов (рис.2) показали, что при установке болтов с зазором дорнирование отверстий повышает долговечность болтовых соединений примерно в 3 раза. Оптимальное (с точки зрения долговечности) значение натяга при дорнировании зависит от величины действующих напряжений, поэтому величина натяга должна назначаться с учетом величины напряжений, возникающих в конструкции изделия от действия эксплуатационных нагрузок.

Дорнирование применяется для упрочнения отверстий диаметром 5-16 мм в деталях из алюминиевых сплавов. Величина натяга при дорнировании назначается в пределах 0,5-4 %, исходя из условия достижения заданной долговечности конструкции. К недостаткам дорнирования следует отнести искривление образующей отверстия (так называемая «корсетность») и образование наплывов высотой до 0,1 мм и шириной до 1 мм у кромок отверстий. Эти отклонения оказывают отрицательное влияние на долговечность болтовых соединений из-за уменьшения площади контакта болта и стенки отверстия. Особенно сильно это проявляется при малой толщине деталей, входящих в пакет. Для уменьшения вредного влияния корсетности и наплывов рекомендуется перед выполнением дорнирования по кромкам отверстий снять фаски величиной 0,5х45°.

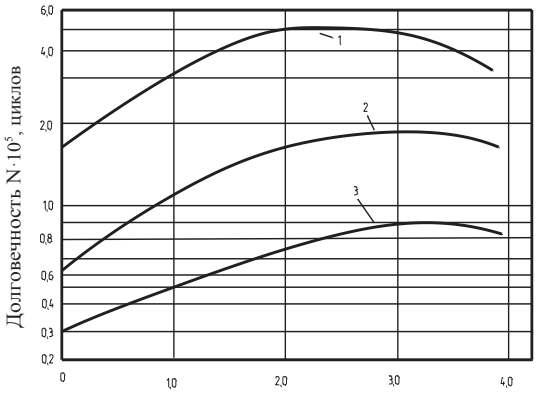


Рис.2. Зависимость долговечности образцов болтовых соединений от натяга при дорнировании отверстий под болты и номинальных растягивающих напряжениях при испытаниях: 1 – $\sigma_{ном}$ = 120 МПа; 2 – $\sigma_{ном}$ = 150 МПа; 3 – $\sigma_{ном}$ = 180 МПа

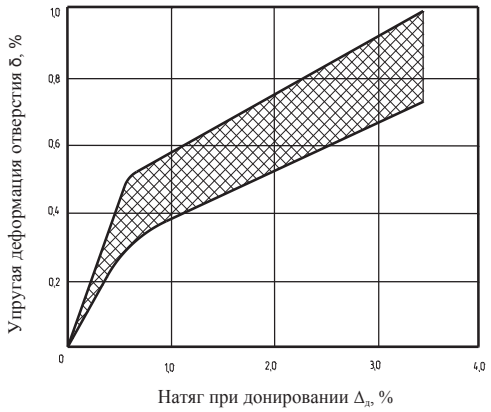


Рис. 3. Зависимость упругой деформации отверстия от натяга при дорнировании

Точность отверстий после дорнирования, как правило, не выше девятого-десятого квалитетов. Это обусловлено, во-первых, разбросом величины упругого восстановления диаметра отверстия после дорнирования (рис. 3.) и, во-вторых, отклонением от цилиндричности отверстия в результате облегченных условий деформирования вблизи кромок отверстия. Поэтому дорнирование в качестве окончательной операции обработки отверстий под болты может применяться для болтов, устанавливаемых с посадками по одиннадцатому-двенадцатому квалитетам. Для болтов, устанавливаемых с посадками по седьмому-девятому квалитетам, после дорнирования необходимо выполнить окончательную обработку отверстий развертыванием или режущим протягиванием. Конструктивно инструмент для обработки отверстий показан на (рис.4.).

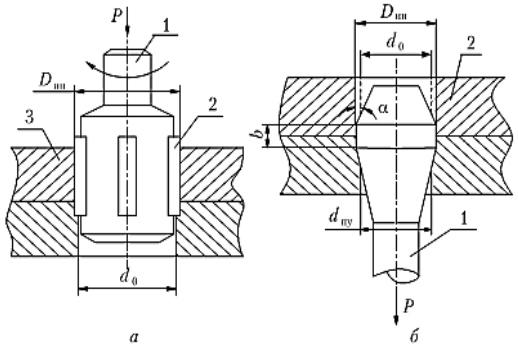


Рис.4. Конструкция инструмента: а) – раскатка; 1-вращающийся инструмент, 2-ролики, 3-изделие; б) – дорнирование; 1-дорн, 2-изделие

Диаметр дорнирующего элемента рассчитывается с учетом величины упругого восстановления диаметра отверстия после прохождения дорна по формуле:

$D_Д = d(1+ \delta/100)$, мм,

где $D_Д$ – исполнительный диаметр дорнирующего элемента, мм; d - диаметр обработанного отверстия, мм; δ - величина упругого восстановления диаметра отверстия, %.

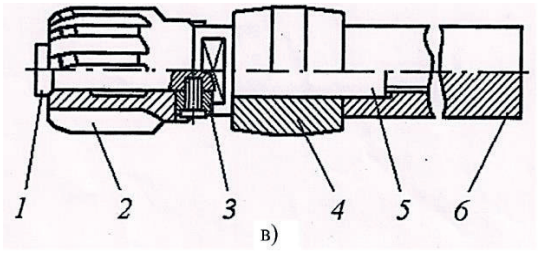


Рис.5 Развертка – дорн: 1 - шпонка; 2 - развертка; 3 - прижимной винт; 4 - дорн; 5 - оправка; 6 - хвостовик

Дорны изготавливаются из инструментальных или быстрорежущих сталей. Твердость дорнирующего элемента должна быть не менее HRC 62-64. Износ дорна в процессе дорнирования происходит из-за адгезионного схватывания в зоне контакта дорна с обрабатываемым материалом. При этом наблюдается ухудшение шероховатости поверхности дорна и стенок обрабатываемого отверстия. Для снижения интенсивности адгезионных процессов дорнирование рекомендуется выполнять с применением смазок. Смазка должна обеспечивать режим гидродинамического трения в процессе дорнирования. К таким смазкам относятся смазки, динамическая вязкость которых выше 200 Па·с, в частности, петролатум ПП-95/5 ГОСТ 4113-80.

Восстановление работоспособности изношенного дорна осуществляется полировкой дорнирующего элемента в пределах допускаемых отклонений на его исполнительный диаметр.

Совместить указанные операции возможно применением комбинированной развёрткой-дорном (рис. 5)[2]. Трудоемкость обработки отверстий в этом случае снижается в два-три раза, однако затраты на обработку отверстий возрастают из-за существенного увеличения расходов на инструмент.

Для осуществления одновременного процесса развёртывания и дорнирования должно быть приложено вращение к развёртке и осевое усилие к дорну, величина которого зависит в основном от диаметра дорнирующего элемента (см. рис.6).

Способ последовательного развёртывания и протягивания дорна, обеспечивающий более высокую стабильность качественных характеристик дорнированных отверстий, является предпочтительным.

.

.

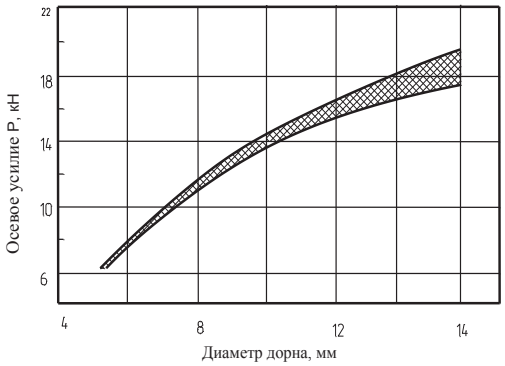


Рис.6. Зависимость требуемого осевого усилия от диаметра дорна при дорнировании с натягом 3%

Последовательное развёртывание и протягивание дорна через отверстие осуществляется с помощью машин моделей или болтозатягивающих машин моделей GBN2-24DFR, МБЗ-1,5, МБЗ-4, оснащенных специальными патронами для закрепления дорновМодель механизированного инструмента выбирается исходя из условия обеспечения необходимого осевого усилия на штоке машины и величины рабочего хода штока на 5-10 мм больше, чем толщина пакета деталей в месте расположения дорнируемого отверстия

Выводы

Достоинствами процесса дорнирования отверстий, кроме указанного обеспечения благоприятного НДС вблизи отверстия, являются:

- снижение шероховатости поверхности отверстий;
- простота конструкции дорнов и, соответственно, их низкая стоимость;
- отсутствие влияния субъективного фактора на качество дорнированных отверстий.

К недостаткам процесса дорнирования отверстий следует отнести:

- отклонения диаметров отверстий после дорнирования из-за корсетности (не менее предельных отклонений по Д9);
- необходимость применения специализированного пневмогидравлического механизированного инструмента

ЛИТЕРАТУРА

[1] Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / Пекарш А.И., Тарасов Ю.М., Кривов Г.А. и др. М.: Аграф-пресс, 2006.-304 с., ил.

[2] Патент № 128138 РФ. Инструмент для обработки отверстий / Быченко В.Н., Марьин Б.Н., Щелкунов Е.Б. и др. - №2012143584/02 Заявлено 11.10.2012; Опубл. 20.05.2013 Бюл. № 14.

[3] Марьин Б.Н. Универсальный инструмент для обработки отверстий под высокоресурсные болтовые соединения в самолётостроении // Б.Н.Марьин, Е.Б.Щелкунов, С.В.Виноградов и др., учёные записки КнАГТУ № 1-1(17), Комсомольск-на-Амуре, 2014, с.10-12.

Особенности контроля деталей летательных аппаратов из листового материала в условиях бесшаблонного производства

В.А. Мишагин

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, n.a.f.a.n.r@mail.ru

Реферат **– Данная статья описывает особенности современного производства в условиях бесшаблонного метода подготовки производства, основой которой является электронное моделирование. Рассмотрены способы контроля деталей из листового материала при данном методе производства.**

Ключевые слова **– КИМ, контроль, точность, ЭМ, измерения.**

I. Введение

Одной из важных тенденцией современного производство является внедрение электронных моделей (ЭМ) и электронного документооборота, что требует пересмотра всех этапов производства, включая изготовление деталей на оборудовании с числовым программным управлением (СЧПУ) и контроль точности готовых изделий.

Традиционным методом контроля, используемым при производстве авиационной техники, были и остаются методы контроля, связанные с анализом прилегания контура деталей к жестким носителям форм и размеров (шаблоны, макеты, эталоны). Данная особенность вызвана спецификой авиационных деталей, имеющих малую жесткость. Развитие науки и техники позволило создать новые методы и средства контроля, позволяющие отказаться от использования жестких носителей форм и размеров. В этом случае принято говорить о бесшаблонном производстве.

У бесшаблонного производства [1] есть ряд основных особенностей:

✓ ЭМ становится эталоном хранения геометрической информации об изделии и используется как средство пространственной увязки сопрягаемых элементов конструкции.

✓ ЭМ используется как первоисточник информации для получения моделей и электронных документов системы

✓ Нет шаблонов, сделанных в металле

Благодаря переходу с традиционного на бесшаблонное производство появляется ряд преимуществ:

- Сокращение в несколько раз цикла и трудоемкости подготовки производства
- Уменьшается количество средств увязки
- Повышается объективность контроля

Эти особенности и преимущества вызваны электронным моделированием и электронной увязкой. Под электронным моделированием принимают представление конструкции изделия в виде плоской или объемной графики, выполненной в программной среде с использованием компьютера и хранящейся на носителях информации. Особенностями электронного моделирования является:

➢ Возможность гибкого редактирования модели и её автоматическая замена в сборках

➢ Возможность посмотреть увязку близрасполагающихся деталей

➢ Параметризация одинаковых деталей различающихся только размерами

Увязка в электронном моделировании значительно легче чем в плазово-шаблонном методе, так как не надо значительных затрат на подготовку производства и высокой точности ручных операций. Однако это вызывает одну из основных проблем в бесшаблонном производстве – это проблема контроля. В свою очередь главной проблемой контроля больших листовых деталей является низкая жесткость, поэтому для их контроля необходимо размещение на жестком каркасе. Но наличие такого каркаса на каждую такую деталь вызовет ряд неудобств:

– Увеличенное время подготовки производства
– Увеличенная металлоемкость
– Большое количество складируемой оснастки

И тогда бесшаблонное производства не даст преимуществ к традиционному производству.

II. Методы контроля

Поэтому для контроля в такой системе производства необходимы универсальные системы контроля [2] [3], такие как:

- Контрольно-измерительные машины (КИМ)
- Лазерные и оптические средства измерений
- 3D сканеры
- И другие (голографический, фотограмметричсекий метод контроля)

Особенностями КИМ (рис.1)является наличие щупа, с помощью которого идет замер по объекту, которые поступают в ПК и идет сравнение с ЭМ. КИМ способны точно измерять сложные объекты. Однако они ограниченны либо габаритами замеряемых объектов (станционарные КИМ) или радиусом действия щупа (мобильные КИМ), поэтому на универсальность применения и простоты в эксплуатации КИМ не претендует.

Лазерные и оптические средств измерения и контроля в основном применяются при стыковке и нивелировке самолета и для контроля деталей из листового материала не используются.

3D-сканирование (рис.2) широко распространяется во всех сферах производства за счет относительно небольших размеров и простоты использования. Принцип работы современных лазерных сканирующих измерительных систем основан использовании лазерной

измерительной головки с круговой триангуляцией. Данные по отсканированному объекту так же сравнивают с ЭМ.

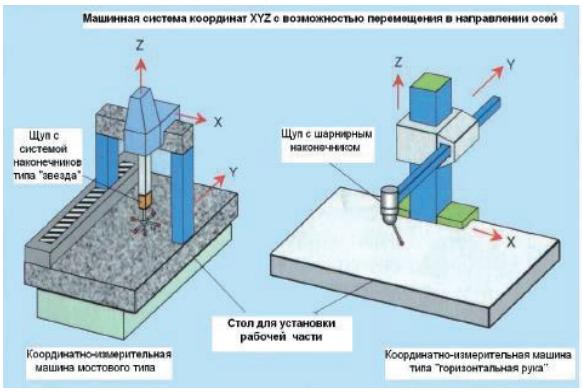


Рис. 1. Основные виды КИМ

Рис. 2. Основные виды 3D сканеров

Голографический метод контроля основан на проекции с помощью волновых полей и способен проецироваться на готовое изделие, на котором наглядно можно увидеть отклонения и получить данные по ним, однако этот способ в настоящее время технически сложен для применения в производстве.

Но все эти методы контроля предполагают что измеряемые детали жесткие, не деформирующиеся под собственным весом. Для деталей из листового материала эти методы в рамках бесшаблонного метода не приемлемы, так как они могу прогибаться под собственным весом, от воздействия контактного щупа в отсутствии жесткого каркаса под ними. Поэтому контроль таких деталей происходит традиционным способом по прилеганию детали на жесткую контрольную оснастку.

III. Многофункциональная оснастка

В ходе проведения исследования, сбора и анализа информации в рамках этой проблемы было найдено решение - многофункциональная оснастка.

Многофункциональная оснастка бывает различной по исполнению (рис.3) передвижных элементов от штырьевой, которая изменяя положение отдельных штырей (количество штырей зависит от необходимой точности, рис.4), принимающих форму детали до шаблонов, которые ставятся на штыри и подымаются на нужную высоту. Элементы могут находиться, как только по внутренней поверхности детали, так и дополнительно по внешним обводам (контрформовка).

Принцип действия этой оснастки основан на использовании электронной модели детали для выставления с помощью электродвигателей элементов (рис.4) оснастки на необходимую высоту. И таким образом одна многофункциональная оснастка может заменить целый склад традиционной. Главным ограничением по применению к деталям могут быть только габариты оснастки.

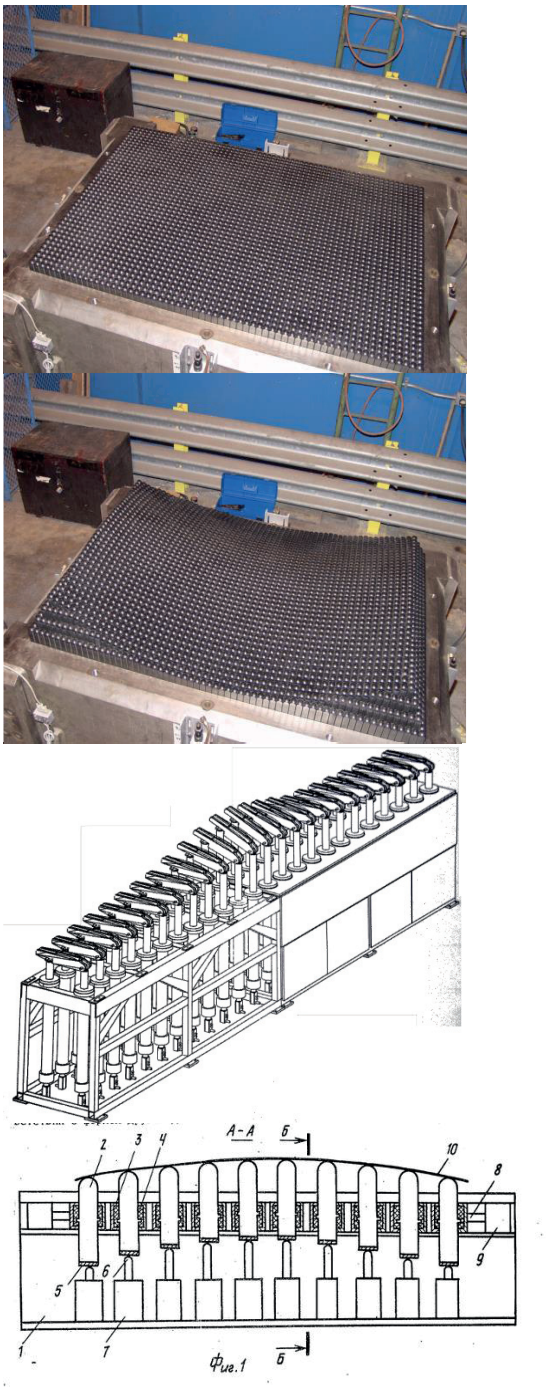


Рис. 3. – Примеры различных видов реконфигурируемой оснастки

По данной тематике широко ведутся исследования и разрабатываются модели, ведется патентирование новых моделей и изобретений, в основном зарубежными компаниями [4]. Эти исследования ищут способы минимизировать количество подвижных элементов, сохраняя заданную точность создания внешних обводов. Принципы передвижения элементов, их внешний вид, способы контроля перемещений и способы стопорения

при выдвижении. Так же ведутся разработки внешнего облика оснастки.

Помимо технической проработки внешнего вида идёт интенсивная интеграция оснастки в технологический процесс производства – проработка её использования в процессе формообразования (обтяжки или гибки, рис. 8). Помимо этого есть возможность доработки выдвигаемых элементов элементами контроля, чтобы сразу вести контроль и выводить в электронном виде.

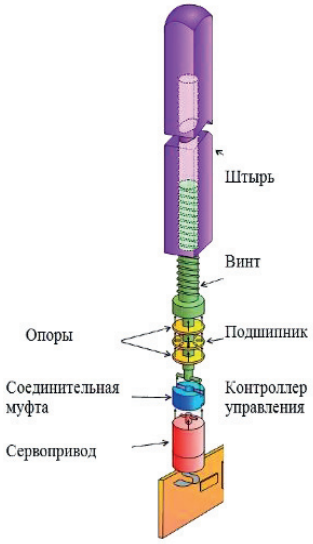


Рис. 4 . Общий вид штыря

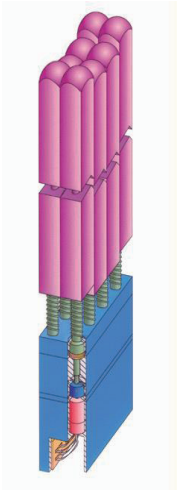


Рис. 5. Общий вид блока штырей

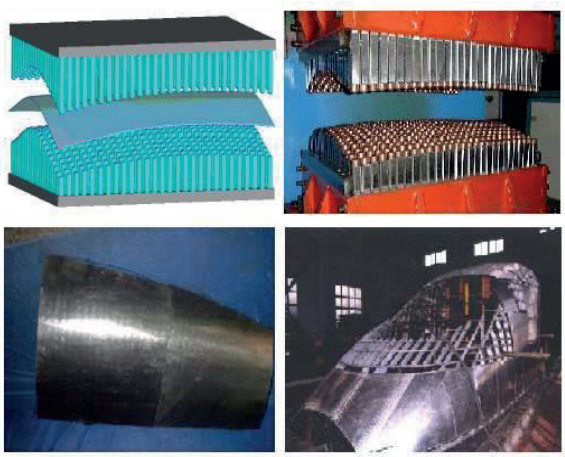


Рис. 6. Применение многофункциональной оснастки при формообразовании

Выводы

Данное оборудование очень перспективно, так как идет отход от индивидуальных средств контроля и изготовления и переход к универсальным системам.

При применении многофункциональной оснастки производство получает ряд преимуществ:

1. Снижение затрат связанных с хранением и изготовлением оснастки
2. Переход на бесшаблонное производство
3. Повышение культуры производства

Несмотря на эти плюсы у многофункциональной оснастки есть и недостатки, связанные с особенностями оснастки и нюансами конструкции:

- Большое количество выдвигаемых элементов – большая вероятность поломки одного или более элементов.
- Необходимость обратной связи от каждого элемента, для исключения мертвого хода или некорректных перемещений.

Однако все эти минусы чисто технологического характера и при правильной проработке проекта многофункциональной оснастки позволяет минимизировать их.

Таким образом, при применении многофункциональной оснастки производство получит дополнительные преимущества в условиях жесткой конкуренции на современном глобальном рынке.

Литература

[1] Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов, Б.Н. Марьин и др. – М.: Аграфпресс, 2006. 304 с.

[2] Российская энциклопедия CALS / А.Г. Братухин – М: ОАО НИЦ АСК, 2008. 608с.

[3] Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / В.В. Бакаев, Е.В. Судов, В.А. Гомозов и др. – М: Машиностроение-1, 2005, 624стр.

[4] Peters, Benjamin J, Design and fabrication of a digitally reconfigurable surface/ Benjamin J Peters, Thesis (S.B.)--Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering, 2011

Оценка поврежденности феррито-перлитных сталей в условиях малоциклового нагружения

К.А. Молоков

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, РОССИЯ, spektrum011277@gmail.com

Реферат **– получена методика оценки поврежденности при условии кратковременных статических нагрузок превышающих предел текучести материалов. Проанализирован вклад таких нагрузок на поврежденность феррито-перлитного материала, а также проверена справедливость расчетного определения длины макротрещины равноценной поврежденности материала от нагрузок превышающих предел текучести. Полученные зависимости и методика оценки справедлива для феррито-перлитных сталей с пределом текучести до 700 МПа. Таким образом, получен обобщенный расчетный метод определения поврежденности для различных параметров цикла нагружения и значения перегрузки. Предложена математическая модель расчетного метода в области малоцикловой нагрузки, исследовано влияние постоянной и средней нагрузки в цикле на предел выносливости, как при многоцикловой, так и малоцикловой нагрузке. В математической модели отражены закономерности показывающие характер изменения (снижения) выносливости материала от получения некоторой поврежденности, отражаемой через эквивалентную длину макротрещины после нагружения за предел текучести материала.**

Расчетный метод основывается на использовании полных диаграммы усталости (диаграммы Смитта) или диаграмм Гудмана с допустимой для практики расчетной погрешностью для множества сталей феррито-перлитного класса.

Ключевые слова **– предел выносливости, поврежденность, малоцикловая усталость, феррито-перлитная сталь, сварные конструкции, коэффициент интенсивности напряжений, средние напряжения, циклическая нагрузка**

I. Введение

Практически во всех сварных конструкциях имеют место переменные, переменно-постоянные или циклические нагрузки, созданные внешней средой эксплуатации или конструктивной реализацией. Зачастую даже при достаточно детальном проектировании не представляется возможным учесть и просчитать долговечность во всех областях конструкции с концентраторами напряжений, в материале которых под действием внешней среды в результате эксплуатации возникают переменные нагрузки с максимальными напряжениями близкими к временному пределу прочности материала.

При этом не обязательно говорить о значительном размахе переменной составляющей этих нагрузок. Материал может быть деформирован только в первом полуцикле выше предела текучести, например при нештатном режиме, а далее испытывать сугубо симметричный цикл нагружения с малыми амплитудами. Тем не менее такая нештатная ситуация влияет на материал внося некоторую поврежденность.

II. Материалы и методы

Явление усталости исключительно сложно по своей природе, и исчерпывающего описания, охватывающего все стороны, нет. Отличие условий усталостного повреждения конструкций от условий испытаний гладких образцов определяется влиянием ряда факторов. К их числу важнейших для усталости факторов относятся:

-постоянная составляющая нагружения;

-концентрация напряжений;

-масштабный фактор, наиболее существенный для конструкций, в которых имеется концентрация напряжений, коррозия;

-остаточные, в том числе сварочные, напряжения;

-вид напряженного состояния области, в которой зарождается и развивается усталостное повреждение;

-структурные особенности материала;

-предварительная пластическая деформация;

-состояние поверхности объекта;

-случайный характер нагружения в действительных условиях и др.

Для определения меры влияния указанных факторов проводят испытания, а путем анализа экспериментальных данных определяют наиболее значимые из них и далее строят приближенную модель усталости реальной конструкции.

По поиску зависимостей предела выносливости от средних напряжений и характеристик материала была проделана большая работа такими исследователями в этой области как А. Велер, Гудман, Когаева-Серенсена, Хейвуд, А.И. Максимаджи [1] и др. Все они основывались на аппроксимации экспериментальных данных, в которых делалась попытка учета влияния постоянной составляющей нагрузки на предел усталости металла.

В данном случае воспользуемся методикой, в основу которой положена зависимость [1]

$$\sigma_{fr} = \sigma_{fc} \cdot \left[\pi \cdot I \cdot \left(\frac{\sigma_{fc} \cdot (1-r)}{\Delta K_{thr}} \right)^2 + 0{,}8 \right]^{-0{,}5}, \qquad (1)$$

где

$$\sigma_{fc} = \begin{cases} \sigma_{0.2} \cdot (0{,}3 \cdot r + 1) & \text{если } r \le 0; \\ \sigma_{0.2} & \text{если } r > 0; \end{cases}, \qquad (2)$$

$$\Delta K_{thr} = \begin{cases} K_{th0} + (r / 0{,}8) \cdot (\Delta K_{th0.8} - K_{th0}), \text{если } r \le 0{,}8; \\ \Delta K_{th0.8} \quad \text{если } r > 0{,}8; \end{cases}$$ (3)

$$\Delta K_{th0.8} = 3 - 0{,}0008 \cdot \sigma_{0.2}, \quad (4)$$

где σ_{fc} - циклический предел текучести, МПа; r - коэффициент асимметрии цикла рассчитывается по зависимости $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$; $\sigma_{0.2}$ - временный предел текучести материала, МПа; K_{th0}, $\Delta K_{th0.8}$ - коэффициент интенсивности напряжений при отнулевом цикле ($r = 0$) и размах его при ($r = 0{,}8$) соответственно, МПа·м1/2; l - длина трещины, м; μ - коэффициент Пуассона.

Для различных гипотез текучести при многоосной нагрузке, длину микротрещины не влияющую на предел выносливости l_0 в соответствии с работой [2] можно оценить в виде

$$l_0 = (0{,}03...0{,}1) \cdot \left(\frac{K_{th0}}{\sigma_{0.2}} \right)^2, \quad (5)$$

где $0{,}03$ и $0{,}1$ - коэффициенты для гипотез Хубера-Мизеса и Сен-Венана-Треска соответственно.

Если каким-то образом перейти от порогового коэффициента интенсивности напряжения K_{th} на некоторый введенный пороговый коэффициент интенсивности напряжения (назовем его эффективный пороговый коэффициент интенсивности K^e_{th}) который должен определяться с учетом влияния постоянной составляющей нагрузки, то это предположительно позволит рассчитывать предельные амплитуды напряжений практически во всем диапазоне средних нагрузок $\sigma_m = (0 \div \sigma_в)$.

С этой целью введем некоторые допущения, исходя из особенностей решения задач на основе линейной механики разрушения.

1) Постоянная нагрузка не вызывает повреждений в материале и определяет только общее напряженное состояние с интенсивностью σ_m.(рис. 1, а).

2) Процесс разрушения определяется сингулярной составляющей поля напряжений от действия циклической нагрузки интенсивностью σ (рис. 1, б).

3) Зона пластических деформаций в районе вершины трещины корректируется учетом влияния постоянной составляющей нагрузки.

4) Учитывая неполноту функций, описывающих напряженное состояние в окрестности вершины трещины от действия циклической нагрузки интенсивностью σ, а также, что вклад сингулярной составляющей поля напряжений является превалирующим, будем считать, что с достаточной точностью для практики выполняется

$$\sigma_i^{el} = \sigma_i^{el}(\sigma_m) + \sigma_i^{el}(\sigma) \quad (6)$$

где σ_i^{el} - общая интенсивность напряжений, отвечающая упругому решению; $\sigma_i^{el}(\sigma_m)$ - интенсивность напряжений, отвечающая упругому решению при действии постоянной нагрузки; $\sigma_i^{el}(\sigma)$ - интенсивность напряжений сингулярного поля при решении упругой задачи.

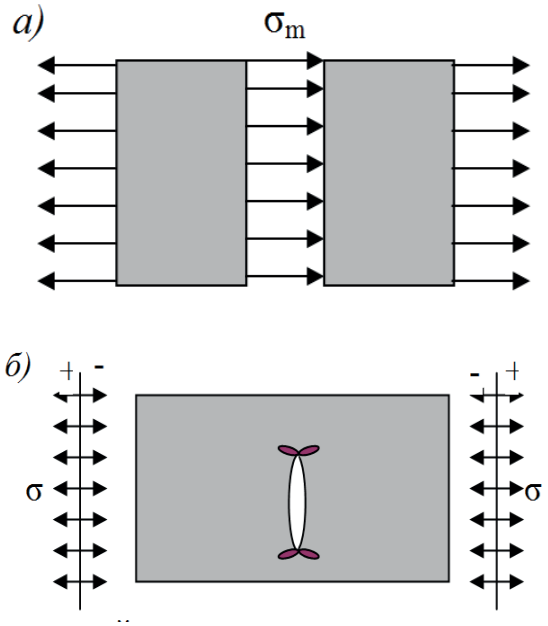


Рис. 1. Поля напряжений, создаваемые постоянной составляющей нагрузки (а) и переменными усилиями (б) (сингулярная часть решения)

Фактически допущение 4 отражает принцип независимости действия постоянной части нагрузки и переменной, что является приближенным приемом при определении суммарного значения интенсивности напряжений в точках особой зоны (σ_m близко к $\sigma_в$).

Известное выражение интенсивности напряжений в упругопластической области вершины трещины [2] σ_i, полученное в рамках деформационной теории пластичности с использованием степенной аппроксимации диаграммы деформирования

$$\sigma_i = \sigma_{0.2} \cdot (e_i / e_T)^m, \quad (7)$$

запишется

$$\sigma_i = \sqrt[\left(\frac{1}{m}+1\right)]{\sigma_{0.2}^{\left(\frac{1}{m}-1\right)} \cdot (\sigma_i^{el})^2}, \quad (8)$$

где m - коэффициент упрочнения.

Приводя выражение (8) к виду (7) получим

$$\sigma_i = \sigma_{0.2} \cdot \left(\frac{\sigma_i^{el}}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{2 \cdot m}{m+1}}. \quad (9)$$

Подставляя выражение (6) в (9) и приравнивая полученное выражение к интенсивности напряжения в момент сдвига трещины $\sigma_i = R_{MCe} \cdot D$, получим

$$\sigma_i = \sigma_{0.2} \cdot \left(\frac{\sigma_i^{el}(\sigma_m) + \sigma_i^{el}(\sigma)}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{2 \cdot m}{m+1}} = R_{MCe} \cdot D, \quad (10)$$

где R_{MCe} - сопротивление микросколу для пластически деформированной структуры материала, при зеренном микросколе рассчитывается через

эффективное зерно материала $R_{MCe} = (1{,}6 \div 1{,}7) \cdot 5{,}7 / \sqrt{d_з}$, МПа; D - коэффициент перенапряжения, учитывающий повышение первого главного напряжения в случае сложнонапряженного состояния.

Заменяя в (10) упругую составляющую интенсивности напряжения $\sigma_i^{el}(\sigma)$ известным выражением ее в вершине трещины

$$\sigma_i^{el}(\sigma) = \frac{K}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot r}} \cdot cos\frac{\theta}{2} \cdot \sqrt{(1 - 2 \cdot \mu)^2 + 3 \cdot sin^2\frac{\theta}{2}}, \quad (11)$$

где приняв $\theta = 90°$, а r на основе [2], заменив на структурный параметр $d_{стр}$, определяющий свойства пластически сдеформированной структуры, полученное уравнение, разрешив относительно K, находим формулу для расчета эффективного порогового коэффициента интенсивности напряжения в вершине трещины

$$K_{th0}^{e} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot d_{стр}}{1{,}7}} \cdot \left\{ \sigma_{0.2} \cdot \left(\frac{R_{MCe} \cdot D}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{m+1}{2 \cdot m}} - \sigma_i^{el}(\sigma_m) \right\}, \quad (12)$$

где $d_{стр}$ - можно рассчитать через размер зерна, $d_{стр} = d_з / (2{,}6 \div 2{,}8)$. Поделив все в фигурной скобке на ее уменьшаемое, формула (12) преобразуется к виду

$$K_{th0}^{e} = \sigma_{0.2} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot d_{стр}}{1{,}7}} \cdot \left(\frac{R_{MCe} \cdot D}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{m+1}{2 \cdot m}} \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{\sigma_i^{el}(\sigma_m)}{\sigma_{0.2} \cdot \left(\frac{R_{MCe} \cdot D}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{m+1}{2 \cdot m}}} \right\} = \quad (13)$$

$$= K_{th0} \cdot \left\{ 1 - \frac{\sigma_i^{el}(\sigma_m)}{\sigma_{0.2} \cdot \left(\frac{R_{MCe} \cdot D}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{m+1}{2 \cdot m}}} \right\},$$

или сворачивая

$$K_{th0}^{e} = K_{th0} \cdot \left\{ 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{0.2} \cdot \left(\frac{R_{MCe} \cdot D}{\sigma_{0.2}} \right)^{\frac{m+1}{2 \cdot m}}} \right\}, \quad (14)$$

где сомножитель в фигурных скобках представляет собой поправку на пороговый коэффициент интенсивности K_{th0}, учитывающий постоянную упругую составляющую от среднего напряжения $\sigma_i^{el}(\sigma_m)$. Заметим, что поправка относительно переменной $\sigma_i^{el}(\sigma_m)$ представляется линейной зависимостью.

Пользуясь формулами (1) – (5) заменяя в них K_{th0} на K_{th0}^{e} (13) можно рассчитать все предельные амплитуды, как для многоциклового так и малоциклового нагружения феррито-перлитных сталей от среднего σ_m напряжения. Так как постоянная составляющая напряжения учитывается в эффективном коэффициенте напряжения, она вносит изменения в асимметрию цикла, тогда коэффициент асимметрии r не следует изменять в (1) – (3) а принять равным из граничного условия $\{\sigma_i^{el}(\sigma_m) = 0;\}$ когда поправка в (13) равна 1 ($K_{th0} = K_{th0}^{e}$) тогда $r = -1$. Длину микротрещины (5), величина которой точно неопределенна в силу гипотез будем определять из граничных условий построения самой диаграммы Гудмана

$$\left\{ \begin{matrix} \sigma_m \to \sigma_в \\ \sigma_{fr} \to 0 \end{matrix} \right\}. \quad (15)$$

Так как переменная составляющая амплитуды σ при $\sigma_в > \sigma + \sigma_m > \sigma_{-1}$ всегда соответствует симметричному циклу относительно σ_m следует согласно симметричному циклу в (1)-(3) положить $r = -1$, а асимметрия внешней нагрузки будет формироваться изменением средних напряжений. Фактически после подстановки (14) в (1) имеем функцию $\sigma_{fr} = F(\sigma_m)$, где σ_{fr} - предел выносливости или переменная/амплитудная составляющая нагрузки.

На отрезке, когда выполняется условие $\sigma_{fr} + \sigma_m < \sigma_{0.2}$, уменьшение предела выносливости происходит за счет изменения асимметрии цикла и увеличения максимальной нагрузки в цикле, а при условии $\sigma_{fr} + \sigma_m > \sigma_{0.2}$, добавляется влияние пластической деформации на макроуровне, которая присутствует на фоне всей конструкции и имеет ненулевое значение только в первом полуцикле нагрузки.

Выражая из (1) длину трещины и рассматривая зависимость в рамках когда $\sigma_в > \sigma_{fr} + \sigma_m > \sigma_{0.2}$, т.е. можно записать

$$L = \frac{K_{thr}^2}{\pi} \left[\frac{1}{\sigma_{fr}^2} - \frac{1 - \mu + \mu^2}{\sigma_{fc}^2} \right], \quad (16)$$

$$при\ \sigma_в > \sigma_{fr} + \sigma_m > \sigma_{0.2};\ K_{th0} = K_{th0}^{e};\ r = -1.$$

Дальше не составляет труда найти зависимость вклада пластической деформации на фоне всей конструкции в эквивалентную поврежденность с позиции длины макротрещины.

Значение L в (16) эквивалентно начальной трещине, которую следует подставить в расчетную зависимость для вычисления предела выносливости. Таким образом, если известна величина произошедшей перегрузки, можно по широко используемой зависимости (1) вычислить предел выносливости для известной

асимметрии цикла. Используя (16), (1) и (5), поврежденность материала D, как безразмерный показатель, можно найти из известной зависимости

$$D = \frac{\sigma_{fr}^{0} - \sigma_{frL}}{\sigma_{fr}^{0}} = 1 - \frac{\left[\pi \cdot L \cdot \left(\frac{2\,\sigma_{fc}}{\Delta K_{thr}}\right)^{2} + 0{,}8\right]^{-0{,}5}}{\left[\pi \cdot l_0 \cdot \left(\frac{2\,\sigma_{fc}}{\Delta K_{thr}}\right)^{2} + 0{,}8\right]^{-0{,}5}}, \qquad (17)$$

где L - вычисляется по (16); l_0 - вычисляется по (5);

После построения диаграммы предельных амплитуд напряжений для разных марок сталей Ст10, 15Г, Ст3кп, Ст22К, Ст50, механические характеристики которых приведены в табл. 1. Диаметр зерна металла для феррито-перлитных сталей с пределом текучести не превышающим 700 МПа, можно рассчитывать по эмпирической формуле для феррито-перлитных сталей [2]

$$d_з = \left[\frac{5{,}7 \cdot (1 - \varphi^2)}{\sigma_в}\right]^2, \qquad (18)$$

где φ - относительное сужение материала, доли.

III. Результаты

Расчетная методика оценки поврежденности от перегрузок проверялась аналитически для большинства феррито-перлитных сталей. Расчетные данные получали для сталей, исходные характеристики которых указанны в табл.1.

Таблица 1. Исходные данные для построения диаграммы предельных амплитуд напряжений

Марка стали	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	m	$d_з$, м	R_{MC}, МПа
Ст10	320	190	0,17	$6{,}6\cdot10^{-5}$	690
15Г	410	245	0,148*	$9{,}4\cdot10^{-5}$*	588*
Ст3кп	450	270	0,16	$3{,}7\cdot10^{-5}$	930
Ст22К	540	310	0,16	$3\cdot10^{-5}$	1030
Ст50	680	350	0,16	$2{,}5\cdot10^{-5}$	1100
37ХН3А	1014	743	0,12	$6\cdot10^{-5}$	1584
Примечание:* - рассчитаны по эмпирическим формулам					

Выводы

На базе полуэмпирических зависимостей линейной механики разрушения создана расчетная методика оценки поврежденности от действия нештатных и кратковременных нагрузок превышающих предел текучести для широко применяемых в машиностроении феррито-перлитных сталей с пределом текучести до 700МПа. Получены необходимые зависимости с описанием расчетного алгоритма. Методика позволяет оценить предельные напряжения циклов и построить зависимости поврежденности от величины перегрузки за пределом текучести. Так как за основу взяты зависимости структурно механической модели, они позволяют учитывать влияние структурного фактора материала, что имеет не маловажное значение при оценке поврежденности сварных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Максимаджи А.И. Прочность морских транспортных судов. Вопросы применения стали повышенной прочности. – Л.: Судостроение, 1976. – 312 с.

[2] Матохин Г.В. Оценка ресурса сварных конструкций из феррито-перлитных сталей. – Владивосток: ДВГТУ, 2001. – 202 с.

Беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки с дисковым крылом

А.А. Перевалов

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, anatoly84@rambler.ru

Реферат **- в работе представлена концепция малоразмерного беспилотного летательного аппарата вертикального взлета и посадки с использованием интегральной компоновки в основе которой заложено дисковое крыло.**

Ключевые слова: **дископлан; дисковое крыло; БПЛА; UAV; интегральная компоновка;**

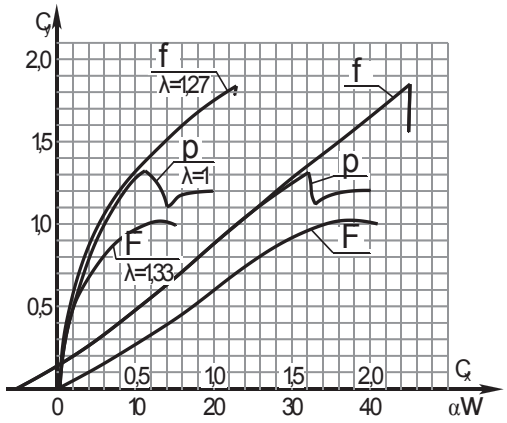
I. Введение

В настоящее время беспилотная авиация широко применяется для решения ряда задач, в которых нерационально, или просто невозможно, применение пилотируемых аппаратов. Перечень таких задач обширен. Это и аэрофотосъемка, и экологический мониторинг местности, и военное применение, и ряд других задач, в которых особенно важны такие качества беспилотных аппаратов, как, высокая транспортная маневренность, безопасность, отсутствие потенциального риска экипажа, относительная простота обслуживания, низкая покупная и эксплуатационная стоимость и т.д. Несмотря на внушительный список положительных сторон беспилотной авиации, существует ряд задач, решение которых силами аппаратов традиционных схем нерационально.

II. Дисковое крыло

Дисковое крыло обладает рядом специфических свойств выгодно выделяющих его из ряда крыльев малых удлинений. Первые проекты летательных аппаратов с круглым в плане крылом появились в начале 20 столетия. Это проект Э.Сведенборга (Швеция,1716). Проект был довольно тщательно проработан, в конструкции предусматривались конструктивные элементы, используемые в конструкции современных летательных аппаратов. В частности был предусмотрен продольный и поперечный силовой набор. Позднее в работе 1894 года К.Э. Циолковского «Аэроплан, или птицеподобная (авиационная) летательная машина» представлен проект самолета с крылом представляющим по форме в плане часть окружности. Первый реализованный проект принадлежит А.Г. Уфимцеву. Этот проект получивший название «Сфероплан» был реализован в 1909 году.

В последующем конструкторы летательных аппаратов неоднократно возвращались к идее использования дискового крыла в конструкции пилотируемых летательных аппаратов. Привлекательность дискового крыла обусловлена устойчивостью обтекания при больших углах атаки. При увеличении угла атаки (α,°) на крыльях традиционных форм в связи с увеличением градиента давлений происходит отрыв пограничного слоя, сопровождающийся резким падением подъемной силы и ухудшением устойчивости летательного аппарата, что приводит к сваливанию аппарата и переходу в неуправляемое вращение вокруг поперечной оси, «штопору». Многие аппараты традиционных схем не имеют тенденции самопроизвольного выхода из «штопора».



C_y – коэффициент подъемной силы крыла, C_x – коэффициент лобового сопротивления, λ – удлинение крыла, α° - угол атаки.
Рис. 1. Поляры и зависимости $C_y(\alpha)$ для крыльев малых удлинений

Как правило критические углы атаки не превышают 15-20°. Дисковое крыло за счет своей формы, обеспечивающей более плавное нарастание градиента давлений при увеличении угла атаки, характеризуется высокой стабильностью на углах атаки гораздо больших 20°. При дальнейшем увеличении угла атаки провоцирующем отрыв пограничного слоя происходит переход крыла в режим так называемого парашютирования, при котором самолет управляемо снижается по крутой траектории. Для возвращения в режим горизонтального полета в таком случае достаточно уменьшить угол атаки летательного аппарата, что в ряде случаев обеспечивается возвращением в нейтральное положение рулевых поверхностей.В то же время дисковое крыло обладает рядом недостатков:

- низкое аэродинамическое качество (К) в следствии больших индуктивных потерь;
- проблемы с обеспечением балансировки летательного аппарата;
- малая эффективность органов управления в следствии их невыгодного размещения;
- не технологичная форма дискового крыла (поверхность двойной кривизны).

Данные недостатки схемы летательного аппарата с дисковым крылом ограничивают её применение в конструкции современных самолетов.

III. БПЛА с дисковым крылом

Существующие схемы БПЛА условно можно классифицировать по аэродинамической схеме на аппараты вертолетной и самолетной схем.

Аппараты вертолетной схемы имеют возможность вертикального взлета и посадки, имеют относительно высокую транспортную мобильность, но сильно ограничены временем полета.

Аппараты самолетной схемы имеют большую дальность, и время полета, но, в то же время, требуют подготовленных площадок для взлета и посадки и обладают низкой транспортной мобильностью в связи с большими габаритами.

Данные схемы летательных аппаратов позволяют решить большинство специализированных задач, но не являются универсальными. При решении некоторых задач требуется большая универсальность и гибкость в применении БПЛА, возможно даже в ущерб некоторым характеристикам.

Применение схемы «конвертоплан» (использование поворотных двигателей) позволяет расширить область применения аппарата, но влечет с собой проблемы по компоновке и балансировке летательного аппарата.

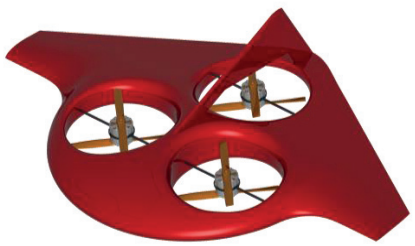


Рис. 2. 3D модель аппарата

Особенностью предлагаемого летательного аппарата является использование интегральной компоновки в виде дискового крыла с вписанными в него силовыми установками. Такое расположение силовых установок (СУ) позволяет обеспечить защиту винтов в режиме вертикальной посадки и при транспортировке.

Применение такой схемы аппарата обладает рядом как положительных, так и отрицательных сторон. В ходе проработки проекта выработан ряд решений повлиявших на внешний облик и компоновку аппарата.

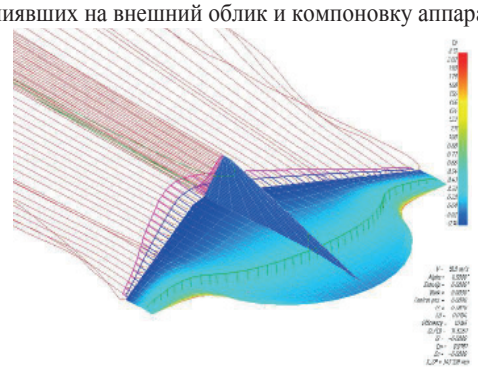


Рис. 3. Расчет аэродинамических характеристик в программе XFLR5

Как было отмечено выше, дисковое крыло обладает малым аэродинамическим качеством. Основной вклад в снижение аэродинамического качества вносит составляющая сопротивления, обусловленная индуктивными потерями, свойственная большинству крыльев малого удлинения. Решить данную проблему позволяют консоли малого удлинения, добавленные к исходному дисковому крылу. Такое решение так же позволяет решить проблему балансировки аппарата. В горизонтальном полете с использованием подъемной силы крыла для обеспечения статической устойчивости аппарата необходимо обеспечить расположение центра масс не более 20-30% от средней аэродинамической хорды (САХ) крыла. В то же время для обеспечения устойчивости и снижения энергетических потерь на балансировку аппарата в режиме висения (то есть использования подъемной силы создаваемой винтами) необходимо обеспечить положение центра масс в геометрическом центре силовых установок, совпадающем при выбранной компоновке с центром диска. Добавление консолей малого удлинения с отрицательным углом стреловидности по задней кромке приводит к смещению САХ назад и позволяет получить расчетное положение центра масс около 40% САХ. Увеличение центровки сверх рекомендуемых норм приводит к некоторому снижению устойчивости аппарата на режиме горизонтального полета, что легко решается современными системами стабилизации и, в то же время, позволяет улучшить маневренность аппарата.

Управление и стабилизация аппаратом в режиме висения осуществляется изменением частоты вращения винтов силовой установки. Силовая установка построена по двухвинтовой схеме (с соосным расположением винтов). При такой схеме реактивный момент от винтов компенсируется за счет вращения второго винта в обратную сторону. Управление по тангажу и крену осуществляется изменением общей тяги всех СУ. Управление по рысканию осуществляется за счет реактивного момента винтов.

Управление в режиме горизонтального полета осуществляется поворотом СУ вокруг поперечной оси аппарата с одновременным изменением тяги. Такая схема управления позволяет отказаться от управления посредством аэродинамических поверхностей, оставив крыло «чистым», что благоприятно сказывается на аэродинамическом качестве аппарата.

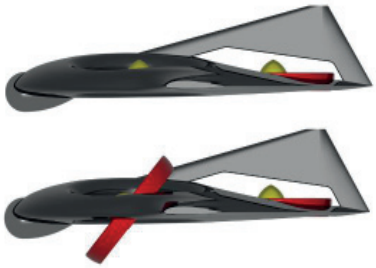


Рис. 4. Управление поворотом передних СУ вокруг поперечной оси.

В качестве полезной нагрузки предусматривается использование видеокамеры. Блок полезной нагрузки выполняется съемным, что позволяет разместить любую полезную нагрузку массой не более 500 грамм, например газоанализаторы, дозиметры, фото-видео аппаратура и т.д.

IV. Характеристики

Расчетные характеристики проектируемого аппарата:

- Взлетный вес – 3,5 кг;
- Размах крыла – 1400 мм;
- Вес полезной нагрузки – до 0,5 кг;
- Максимальная продолжительность полёта – 80 минут;
- Скорость полета – 0 – 70 км/ч;
- Высота полета – до 3600 м;
- Тип силовой установки / количество – Электродвигатель / 6;
- Тип стабилизации – Электронная;

Выводы

Конечно предлагаемая схема беспилотного летательного аппарата несколько уступает по характеристикам аппаратам традиционных схем но тем не менее способна занять достойное место в ряду БПЛА в силу своей универсальности. Это подтверждает так же постоянный интерес к аппаратам схемы «конвертоплан». Особенно популярны проекты таких аппаратов стали в последние годы в связи с растущей доступностью и возможностями микроэлектроники и построенных на ее основе систем.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам профильной кафедры за посильную помощь в работе над проектом.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Павлушенко, М. И. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / М. И. Павлушенко, Г. М. Евстафьев, И. К. Макаренко. – М. : Права человека, 2005. – 611 с.

Методика оптимизации процесса формообразования деталей сложной геометрии из листа методом продольной обтяжки на оборудовании, оснащенном ЧПУ

М.М. Погарцева

[1] Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, marry_pog@mail.ru
marry_pog@mail.ru

В работе описаны особенности деталей, получаемых методом продольной обтяжки, выявлены недостатки существующих технологий формообразования деталей сложной геометрии. Определены кинематические зависимости рабочих органов пресса, разработана его параметрическая модель. Приведен алгоритм оптимизации процесса формообразования деталей на прессе продольной обтяжки с ЧПУ.

Ключевые слова **– формообразование, обтяжка, ЧПУ, кинематика, управляющая программа**

I. Введение

Значительная часть обводообразующих деталей современных самолетов изготавливается из листового материала и профилей. Примерно 60% деталей, формирующих наружный контур (нервюры, шпангоуты, стрингеры, обшивки, обтекатели и др.), многие детали внутреннего оборудования самолета (полы, перегородки, панели интерьера и т.п.) производят различными методами в заготовительно-штамповочных цехах.

Отличительными чертами заготовительно-штамповочного производства (ЗШП) являются высокая производительность труда, рациональное использование исходного материала, широкие возможности механизации и автоматизации технологических процессов, достаточно хорошая точность воспроизведения размеров деталей, возможность изготовления жестких деталей при небольшой их массе.

К числу наиболее перспективных технологических процессов ЗШП относится формообразование деталей методом обтяжки. Разновидностями обтяжки являются: поперечная, продольная и кольцевая.

Кольцевая обтяжка применяется для изготовления деталей с замкнутым контуром.

Поперечной обтяжкой изготавливаются короткие обшивки одинарной и двойной кривизны, секции днищ, детали антиобледенительных устройств и др.

Продольная обтяжка применяется преимущественно для изготовления обшивок двойной кривизны большой длины.

На современных предприятиях авиационной промышленности внедрены обтяжные прессы, обладающие большими кинематическими возможностями, оснащенные развитой системой числового программного управления (ЧПУ). Это позволяет изготавливать геометрически сложные детали, получаемые методом обтяжки, высокого качества и точности, обеспечивая аэродинамические обводы современных летательных аппаратов.

Внедрение нового оборудования требует совершенствования действующего производства. Поскольку использование устаревшей схемы процесса обтяжки, когда заготовка практически полностью вступает в контакт с поверхностью пуансона уже в начале процесса, приводит к браку.

Таким образом, необходимо разработать более совершенную схему процесса обтяжки и технологию реализации ее на современном оборудовании, оснащенном ЧПУ. Это может быть сделано путем формирования управляющей программы (УП) и определения ряда параметров процесса обтяжки, исключающих появление технологических дефектов и позволяющих получать детали требуемого качества.

В конструкции фюзеляжа самолета SSJ-100 имеются обшивки, которые изготавливают формообразованием на обтяжном прессе FEL 2x500. В большинстве этих обшивок можно выделить зону малой одинарной кривизны и зону ярко выраженной двойной кривизны. В процессе формообразования на цилиндрической части обшивок образуются гофры, которые выходят за пределы требуемой точности и в результате приводят к браку.

Целью данной работы является разработка методики и технологии обтяжки, обеспечивающей уровень требуемых свойств и геометрии обшивок фюзеляжа самолета SSJ-100.

II. Математическая модель кинематики пресса FEL 2x500

Основные элементы пресса FEL 2x500: подвижный и зафиксированный наконечники, продольная рама и рабочий стол пресса. Наконечники пресса имеют 5 управляющих координат – FST, FDS, FSW, FRT, FOS и MST, MDS, MSW, MRT, MOS соответственно фиксированный и подвижный. На рис. 1 изображен подвижный наконечник пресса.

Координаты FST (MST), FDS (MDS) и FSW(MSW) изменяются в процессе обтяжки, FOS (MOS) меняются незначительно, а FRT (MRT) являются установочными в начале процесса.

Для получения УП под данную модель пресса разработчиком совместно с оборудованием поставляется программное обеспечение (ПО) S3F. По исходной

информации (геометрии пуансона и детали), на основе встроенной в ПО S3F расчетной модели, происходит расчет и формировании УП. Однако опыт использования ПО S3F выявил ряд проблем, с которыми сталкиваются инженеры при её эксплуатации. ПО S3F не предоставляет возможности оптимизации положения пуансона в рабочем пространстве пресса для предотвращения производственных дефектов.

Для решения производственных задач при изготовлении обшивок фюзеляжа самолета SSJ-100 была изучена кинематика пресса, его технологические возможности, проведены замеры рабочих элементов пресса и в результате разработана параметрическая модель кинематики пресса в программном продукте T-FLEX.

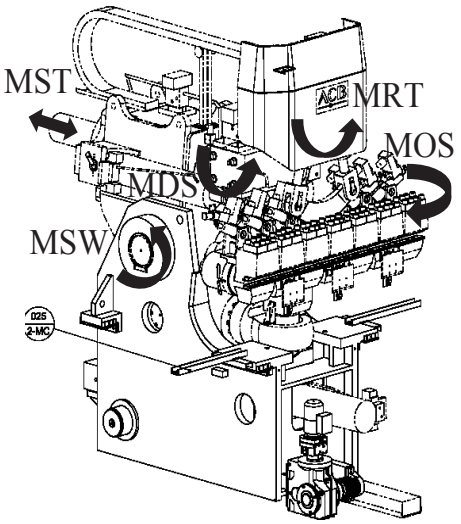


Рис.1. Подвижный наконечник пресса

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБТЯЖКИ

А. Оптимизация положения обтяжного пуансона на рабочем столе пресса

На первом этапе был проведен контроль соответствия рабочих обтяжных пуансонов их электронным моделям (ЭМ). Цель данного этапа получить ЭМ полностью соответствующую реальному пуансону, поскольку ЭМ содержит необходимую геометрическую информацию для последующих этапов. Были проведены замеры высот и длин пуансона в цехе и проверены значения этих же размеров в ЭМ. В случае необходимости выполнена корректировка ЭМ.

Далее необходимо преобразовать ЭМ – выделить поверхности основания и рабочей части пуансона, построить продольное центральное сечение пуансона. Полученное продольное сечение импортируем в программный продукт T-FLEX.

Второй этап – определение положения заготовки на рабочей поверхности обтяжного пуансона. При задании длин припусков следует учитывать, что материал заготовки по цилиндрической части пуансона не обтягивается, а лишь подвергается растяжению. Поэтому припуск со стороны цилиндрической части требуется минимальный. В свою очередь, со стороны сферической части, подвергающейся в значительной степени обтяжки, размер припуска должен быть максимально возможным.

Третий этап – поиск оптимального положения пуансона. Условием оптимизации является такое положение пуансона в рабочем пространстве пресса, которое обеспечит равенство углов вылета заготовки с рабочей поверхности пуансона углам наклона зажимных губок пресса (рис 2). При этом необходимо учитывать и кинематические возможности пресса. Т.е. подобрать положение пуансона под такие настройки параметров пресса, которые обеспечат прилегание заготовки к пуансону в процессе обтяжки, а также минимальное оборачивание листа при обтяжке в губках и на краях пуансона. Параметрами оптимизации является перемещение пуансона по столу пресса и подбор подставок под основание пуансона.

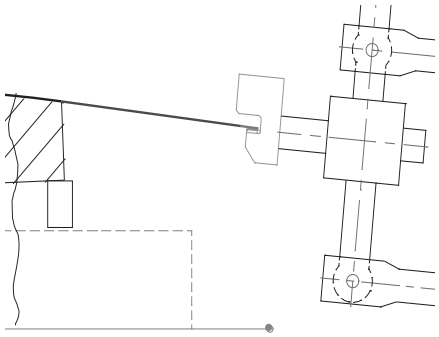


Рис.2. Позиционирование обтяжного пуансона на рабочем столе пресса

Б. Определение оптимальной траектории движения зажимных губок пресса

При построении траектории перемещения краев заготовки необходимо учитывать, что со стороны цилиндрической части обтяжного пуансона на графике должны быть участки подхода, прилегания и натяжения, а на стороне двояковыпуклой части пуансона – участки прилегания, натяжения, оборачивания и калибровки.

Траектория должна обеспечивать:

– полное прилегание заготовки к поверхности пуансона, при этом ресурс пластичности материала заготовки должен быть использован минимально;

– требуемую точность формы и размеров детали после снятия технологических усилий.

В. Моделирование процесса обтяжки

Полученные значения приращений и габариты заготовки заносим в специально разработанный для данной задачи макрос для моделирования процесса обтяжки в универсальном ПО ANSYS. В макросе прописаны установочные настройки пуансона и заготовки, математические зависимости положений губок пресса от настроек его параметров. Это позволяет минимизировать время на подготовку расчета процесса формообразования, дает возможность моделировать

различные варианты, изменения исходных данные. По окончанию расчета проводим анализ результатов (оценка деформаций, напряжений, прилегание заготовки к пуансону). В случае необходимости корректируем траекторию и проводим повторный расчет.

Г. Создание УП на языке ЧПУ пресса FEL 2x500 T

Для определения положения зажимных губок пресса в процессе формообразования детали вычисляем значения координат точек по принятой траектории перемещения. Перевод координат в настройки пресса осуществляем по выведенным математическим зависимостям в расчетном файле MathCAD.

В результате УП должна содержать следующую информацию:
– позицию каретки;
– позиционирование обтяжного пуансона на рабочем столе пресса (расстояние от края стола, высота над уровнем стола, центровка в поперечном направлении относительно стола);
– количество переходов;
– искривления зажимов;
– углы вращения системы зажимных губок;
– усилие зажима губок;
– усилие при контрформовке;
– последовательность кадров процесса формообразования с указанными в них настройками.

Д. Отработка и контроль качества готового изделия

На первом этапе в качестве заготовки для отработки УП в цехе были использованы три ленты длиной равной длине заготовки. Одну ленту расположили по центру продольной рабочей поверхности пуансона и две на краях. Оценили протекание процесса обтяжки в ходе выполнения УП, проконтролировали прилегание лент, углы вылета и переломы в районах схода заготовки с поверхности пуансона. В случае необходимости была выполнена корректировка УП.

На втором этапе была проведена отработка УП на реальной заготовке. Проведен контроль вышеперечисленных параметров и отсутствие дефектов в виде гофр.

На рис. 3 приведен алгоритм этапов подготовки и обработки исходной информации о детали для создания УП, позволяющей изготовить деталь требуемого качества.

Рис.3. Алгоритм оптимизации процесса обтяжки

Выводы

Проведенные работы позволили на этапах подготовки производства учесть возможные дефекты, оптимально спозиционировать пуансон на рабочем столе пресса, оценить протекание процесса формообразования и обеспечить качественное изготовление деталей. Разработан алгоритм оптимизации процесса обтяжки.

Литература

[1] Погарцева, М. М. Определение величины пружинения листовой заготовки при изгибе с растяжением и последующем фрезеровании / М.М. Погарцева // Молодые ученые – Хабаровскому краю : материалы XVI Краевого конкурса молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 17–24 января 2014 г. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – С. 341-346.

[2] Феоктистов, С.И. Автоматизация проектирования технологических процессов и оснастки заготовительно-штамповочного производства авиационной промышленности. / С.И. Феоктистов. – Владивосток: Дальнаука, 2001, – 184 с.

[3] Технологическое обеспечение аэродинамических обводов современного самолета / Б.Н. Марьин [и др.]. – М.: Машиностроение-1, 2001, – 432 с

Разработка математической модели станка для продольной обтяжки FEL 2x500

М.М. Погарцева, С.И. Феоктистов

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, marry_pog@mail.ru

Реферат - в работе изучен принцип работы станка модели* FEL 2x500*, определены кинематические связи, проведены замеры станка. Выведены уравнения зависимостей рабочих органов станка от значений управляющих координат, задаваемых с пульта управления станком. Приведено решение обратной задачи.

***Ключевые слова* – обтяжка, ЧПУ, кинематика, УП.**

I. Введение

К числу наиболее перспективных технологических процессов заготовительно-штамповочного производства относится формообразование деталей методом обтяжки. Гибка с растяжением (обтяжка) применяется для изготовления крупногабаритных деталей сложной геометрии из листа и профиля.

По мере развития авиационной промышленности постоянно повышаются сложность геометрии деталей, получаемых методом обтяжки, и требования к их качеству. Появляются новые обтяжные прессы, обладающие большими кинематическими возможностями, оснащенные развитой системой числового программного управления (ЧПУ).

Наряду с этим технология формообразования методом обтяжки практически не меняется. Процесс обтяжки часто ведется по устаревшей схеме, когда заготовка практически полностью вступает в контакт с поверхностью пуансона уже в начале процесса. Использование данной схемы приводит к неравномерному распределению деформаций по поверхности изготовляемой детали и, следовательно, появлению брака. Поэтому управление процессом ведется вручную оператором пресса. Роль ЧПУ сводится лишь к воспроизведению движений оператора.

Анализ механизма станка

На первом этапе был проведен анализ механизма, определены кинематические связи пресса. Пресс FEL 2x500 имеет два наконечника: зафиксированный (F) и подвижный (M). Последний может принимать 16 положений каретки с шагом 460 мм. Наконечники пресса имеют 5 управляющих координат – FST/MST (растягивающее перемещение в сторону), FDS/MDS (угол дифференциального растяжения в вертикальной плоскости), FSW/MSW (расположение зажимов вокруг горизонтальной поперечной оси в плоскости вертикального поворота), FRT/MRT (плоскость расположения зажимов – перекос или вращение) и FOS/MOS (расположение зажимов в горизонтальной плоскости). Управление прессом осуществляется с терминала персонального компьютера.

В ходе анализа были установлены геометрические размеры пресса, не зависящие от настроек его параметров, и переменные величины. Значения констант были получены по результатам измерения пресса лазерным трекером. Для проведения замеров была выбрана точка О положения системы координат в пространстве пресса (базовое отверстие). Плоскость XOY параллельна плоскости рабочего стола пресса, ось OX расположена вдоль стола в направлении от зафиксированного наконечника к подвижному, ось OZ перпендикулярна рабочему столу пресса.

Математическая модель станка

Второй этап – разработка математической модели кинематики пресса и её визуализация в виде параметрической модели в программном продукте T-FLEX. На рис. 1 изображена схема пресса.

Уравнения, описывающие положение точки А (её координаты) для заданных настроек параметров пресса, имеют вид:

– зафиксированный наконечник

$$X_A(FST,FDS,FSW)=X_C+R_{BC}\cdot\cos(\alpha_{BC}+FSW)+$$
$$+R_{BA}\cdot\cos(\alpha_{BA}-FSW+FDS);$$
$$Z_A(FST,FDS,FSW)=Z_C+R_{BC}\cdot\sin(\alpha_{BC}+FSW)-$$
$$-R_{BA}\cdot\sin(\alpha_{BA}-FSW+FDS);$$
$$\alpha_A(FST,FDS,FSW)=FSW-FDS$$

– подвижный наконечник

$$X_A(\mathrm{MST},MDS,MSW)=X_C-R_{BC}\cdot\cos(\alpha_{BC}+MSW)-$$
$$-R_{BA}\cdot\cos(\alpha_{BA}-MSW+FDS);$$
$$Z_A(MST,MDS,MSW)=Z_C+R_{BC}\cdot\sin(\alpha_{BC}+MSW)-$$
$$-R_{BA}\cdot\sin(\alpha_{BA}-MSW+MDS);$$

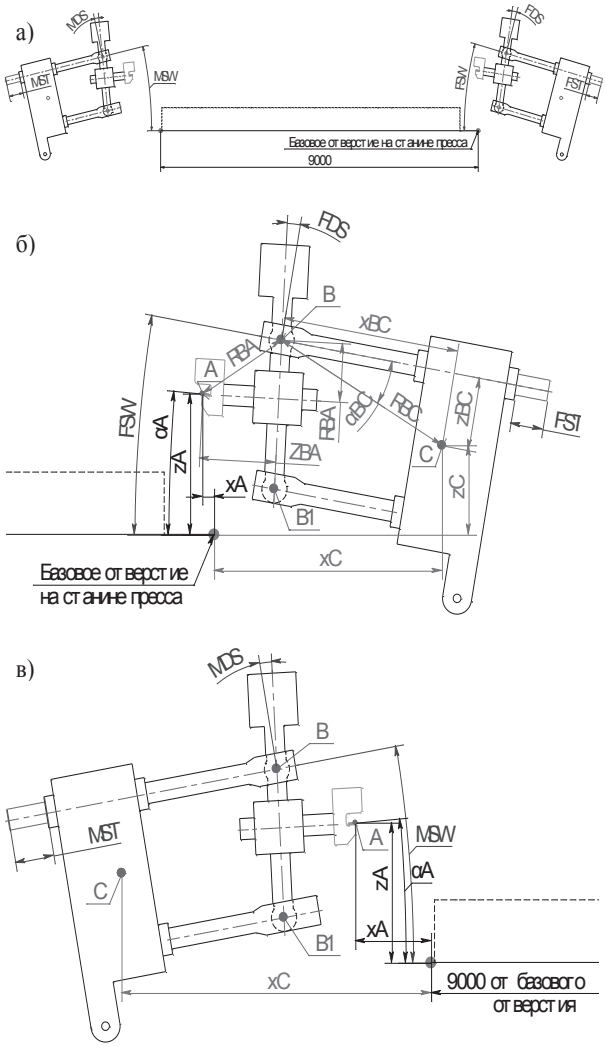
$$\alpha_A(MST,MDS,MSW)=MSW-MDS$$

где $R_{BC}=\sqrt{Z_{BC}{}^2+X_{BC}{}^2}$;

$R_{BA}=\sqrt{Z_{BA}{}^2+X_{BA}{}^2}$;

$\alpha_{BC}=\arcsin\frac{Z_{BC}}{R_{BC}}$; $\alpha_{BA}=\arcsin\frac{Z_{BA}}{R_{BA}}$

$X_{BC}=B_0-(FST)MST$;



B, B1 и C – точки осей вращения;
A – точка, расположенная в плоскости зажимных губок пресса

Рис.1. Схема пресса FEL 2x500
а) – общий вид пресса; б) – фиксированный наконечник; в) – подвижный наконечник

При оптимизации процесса формообразования деталей на обтяжном прессе с ЧПУ технолог определяет позиционирование пуансона на рабочем столе пресса и траекторию перемещения концов заготовки в зажимных губках пресса. Следовательно, положение точки А известно, а определить необходимо настройки параметров пресса.

Для решения обратной задачи был использован программный продукт MathCAD, в частности функция *find*. Исходные данные для расчета – значения констант пресса и координаты точек А для фиксированного и подвижного наконечников. Ниже приведено решение для фиксированного наконечника:

$$F1(FST,FDS,FSW) = X_C + \sqrt{Z_{BC}{}^2 + (B_0 - FST)^2} \times$$

$$\times \cos\left[a\sin\left(\left(\frac{Z_{BC}}{\sqrt{Z_{BC}{}^2 + (B_0 - FST)^2}} \right) \cdot \frac{180}{\pi} + FSW \right) \cdot \frac{180}{\pi} \right] +$$

$$+ \sqrt{X_{BA}{}^2 + Z_{BA}{}^2} \cdot \cos\left[\left(a\sin\left(\frac{Z_{BA}}{\sqrt{Z_{BA}{}^2 + X_{BA}{}^2}} \right) \cdot \frac{180}{\pi} - FSW + FDS \right) \cdot \frac{180}{\pi} \right];$$

$$F2(FST,FDS,FSW) = Z_C + \sqrt{Z_{BC}{}^2 + (B_0 - FST)^2} \times$$

$$\times \sin\left[a\sin\left(\left(\frac{Z_{BC}}{\sqrt{Z_{BC}{}^2 + (B_0 - FST)^2}} \right) \cdot \frac{180}{\pi} + FSW \right) \cdot \frac{180}{\pi} \right] -$$

$$- \sqrt{X_{BA}{}^2 + Z_{BA}{}^2} \cdot \sin\left[\left(a\sin\left(\frac{Z_{BA}}{\sqrt{Z_{BA}{}^2 + X_{BA}{}^2}} \right) \cdot \frac{180}{\pi} - FSW + FDS \right) \cdot \frac{180}{\pi} \right];$$

$$F3(FST,FDS,FSW) = FSW - FDS$$

Given

$$\begin{bmatrix} F1(FST,FDS,FSW) \\ F2(FST,FDS,FSW) \\ F3(FST,FDS,FSW) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Z_A \\ \alpha_A \end{bmatrix}$$

граничные условия

$0 \le FST \le 400 \wedge 0 \le FSW \le 45 \wedge -7 \le FDS \le 7$

F = Find(FST, FDS, FSW)

$$F = \begin{bmatrix} FST \\ FDS \\ FSW \end{bmatrix}$$

Выводы

Наличие математической модели станка и разработанных на её основе комплекса расчетных программ позволяет создавать управляющие программы (УП) для данной модели станка. Формообразование деталей методом обтяжки по отработанной УП повышает культуру производства, качество готовых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Погарцева, М. М. Определение величины пружинения листовой заготовки при изгибе с растяжением и последующем фрезеровании / М.М. Погарцева // Молодые ученые – Хабаровскому краю : материалы XVI Краевого конкурса молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 17–24 января 2014 г. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – С. 341-346.

[2] Феоктистов, С.И. Автоматизация проектирования технологических процессов и оснастки заготовительно-штамповочного производства авиационной промышленности. / С.И. Феоктистов. – Владивосток: Дальнаука, 2001, – 184 с

Влияние подачи воздуха под давлением на качество получаемых покрытий при электроискровом легировании

В.В. Соловьев[1], А.В. Козырь[2], Пульков С.М.[2]

[1] Амурский государственный университет, Благовещенск РОССИЯ, 675027, soloviev.1975@mail.ru
[2] Амурский государственный университет, Благовещенск, РОССИЯ, 675027,

Реферат **- предлагается использовать подачу воздуха под давлением для повышения качества покрытия (снижения шероховатости). Наблюдается снижение температуры при использовании подачи воздуха, что связано с увеличением теплоотвода из зоны разряда. Фиксируется снижение амплитудного тока, что свидетельствует о стабилизации процесса формирования электроискрового покрытия.**

Ключевые слова **– давление воздуха, электроискровое легирование, шероховатость, тепловизионная съемка.**

I. Введение

Процесс электроискрового легирования связан с переносом массы анода на катод. Возникающий эрозионный поток частиц состоит из сферических частиц и частиц неправильной формы. Частицы неправильной формы, представляют твердую фазу анодного материала. Твердая фаза плохо закрепляется на поверхности катода и может быть удалена с поверхности при легировании. Твердые частицы повышают шероховатость и способствуют повышению пористости, поскольку следующий разряд начинается с выступающей твердой частицы. Для повышения качества покрытий авторы [1], [2], предлагают использовать газовые среды, влияя на формирование слоя. Изменение температуры должно отражать физические процессы, происходящие при электроискровом легировании. Дополнительная подача газовой смеси должна вызывать охлаждение электродов и соответственно изменять процессы формирования покрытия.

II. Материалы и методы

Электроискровая обработка образцов осуществлялась на установке «IMPULSE-3» с амплитудой колебания электрода 100±10 Гц, напряжении 130 В, емкость конденсаторов 100 мкФ. Обрабатывалась сталь 45 в нормализованном состоянии. В качестве легирующих электрод-анодных материалов применялись: твердый сплав Т10К6 (10% TiC, 6% Co остальное WC), медный сплав М1 (состав: 99.9% Cu), алюминиевый сплав А5Е (состав: 99,5% Al).

Тепловизионная съемка осуществлялась с помощью прибора «Testo-875-1i» измеряемый диапазон температур от -30 до +350 0С. Погрешность измерений ±2% от измерений.

Измерение толщины покрытия производилась горизонтальном оптиметре ИКГ – 3.

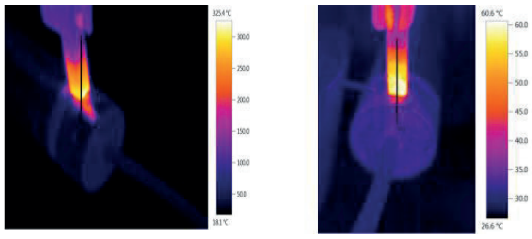
Электроискровое легирование осуществлялось механизированным способом со скоростью вращения 1.28 см/мин.

В зону обработки подавался воздух под давлением $13.78 \cdot 10^{-3}$ Мпа.

III. Результаты

Проведение эксперимента предусматривало получение покрытий с подачей воздуха под давлением в зону легирования и отсутствием подачи воздуха при одинаковых параметрах электроискрового легирования. Использование подачи воздуха приводит к удалению плохо закрепленных твердых частиц с поверхности легирования.

Результаты тепловизионной съемки приведены на рис. 1, профили распределения температуры получены в специализированной программе обработки данных Testo IRSoft 3.2 и представлены на рис.2 и рис. 3.



а) б)

Рис. 1 Термограмма анода и катода в процессе электроискрового легирования материал катода – сталь 45, материал анода – Т10К6 а) без подачи давления воздуха, б) с подачей давления воздуха.

Результаты показателей качества покрытий (толщина, шероховатость) приведены в таблице 1.

При формировании покрытий измерялось значение амплитудного тока, характеризующего процесс формирования искрового разряда. Данные измерений сведены в таблицу 1.

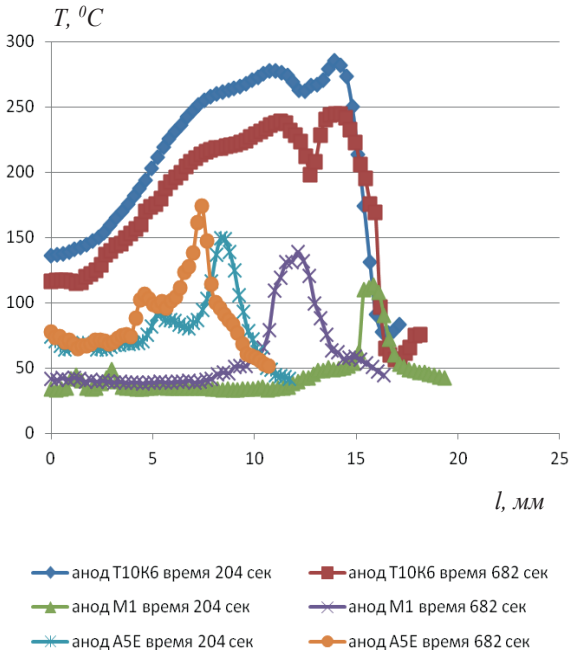


Рис. 2 Изменение температуры по электродам при электроискровом легировании

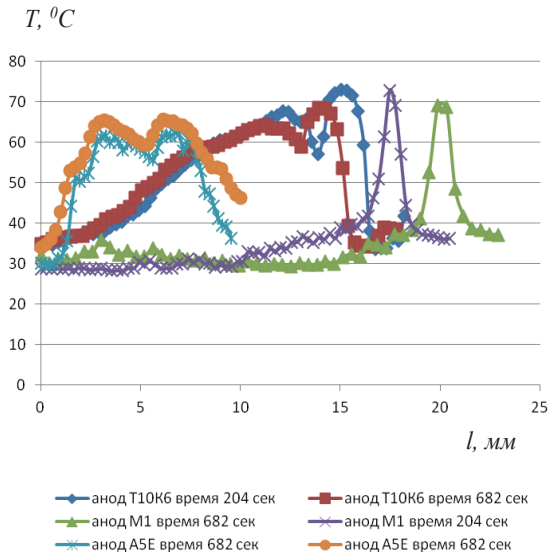


Рис. 3 Изменение температуры по электродам при электроискровом легировании (при подаче воздуха)

Таблица 1. Параметры покрытий

Материал анода	Амплитудный ток I, А	Толщина покрытия h, мкм	Шероховатость Ra, мкм
без подачи воздуха			
Т10К6	3.5-6.0	43	2.35
М1	1.5-8.5	27	1.95
А5Е	3.0-10.5	37	2.50
с подачей воздуха			
Т10К6	1	12	1.40
М1	2	23	1.90
А5Е	1.5	31	1.60

IV. Обсуждения

Распределение температуры в электродах (аноде и катоде) для различных анодов и времени легирования представлены на рис. 2 (без обдува) и рис. 3 (с обдувом).

На графиках зависимостей наблюдаются максимумы температур соответствующие зоне контакта анода и катода. Материал анода нагревается до больших температур, чем материал катода. Исключение составляет медь М1, это связано с более высокой теплопроводностью. По температуре нагрева анодные материалы расположились в следующей последовательности: М1 – А5Е – Т10К6. Такое распределение соответствует значениям удельного сопротивления материалов анодов.

При подаче воздуха под давлением в зону электроискрового легирования температуры в зоне уменьшаются при всех материалах анода. Разброс температур между материалами анода составляет 10-15 ^{0}C (рис. 2). Общее количество теплоты, выделившееся при искровом разряде, описывается следующим уравнением:

$$Q_{выд} = Q_П^P + Q_П^A + Q_П^K \quad (1)$$

где:

$Q_{выд}$ - теплота, выделенная при разряде;

$Q_П^P$ - теплота, рассеянная в окружающую среду;

$Q_П^A$ - теплота, поглощенная анодом;

$Q_П^K$ - теплота, поглощенная катодом.

В том случае когда в зону обработки вводится поток воздуха увеличивается количество теплоты уносимой из искрового разряда. Количество теплоты распределенной между анодом и катодом при этом снижается.

Параллельно с тепловизионной съемкой фиксировалось значение амплитудного тока. При отсутствии подачи давления амплитудные значения тока имеют разброс значений в таблице 1. Нестабильные значения амплитудного тока говорят о нестабильности процесса формирования покрытия. Значительный разброс значений тока наблюдается при использовании алюминиевого анода А5Е, это связано с активным окислением поверхности и образования Al_2O_3 на поверхности покрытия. Окись алюминия обладает высоким сопротивлением и влияет на формирование искрового разряда. В случае подачи воздуха в зону легирования значения тока постоянно. Постоянные значения амплитудного тока свидетельствуют о более упорядоченном формировании покрытия, и связаны с постоянной величиной сопротивления в межэлектродном промежутке. Это может быть вызвано меньшим содержанием твердых частиц на поверхности, обладающих более высоким сопротивлением и образующих большую шероховатость поверхности.

Использование подачи воздуха в зону обработки позволяет стабилизировать процесс электроискрового легирования, что подтверждается снижением шероховатости (таблица 1). Поверхность анодных материалов (подача давления воздуха) по сравнению с

поверхностью без воздействия потока воздуха имеет более блестящую поверхность, что говорит о меньшем числе оксидных частиц, перенесенных с поверхности катода.

Выводы

Дополнительная подача воздуха в зону электроискрового легирования выдувает твердые частицы, формирует более стабильное покрытие и способствует снижению шероховатости покрытия. Происходит снижение температуры в анодных материалах и стабилизация амплитудного тока.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Д.Н. Коротаев, В.А. Ким, Е.В. Иванова «Влияние технологических условий электроискрового легирования на состав, распределение и энергетическое состояние анодного массового потока», Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. - № 6. – С. 21–25.

[2] О. В. Казанников, В. Г. Алексеенко «Повышение производительности метода ЭИЛ при размерной обработке деталей», «Ученые заметки ТОГУ», 2014, Том 5, № 2, С. 226 – 230 с.

Самостабилизирующиеся экранопланы – транспорт третьего тысячелетия

В.В. Суржик

Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет, РОССИЯ, 664074, info@istu.edu

Реферат **– в работе приведены результаты комплексного подхода к проектированию экранопланов с оптимизацией по максимальным несущим свойствам крыльев при движении над экраном, по максимальному аэродинамическому качеству экраноплана и определению положения центра тяжести для устойчивой схемы в соответствии с патентом.**

Ключевые слова **– экранопланы, самостабилизация, транспортная система.**

I. Введение

В настоящее время с особой остротой стоит вопрос развития перевозок в малоосвоенных регионах где есть большие и малые реки и где они пересекаются с железнодорожными и автомобильными магистралями. Логическим развитием судов на подводных крыльях являются суда на динамической воздушной подушке или экранопланы, которые будут особенно перспективными для организации круглогодичных скоростных грузопассажирских перевозок по рекам, имеющим малые глубины фарватерного хода и перекаты.

Экранопланы не требуют создания ни аэродромов, ни железнодорожных путей сообщения, ни насыпных дорог. Зона их использования – это русла рек, прибрежные морские зоны, озера, тундра, степи и любые относительно ровные участки суши.

Внедрение этого класса экранопланов в транспортную систему любой области и страны поможет связать отдаленные, малодоступные регионы, расположенные на реках, с центральными промзонами для организации бесперебойного круглогодичного сообщения и снабжения.

II. Методы и средства проектирования

Создание и объединение транспортных потоков экранопланов с автомобильными и железнодорожными магистралями может стать могучим стимулом развития неосвоенных территорий любой страны.

Для экранопланов характерным режимом движения является полет на заданной высоте с жесткими ограничениями на параметры движения ($\delta(\Delta\vartheta)$ - угол тангажа и $\delta(\Delta\bar{h})$ - высоты задней крыла над экраном). Реализация движения экранопланов без «заброса» этих параметров возможна или путем оснащения их системами автоматической стабилизации или путем создания экранопланов самостабилизирующихся компоновочных схем (под забросом параметров понимается дальнейшее увеличение параметров после прекращения действия возмущения). По пути создания систем автоматической стабилизации для экранолетов «самолетной» схемы «Орленок» и «Лунь» пошли на фирме Р.Е. Алексеева (ЦКБ по СПК). Разработкой и созданием экранопланов самостабилизирующихся компоновочных схем занимаются ученые и инженеры Иркутской научной школы.

Под самостабилизацией понимается способность экраноплана сохранять балансировочные режимы и устойчивость движения во всем диапазоне полетных скоростей при действии широкого спектра эксплуатационных возмущений без вмешательства органов управления.

Самостабилизирующиеся экранопланы являются уникальными аппаратами, не имеющими аналогов в мире. Ни одна из других компоновочных схем экранопланов, строящихся и испытываемых в различных странах, не обладают свойством самостабилизации по углу тангажа, то есть способностью к самобалансировке с сохранением устойчивости движения. Использование для этих экранопланов в качестве взлетно - посадочных устройств статической воздушной подушки позволит им перемещать грузы на любых скоростях а также взлетать и садиться на относительно ровные не подготовленные поверхности.

Экранопланы компоновочной схемы “Утка” могут двигаться в экранном режиме и отходить от экранирующей поверхности в каких-либо особых случаях для преодоления препятствий или для перелёта с одной акватории на другую. Эти экранопланы – высокоэффективное транспортное средство, они

позволяют довести перевозимую платную нагрузку до 50% от взлётной массы со стоимостью перевозки в 3 – 4 раза ниже стоимости перевозки одного тонно-километра груза по сравнению с транспортными самолётами.

Для проектирования оптимальных экранопланов, обладающих минимальным сопротивлением, максимальными характеристиками устойчивости и максимальными несущими свойствами, создано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение на базе авторских разработок. В результате использования этого комплекса могут создаваться эскизные проекты самостабилизирующихся экранопланов любого типоразмера в соответствии с заданием заказчика. Динамические характеристики экранопланов обладают свойством автомодельности.

При проектировании любого движущегося объекта необходимо создавать его формализованное представление в виде системы, служащей для описания и понимания законов функционирования и изменения его структуры, в целях получения в результате исследований такого объекта, который способен выполнять целевую функцию наилучшим образом в соответствии с заданными критериальными оценками. Причем адекватность создаваемой математи-ческой модели предусматривает ее способность отражать заданные свойства объекта с погрешностью, не выше заданной. Кроме того, создаваемая математическая модель должна обладать свойством *целостности, связности и эмерджентности*.

На процесс создания технической системы огромное влияние оказывают факторы конструктивного, информационного, структурного, функциональ-ного, энергетического, технологического и организационно-экономического характера. Такое обилие требований к созданию объектов техники предопределило появление и развитие системного анализа (СА). При этом большую систему необходимо рассматривать как интегрированные элементы со связями в пространстве и во времени, объединенные с целью достижения максимальной эффективности всей системы и при гармоничном сочетании, возможно, и противоречивых целей ее составных частей. Система изучается, как извне, так и изнутри, причем изучение извне означает рассмотрение взаимодействия системы с внешней средой, а изнутри непосредственно связано с изучением ее структуры и делится на задачи анализа и задачи синтеза.

При проектировании объекта выделяется набор параметров, описывающих его функционирование и структурно-параметрический набор проектных параметров. Такое разделение параметров единой модели объекта на две части довольно условно, но оно полезно при разработке соответствующего программного обеспечения при разработке САПР (систем автоматизированного проектирования).

Задачей математического моделирования процесса проектирования является описание процессов постановки и решение задач проектирования на основе иерархии математических моделей объекта.

На рис.1, рис.2 и рис 3 приведены экранопланы, созданиые и испытанные в Иркутске. Результаты их испытаний показали очень хорошее совпадение с теоретическими положениями и расчетами [2].

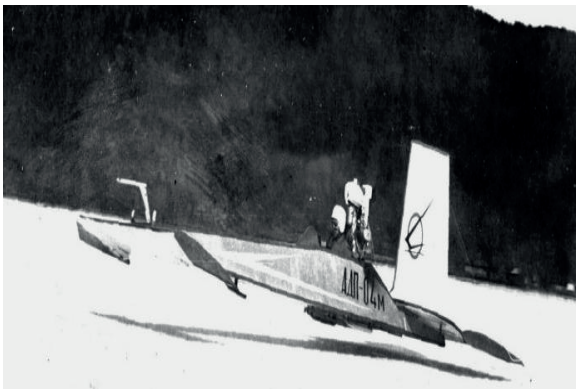


Рис.1. Экраноплан АДП- 04 в полете

Рис. 2 Экраноплан АДП-05М “Орфей” над оз. Байкал

Рис. 3. Прототип промышленного образца грузопассажирского экраноплана СДП-09

Выводы

Необходимо разрабатывать алгоритм управления проектированием системы методом последовательной оптимизации с учетом частных критериев оптимальности. Для вычисления критериев эффективности в сложных задачах проектирования объектов новой техники современное состояние методов вычислительной техники имеет ограниченные возможности. Поэтому целесообразно переходить от глобальных критериев к иерархическим структурам взаимосвязанных частных критериев, реализация которых сводилась бы к решению значительно более простых задач. Поэтому необходима декомпозиция задачи проектирования на ряд целевых задач различного уровня с «нижними этажами» критериев внутреннего проектирования, оценивающих качество системы проектирования, и ее подсистем различного уровня по

их техническим характеристикам, то есть вести последовательную оптимизацию на каждом иерархическом уровне системы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Пат. № 2362693 Российская Федерация, МПК B 60V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Ремизов С.М.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007111299 ; заявл. 27.03.2007 ; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 21. – 2 с.

[2] Суржик, В.В. Структурно-параметрический синтез математических моделей экранопланов / Иркутск, 2012. 184.

Проектирование самостабилизирующихся экранопланов компоновочной схемы

В.В. Суржик
Иркутский научный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, РОССИЯ.

Реферат **- приведены результаты комплексного подхода к проектированию экранопланов с оптимизацией по максимальным несущим свойствам крыльев при движении над экраном, по максимальному аэродинамическому качеству экраноплана и определению положения центра тяжести для устойчивой схемы в соответствии с патентом.**

Ключевые слова **- экранопланы; самостабилизация; транспортная система.**

I. Введение

При проектировании любого движущегося объекта необходимо создавать его формализованное представление в виде системы, служащей для описания и понимания законов функционирования и изменения его структуры, в целях получения в результате исследований такого объекта, который способен выполнять целевую функцию наилучшим образом в соответствии с заданными критериальными оценками. Причем адекватность создаваемой математи-ческой модели предусматривает ее способность отражать заданные свойства объекта с погрешностью, не выше заданной. Кроме того, создаваемая математическая модель должна обладать свойством *целостности, связности и эмерджентности*.

На процесс создания технической системы огромное влияние оказывают факторы конструктивного, информационного, структурного, функционального, энергетического, технологического и организационно-экономического характера. Такое обилие требований к созданию объектов техники предопределило появление и развитие системного анализа (СА). При этом большую систему необходимо рассматривать как интегрированные элементы со связями в пространстве и во времени, объединенные с целью достижения максимальной эффективности всей системы и при гармоничном сочетании, возможно, и противоречивых целей ее составных частей. Система изучается, как извне, так и изнутри, причем изучение извне означает рассмотрение взаимодействия системы с внешней средой, а изнутри непосредственно связано с изучением ее структуры и делится на задачи анализа и задачи синтеза.

При проектировании объекта выделяется набор параметров, описывающих его функционирование и структурно-параметрический набор проектных параметров. Такое разделение параметров единой модели объекта на две части довольно условно, но оно полезно при разработке соответствующего программного обеспечения при разработке САПР (систем автоматизированного проектирования).

Задачей математического моделирования процесса проектирования является описание процессов постановки и решение задач проектирования на основе иерархии математических моделей объекта.

Необходимо разрабатывать алгоритм управления проектированием системы методом последовательной оптимизации с учетом частных критериев оптимальности. Для вычисления критериев эффективности в сложных задачах проектирования объектов новой техники современное состояние методов вычислительной техники имеет ограниченные возможности. Поэтому целесообразно переходить от глобальных критериев к иерархическим структурам взаимосвязанных частных критериев, реализация которых сводилась бы к решению значительно более простых задач. Поэтому необходима декомпозиция задачи проектирования на ряд целевых задач различного уровня с «нижними этажами» критериев внутреннего проектирования, оценивающих качество системы проектирования, и ее подсистем различного уровня по их техническим характеристикам, то есть вести последовательную оптимизацию на каждом иерархическом уровне системы.

В настоящее время с особой остротой стоит вопрос развития перевозок в малоосвоенных регионах где есть большие и малые реки и где они пересекаются с железнодорожными и автомобильными магистралями. Логическим развитием судов на подводных крыльях являются суда на динамической воздушной подушке или экранопланы, которые будут особенно перспективными для организации круглогодичных скоростных грузопассажирских перевозок по рекам, имеющим малые глубины фарватерного хода и перекаты.

Экранопланы не требуют создания ни аэродромов, ни железнодорожных путей сообщения, ни насыпных дорог. Зона их использования – это русла рек,

прибрежные морские зоны, озера, тундра, степи и любые относительно ровные участки суши.

Внедрение этого класса экранопланов в транспортную систему любой области и страны поможет связать отдаленные, малодоступные регионы, расположенные на реках, с центральными промзонами для организации бесперебойного круглогодичного сообщения и снабжения.

Создание и объединение транспортных потоков экранопланов с автомобильными и железнодорожными магистралями может стать могучим стимулом развития неосвоенных территорий любой страны.

Для экранопланов характерным режимом движения является полет на заданной высоте с жесткими ограничениями на параметры движения ($\delta(\Delta\vartheta)$ - угол тангажа и $\delta(\Delta\overline{h})$ - высоты задней крыла над экраном). Реализация движения экранопланов без «заброса» этих параметров возможна или путем оснащения их системами автоматической стабилизации или путем создания экранопланов самостабилизирующихся компоновочных схем (под забросом параметров понимается дальнейшее увеличение параметров после прекращения действия возмущения). По пути создания систем автоматической стабилизации для экранолетов «самолетной» схемы «Орленок» и «Лунь» пошли на фирме Р.Е. Алексеева (ЦКБ по СПК). Разработкой и созданием экранопланов самостабилизирующихся компоновочных схем занимаются ученые и инженеры Иркутской научной школы.

Под самостабилизацией понимается способность экраноплана сохранять балансировочные режимы и устойчивость движения во всем диапазоне полетных скоростей при действии широкого спектра эксплуатационных возмущений без вмешательства органов управления.

Самостабилизирующиеся экранопланы являются уникальными аппаратами, не имеющими аналогов в мире. Ни одна из других компоновочных схем экранопланов, строящихся и испытываемых в различных странах, не обладают свойством самостабилизации по углу тангажа, то есть способностью к самобалансировке с сохранением устойчивости движения. Использование для этих экранопланов в качестве взлетно - посадочных устройств статической воздушной подушки позволит им перемещать грузы на любых скоростях а также взлетать и садиться на относительно ровные не подготовленные поверхности.

Экранопланы компоновочной схемы “Утка” могут двигаться в экранном режиме и отходить от экранирующей поверхности в каких-либо особых случаях для преодоления препятствий или для перелёта с одной акватории на другую. Эти экранопланы – высокоэффективное транспортное средство, они позволяют довести перевозимую платную нагрузку до 50% от взлётной массы со стоимостью перевозки в 3 – 4 раза ниже стоимости перевозки одного тонно-километра груза по сравнению с транспортными самолётами.

Для проектирования оптимальных экранопланов, обладающих минимальным сопротивлением, максимальными характеристиками устойчивости и максимальными несущими свойствами, создано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение на базе авторских разработок. В результате использования этого комплекса могут создаваться эскизные проекты самостабилизирующихся экранопланов любого типоразмера в соответствии с заданием заказчика. Динамические характеристики экранопланов обладают свойством автомодельности.

II. Алгоритм проектирования

Экраноплан компоновочной схемы «Утка» имеет два крыла, кормовое и носовое, установленные под положительными углами атаки и на одинаковых расстояниях от экранирующей поверхности.

Из графика определения зон устойчивости экраноплана схемы «Утка» в зависимости от геометрических параметров $\overline{S}_2$ и $\overline{L}_2$ (рис. 1.) из патента[2] выбираем их значения для устойчивого экраноплана на всех высотах над экранирующей поверхностью вплоть до полета вдали от экрана $\overline{S}_2$= 0,35; $\overline{L}_2$ = 4.

Условно считаем, что тяга движителей (винтов или реактивная тяга) экраноплана лежит в горизонтальной плоскости с центром масс экраноплана.

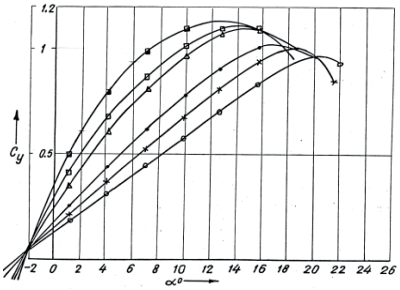


Рис. 1. Поляры

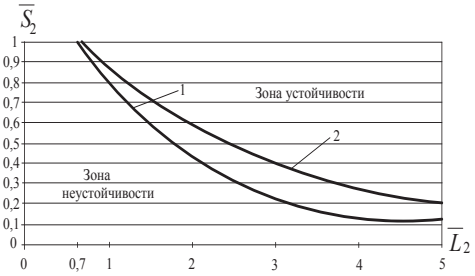


Рис. 2. Зоны устойчивости экраноплана схемы «Утка»

Из уравнений балансировки экраноплана [1]:

$$C_{y1} + C_{y2} * \bar{S}_2 = {}^{2*G}/_{\rho * V^2 * S_1};$$

$$C_{y1} * L_1 = C_{y2} * L_2 * \overline{S}_2;$$

определяем площадь кормового крыла при C_{y1} = 0,7 и C_{y2} = 0,8 (согласно Рис. 2.).

$$S_1 = \frac{2 * G_{взл.}}{(C_{y1} + C_{y2} * \bar{S}_2) * \rho * V_{отр.}^2}$$

Площадь носового крыла: $S_2 = S_1 * \overline{S}_2$.

Определяем хорды крыльев при удлинении, равном 2 (двум):

$B_1 = \sqrt{\frac{S_1}{2}} = (м);$ $B_2 = \sqrt{\frac{S_2}{2}} = (м).$

Определяем хорды крыльев при удлинении равном 3 (трем):

$B_1 = \sqrt{\frac{S_1}{3}} = (м);$ $B_2 = \sqrt{\frac{S_2}{3}} = (м).$

Определяем отстояния от экрана до задней кромки носового крыла в зависимости от отстояния кормового крыла при удлинениях крылье равном 2:

$\bar{h}_2 = \bar{h}_1 * \frac{B_1}{B_2}$.

Определяем отстояния от экрана до задней кромки носового крыла в зависимости от отстояния кормового крыла при удлинениях крылье равном 3:

$\bar{h}_2 = \bar{h}_1 * \frac{B_1}{B_2}$.

Определяем потребные значения C_{y2} в зависимости от C_{y1}. Значения C_{y1} берем из продувочных значений крыльев Рис. 2.: $C_{y2потр.} = \frac{Cy1}{S_2 L_2} = \frac{Cy1}{1,4}$.

III. Определение ширины фюзеляжа.

Для расчета ширины салона экраноплана использована методика расче-тов салона самолета II класса. Ширина прохода между блоками сидений для II класса составляет 450 мм.

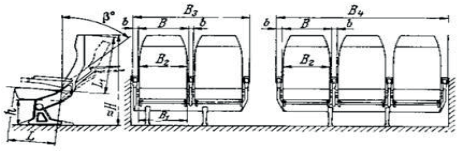


Рис. 3. Основные размеры пассажирских сидений II класса

Таблица 1. Основные размеры пассажирских сидений

Класс пассажирского сидения	Расстояние между ——— p	Ширина подлокотника, b	Длина подушки сидения до спинки, L	Ширина подушки сидения, B_1	Высота сидения над полом, h	Ширина спинки, B_2	Длина спинки от подушки сидения L_1	Угол отклонения спинки от вертикали, β	Высота сидения, ≈H	Ширина блока сидений	
										B_3	B_4
II класс	470	50	450	450	300	450	700	35	1000	1080	1590

Расчет ширины фюзеляжа производится по следующей формуле:

$B_ф = N * B + K * b + H * 0.45 + 0.06 * 2 + 0.12 * 2$;

где:

N – кол-во пассажирских мест в одном ряду;

K – кол-во подлокотников;

H – кол-во проходов между блоками сидений;

B – расстояние между подлокотниками (ширина сидения) в м;

b – ширина подлокотника в м;

0.45 – ширина прохода между блоками сидений в м;

0.06 – величина зазора между подлокотником и внутренней поверхностью фюзеляжа в м;

0.12 – толщина стенки фюзеляжа в м.

IV. Определение длины фюзеляжа

Длина пассажирской кабины для N пассажиров, сидящих по K человек в одном ряду, C = (N/K – 1); – количество промежутков между рядами кресел

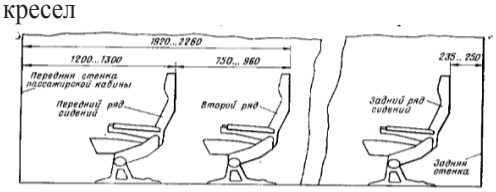


Рис. 4. Основные размеры пассажирских сидений II класса

$l_{каб} = 1.25 + C * 0.9 + 1.25 + 0.25 = 4.55$ м;

где:

1.25 – расстояние от передней перегородки до верха спинок первого ряда пассажирских сидений в м;

0.9 – расстояние (шаг) между рядами сидений в м;

1.25 – расстояние между креслами в ряду с запасными выходами;

0.25 – расстояние от задней перегородки до верха спинок последнего ряда пассажирских сидений в мм.

Определяем удельный объем воздуха, приходящийся на одного ассажира.

Этот объём можно упрощенно рассчитать как объём цилиндра с диамет-ром основания $B_ф$ и высотой $l_{каб}$: $V_{уд} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{B_ф}{2}\right)^2 \cdot l_{каб}}{N_{пасс}}$

V. Длина кабины экипажа

Принимаем её равной 2.5 м. $l_{каб\ экип} = 2.5$ м

VI. Багажное отделение

Багажные помещения размещаются рядом с пассажирским салоном.

Не-обходимый объем багажных помещений находим по формуле:

$V_{баг} = 0,25 \cdot N_{пасс}$

Длину багажного отсека находим по формуле: $l_{баг} = \frac{V_{баг}}{\pi \cdot \left(\frac{B_{ф} \cdot 0{,}8}{2}\right)^2}$

VII. Кухня

Определяем необходимый объем кухонного отсека: $V_{кух} = 0{,}14 \cdot N_{пасс}$

Определяем длину кухонного отсека:

$$l_{кух} = \frac{V_{кух}}{\pi \cdot \left(\frac{B_{ф} \cdot 0{,}8}{2}\right)^2}.$$

VIII. Туалеты

Площадь пола одного туалета обычно составляет 1,6 м^2. Так как ширина не должна быть менее 1 м, то можно принять длину туалетной комнаты равной 1,2 м (с учетом того, что ширина туалетной комнаты больше длины).

В данном экраноплане положено иметь n туалетов, следовательно общая длина $l_{туал}$ находится по $l_{туал} = n * 1.2 = м.,$ где n – количество туалетов.

IX. Тамбуры

По ГОСТу размер одного тамбура должен составлять 1.5 м,

$l_{тамб} = p * 1.5 = м.$ где p – количество тамбуров.

X. Общая длина фюзеляжа

Определяем общую длину фюзеляжа

$$L_{фюз} = l_{каб\ экип} + l_{кух} + l_{тамб} + l_{каб} + l_{туал}$$

Определяем расстояние между центрами давления крыльев экраноплана:

$$L_{базы} = L_1 + L_2 = L_{ф} - 0{,}35\sqrt{\frac{S_2}{\lambda_2}} - 0{,}65\sqrt{\frac{S_1}{\lambda_1}} \quad ;$$

где L_1 – расстояние от центра давления основного крыла до центра масс экраноплана, м;

L_2 - расстояние от центра давления носового крыла до центра масс экраноплана, м;

$L_{ф}$ - длина фюзеляжа, м;

S_2–площадь носового крыла, м;

S_1 – площадь основного крыла, м;

λ_i - удлинение крыльев.

Определяем значения скоростей экраноплана при различных отстояниях экраноплана от экранирующей поверхности.

$$V = \sqrt{\frac{2G_{взл.}}{(C_{y1} + C_{y2потр} S_2)\rho S_1}}.$$

XI. Примеры расчетов

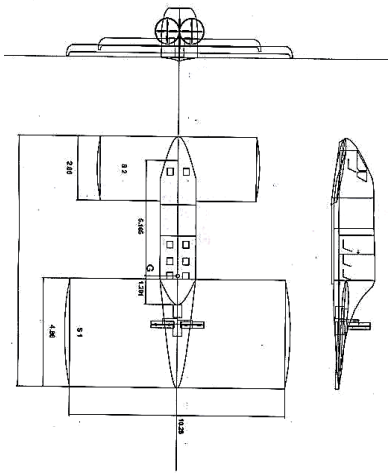
Экраноплан $G_{взл}$ = 2000 кг на 6 пассажиров

Проектные данные:

$G_{взл.}$ = 2000 кг. – Взлетный вес экраноплана;

$G_{пасс.}$ = 600 кг. – Вес пассажиров с ручной кладью (шесть пасса-жиров);

$V_{взл.}$ = 100 км/час (27,78 м/сек.) – Взлетная скорость;



Экраноплан $G_{взл.}$ = 2 тн (6 пассажиров).

$V_{крейс.}$ = 140 км/час (38,72 м/сек.) – Крейсерская скорость.

Кормовое крыло: S_1 = 47,39 м^2; B_1 = 4,86 м; L_1 = 1,21 м.

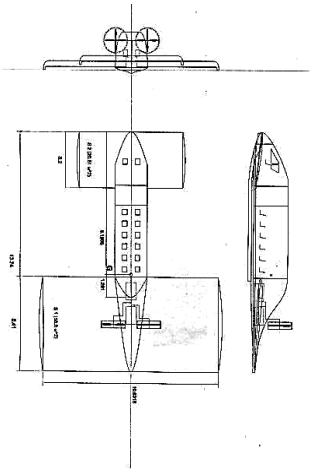
Носовое крыло: S_2 = 16,6 м^2; B_2 = 2,88 м; L_2 = 4,84 м.

Фюзеляж: $L_{базы}$ = 6,05 м; $B_{ф}$ = 1,91 м.

Результаты расчетов приведены в таблице:

h_1	C_{y1}	h_2	C_{y2} (потребн.)	$V_{пол.}$ (км/ча)	$V_{пол.}$ (м/сек)	$H_{цен.тяж}$ (метров)
0,2	0,7	0,336	0,5	100	27,78	0,972
0,5	0,42	0,84	0,36	129,1	35,86	2,43
0,8	0,36	1,34	0,257	139,43	38,72	3,9

Экраноплан $G_{взл}$ = 3000 кг на 12 пассажиров



Экраноплан $G_{взл.}$ = 3 тн (12 пассажиров)

Проектные данные:

$G_{взл.}$ = 3000 кг. – Взлетный вес экраноплана;

$G_{пасс.}$ = 1200 кг. – Вес пассажиров с ручной кладью (двенадцать пассажиров);

$V_{взл.}$ = 110 км/час (30.6м/сек.) – Взлетная скорость;

$V_{крейс.}$ = 140 км/час (41.7м/сек.) – Крейсерская скорость.

Кормовое крыло: $S_1 = 58.6$ м^2; $B_1 = 5.41$ м; $L_1 = 1{,}12$ м.

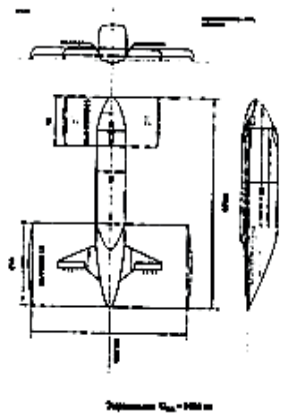
Носовое крыло: $S_2 = 20.51$ м^2; $B_2 = 3.2$ м; $L_2 = 4{,}48$ м.

Фюзеляж: $L_{базы} = 5{,}6$ м; $B_ф = 3{,}05$ м.

Результаты расчетов приведены в таблице:

h_1	C_{y1}	h_2	C_{y2}.(по требн.)	$V_{пол.}$ (км/час)	$V_{пол.}$ (м/сек)	$H_{цен.тяж}$ (метров)
0,2	0,7	0,338	0,5	110	30,6	1,1
0,5	0,42	0,845	0,3	142	39,44	2,71
0,8	0,36	1,352	0,257	153,4	42,6	4,34

Экраноплан $G_{взл}$ = 1 000 т, (1 000 000 кг)



Проектные данные:

$G_{взл.}$ = 1 000 000 кг. – Взлетный вес экраноплана;

$G_{груз..}$ = 500 000 кг. – Вес перевозимого груза

$V_{взл.}$ = 160 км/час (44,44 м/сек.) – Взлетная скорость;

$V_{крейс.}$ = 220.4 км/час (61.11м/сек.) – Крейсерская скорость.

Кормовое крыло: $S_1 = 8265$ м^2; $B_1 = 64{,}3$ м; $L_1 = 15$ м.

Носовое крыло: $S_2 = 2892{,}8$ м^2; $B_2 = 38$ м; $L_2 = 60$ м.

Фюзеляж: $L_{базы} = 75$ м; $B_ф = 7{,}52$ м.

Результаты расчетов приведены в таблице:

h_1	C_{y1}	h_2	C_{y2}.(по требн.)	$V_{пол.}$ (км/час)	$V_{пол.}$ (м/сек)	$H_{цен.тяж}$ (метров)
0,2	0,7	0,338	0,8	160	44,44	12,86
0,5	0,42	0,845	0,3	220,4	61,21	32,15
0,8	0,36	1,352	0,257	238	66,11	51,4

ЛИТЕРАТУРА

[1] Суржик, В.В. Влияние параметра отображения в асимтотическом методе пространства малого времени на решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений / В.В. Суржик, Т.Н. Суржик // Асимптотические методы в теории систем. – Иркутск : 1975. – Вып. 8. – С. 167-174.

[2] Суржик, В.В. Результаты испытаний экранопланов серии АДП и перспективы создания транспортных экранопланов для круглогодичной эксплуатации на реках Сибири / В.В.Суржик и др. // Вопросы создания транспорта для Сибирского Севера. – Иркутск : Изд-во ВСФ СО АН СССР, 1988. – С. 38-44.

[3] Суржик, В.В. Самостабилизированный экраноплан – новый вид транспорта / В.В. Суржик // АэроМастер 0/98. Научно-популярный альманах о легкомоторной авиации. Авиационная корпорация. – Новосибирск : 1998. – С. 116-117.

[4] Суржик, В.В. Будем летать как “утки” / В.В. Суржик, А.В. Коршунов // Журнал “Да Триумф”. – Иркутск : 2003. – Вып. 2.

[5] Суржик, В.В. О возможности внедрения в транспортную систему экранопланов компоновочной схемы “утка” / В.В. Суржик // Геополитические и социально-экономические проблемы создания международных транзитных транспортных коридоров. Монография Байкальского Экономического Форума. – Иркутск : 2004.– Т. 1. – С. 383-386.

[6] Суржик, В.В. Экранопланы в условиях сибирского климата / В.В. Суржик, Ю.Ф. Мухопад, И.И. Орлов / Труды III Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. – Якутск : 2006. – Часть VI. – С. 10-20.

[7] Суржик, В.В. Экранопланы – перспективный транспорт для просторов Сибири / В.В. Суржик, Ю.Ф. Мухопад, И.И. Орлов // Современные технологии, системный анализ, моделирование. – Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2006. – Вып. 3(11). – С. 144-150.

[8] Суржик, В.В. Определение зоны устойчивости экранопланов / В.В. Суржик // Материалы XI Международной научно–практической конференции. Современные технологии в машиностроении. – Пенза : 2007. – С. 214-217.

[9] Суржик, В.В. Критерии оценки устойчивости экранопланов / В.В. Суржик // Вестник научных трудов НГТУ. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2007. – Вып. 1(26). – С. 167-176.

[10] Суржик, В.В. Перспективы развития транспортных сетей для Евро-Азиатского коридора / В.В. Суржик, Ю.Ф. Мухопад // Современные технологии, системный анализ, моделирование. – Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2008. – Вып. 3(19). – С. 171-173.

[11] Surzhik, V.V. Integration way of development of the transportation network for EURO-ASIAN corridor / V.V. Surzhik and Y.F. Mukhopad // Innovation & Sustainability of Modern Railway Proceedings of ISMR 2008. Edited by Lei. Xiaoyan. – China : 2008. – P. 427-430.

[12] Surzhik, V.V. The second-generation ekranoplans / V.V. Surzhik and Y.F. Mukhopad // Innovation & Sustainability of Modern Railway Proceedings of ISMR 2008. Edited by Lei. Xiaoyan. – China: 2008. – P. 597-601.

[13] Суржик, В.В. Интеграция евро-азиатских транспортных систем / В.В. Суржик, Ю.Ф. Мухопад // Труды Байкальской Всероссийской конференции. Информационные и математические технологии в науке и управлении. – Иркутск : Изд-во СЭИ им. Л. А. Мелентьева СО РАН, 2009. – Том 1– С. 185-189.

[14] А. с. 663152 СССР, М. Кл.[2] В 60 V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / В.В. Суржик, А.Н. Панченков, В.И. Орищенко, В.Я. Уризченко (СССР). – № 2201912/40-23 ; заявл. 05.04.1976. – 4 с. : ил.

[15] А.с. 708639 (СССР). М. Кл.[2] В 60 V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / В.В. Суржик, А.Н. Панченков, А.К. Харковенко (СССР). – № 2601673/27–1; заявл. 7.04.1978. – 5 с. ил.

[16] А.с. 915372 (СССР). М. Кл.[2] В 60 V 1/08. Самостабилизированный экраноплан по схеме “Утка” / В.В. Суржик, А.Н. Панченков, В.Я. Уризченко, В.И. Орищенко, А.К. Мартынов, К.Б. Попов, А.П. Стерхов, А.К. Харковенко (СССР). – № 2895857/40–23; заявл. 19.03.1980. – 8 с. ил.

[17] Пат. № 2224671 Российская Федерация, МПК[7] В 60V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Скороходов П.А., Таранушенко В.В.,Ремизов С.М., Взяткин Г.А. Иркутск. Закрытое акционерное общество “Технологии СДП. – № 2003100793 ; заявл. 09.01.2003 ; опубл. 27.02.2004, Бюл. № 6. – 1 с.

[18] Пат. № 2362693 Российская Федерация, МПК В 60V 1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Ремизов С.М.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007111299 ; заявл. 27.03.2007 ; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 21. – 2 с.

[19] Пат. № 2368521 Российская Федерация, МПК В 60V 1/08. Экраноплан “самолетной” схемы / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007129448 ; заявл. 31.07.2007 ; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 27. – 2 с.

[20] Пат. № 2368522 Российская Федерация, МПК В 60V1/08. Самостабилизирующийся экраноплан / Суржик В.В., Мухопад Ю.Ф., Величко И.И.; заявитель и патентообладатель Иркутск. ООО Байкальский научно-инженерный центр. – № 2007129449 ; заявл. 31.07.2007 ; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 27. – 2 с.

[21] Суржик, В.В. Экранопланы Сибири / В.В. Суржик. // Мир транспорта. – М. : 2009. – Вып. 2. – С. 34-39.

[22] Суржик, В.В. Испытания моделей экранопланов на открытой воде с записью параметров движения [Текст] / В.В. Суржик // Сборник докладов I-й научно-практической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов. – Иркутск : ИФ МГТУ ГА, 2009. – С. 67-76.

[23] Суржик, В.В. Интеграция евро-азиатских транспортных систем / Ю.Ф. Мухопад, В.В. Суржик // Труды XIV Байкальской Всероссийской конференции. – Иркутск : 2009. – Т. 1. – С. 185–189.

[24] Суржик, В.В. Определение зон устойчивости конструктивных схем экранопланов [Текст] / В.В. Суржик // Журн. “Полет” – М. : Машиностроение. – 2010. – Вып. 2. – С. 28-32.

Суржик, В.В. Структурно-параметрический синтез математических моде лей экранопланов [Текст] / Иркутск, 2012. 184 с.

К задаче Чаплыгина

Ю.Я. Усольцев

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, knastu@knastu.ru

Реферат **– в работе приведены подходы к решению задачи Чаплыгина, заключающиеся в определении максимальной площади траектории полета самолета с учетом погодных условий и временных факторах.**

Ключевые слова **– траектория, скорость ветра, эллипс, динамика самолета, управление движением самолета.**

I. Введение

Задача состоит в определении максимальной площади, которую должна охватить траектория полета самолета за фиксированное время, при наличии ветра.

Решение задачи при постоянной скорости ветра и постоянной скорости самолета относительно ветра приведено в различных источниках.

II. Результаты

Траекторией динамики самолета является эллипс.

Некоторые считают, что он получается как круг, снесенный ветром, что не соответствует действительности.

Однако управление движением самолета не приведено.

Для определения управления используем метод балансировочных уравнений, предложенный И.Ф. Верещагиным [1].

Будем считать скорость ветра равной $\vec{u}$, скорость самолета относительно ветра - $\vec{v}$.

Обе скорости постоянный по величине, а скорость ветра постоянна и по направлению.

Абсолютная скорость самолета

$$\vec{V} = \vec{u} + \vec{v}.$$

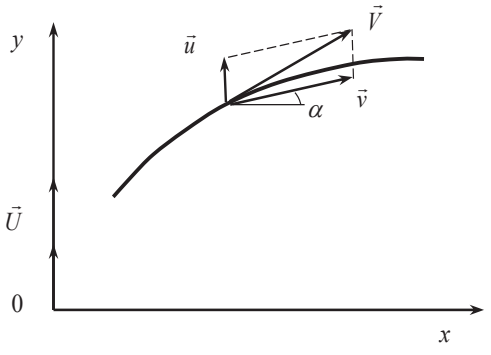


Рис.1. Траектория движерния

Считая, что самолет летит на одной и той же высоте, совместим ось *Oy* с направлением скорости ветра.

Скорость самолета относительно ветра в начальный момент времени также направим по оси *Oy*.

Для решения задачи используем двухуровневую иерархическую механическую систему (рабочий процесс и уровень управления).

В зависимости от начальных и конечных условий траекторией, в общем случае, может быть гипербола, парабола или эллипс.

В нашем случае траектория должна быть замкнутой. Поэтому решение следует искать в виде тригонометрических функций

$$\begin{cases} x = \dfrac{1}{\varpi}\left(A\sin\varpi t - B\cos\varpi t\right) + c \\ \dot{x} = A\cos\varpi t + B\sin\varpi t \end{cases}.$$

Начало координат совместим с началом облета площади. С этой же точкой должно совпадать положение самолета и во время прилета. Тогда начальные и конечные условия будут иметь вид

t = 0, x = 0, $\dot{x} = 0$; t = T, x = 0, $\dot{x} = 0$.

Здесь *T* – время полета самолета.

Эти условия позволяют определить неизвестные *A*, *B*, *C*, ω в системе (1).

Используя их получим

$$A = 0,\ \varpi = \frac{2\pi}{\dot{O}},\ B = \frac{2\pi C}{T}.$$

Учитывая, что $\dfrac{B}{\varpi} = C$ из выражения $x = C\left(1 - \cos\varpi t\right)$, следует, что $C = a$ – большая полуось эллипса, расположенная на оси *Ox*.

Решение системы (1) принимает вид

$$\begin{cases} x = a\left(1 - \cos\dfrac{2\pi}{T}t\right) + c \\ \dot{x} = \dfrac{2\pi a}{T}\sin\dfrac{2\pi}{T}t \end{cases}.$$

При конкретных значениях *u*, *v* и *T* можно определить величину *a*.

Управление будет определяться углом $\overset{(1)}{\alpha}$ (рис. 1) из выражения

$$\tilde{n}os\alpha = \frac{2\pi a}{vT}\sin\frac{2\pi}{T}t.$$

ЛИТЕРАТУРА

[1] И.Ф. Верещагин. Принцип балансирования. – Сб. : Проблемы механики управляемого движения. – Пермь : Пермский ун-т, 1976. - № 8. – С. 13-19

Экспериментальные исследования момента внешних сил при ротационном обжиме труб

Хейн Вин Зо

МАТИ-Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, РОССИЯ, 109240, post@mati.ru

***Реферат* – в работе рассмотрены вопросы ротационного обжима для осесимметричных деталей типа обтекатель, переходник, сильфон, компенсатор и других деталей гидрогазовых систем летательных аппаратов.**

***Ключевые слова* – ротационный обжим, деформирование, формообразование, летательные аппараты**

I. Введение

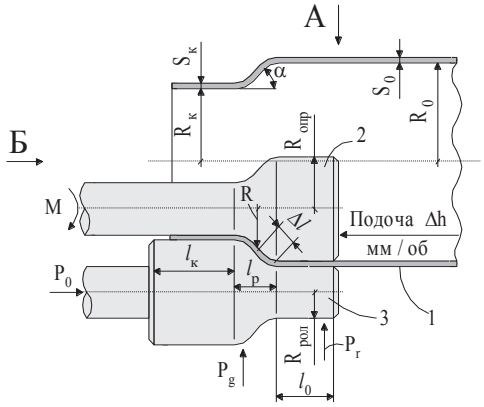
Для осесимметричных деталей типа обтекатель, переходник, сильфон, компенсатор и других деталей гидрогазовых систем летательных аппаратов в последнее время все чаще применяются методы локального деформирования, в том числе методы ротационного формообразования, которые в сравнении с традиционными методами листовой штамповки обладают рядом достоинств: снижением деформирующего усилия, простотой технологической оснастки, большими возможностями формоизменения и другими примуществами.

Однако не все процессы ротационного деформирования в настоящее время являются достаточно изученными. Это в полной мере относится к перспективному процессу изготовления осесимметричных деталей летательных аппаратов ротационным обжимом труб [1-2]. Поэтому исследования в этом направлении (в части расчета технологических параметров, оптимальных режимов деформирования) являются актуальными.

II. Результаты

Процесс ротационного обжима осуществляется иначе (рис. 1). Заготовка 1 помещается в зазор между оправкой 2 и давильным роликом 3. Под действием усилия P происходит упругое сжатие стенки заготовки. Обжим заготовки 1 осуществляется путем ее вращения и осевой подачи в профилированный зазор между оправкой 2 и роликом 3, причем вращение и осевое перемещение заготовки осуществляет вращающаяся оправка 2 при отклонении оси вращения заготовки на угол γ от оси вращения оправки (рис.2).

Таким образом происходит локальное деформирование концевого участка заготовки сначала в нестационарном, а затем в стационарном очаге деформации [5].Работа, развиваемая внешним моментом M, за исключением потерь на упругое деформирование зоны передачи усилия, полностью идет на формообразование концевого участка трубы.



1 - заготовка; 2 - оправка; 3 - ролик

Рис. 1. Схема ротационного обжима труб

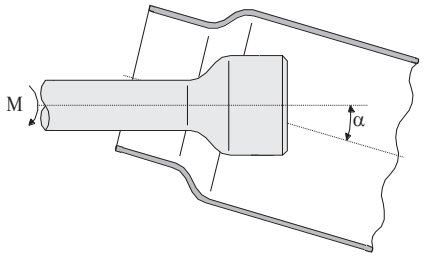


Рис.2. Схема ротационного обжима труб. Вид А на рис. 1

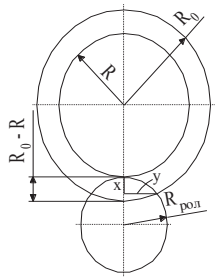


Рис. 3. К расчету площади контакта заготовки и инструмента. Вид Б на рис. 1

Момент внешних сил (крутящий момент) определялся с использованием специального приспособления, установленного на установке для раскатки, схема которого приведена на рис. 2, а внешний вид представлен на на рис. 2.

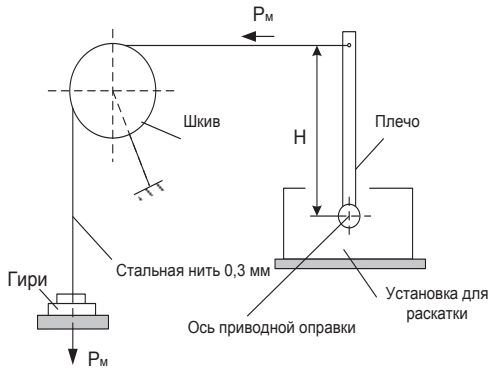


Рис. 4. Схема приспособления для определения крутящего момента

Рис. 5. Общий вид приспособления для определения крутящего момента

Величина момента (рис. 4) определялась по известной формуле М = Рм Н в момент перемещения заготовки под заданной нагрузкой. Влияние сил трения в передачах установки (шкив, редуктор и т.д.) компенсировалось специальной установочной гирей.

Результаты экспериментов применительно к ведущей давильной оправки Ø 24 мм и ведомой - Ø 60 мм приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. МОМЕНТЫ ВНЕШНИХ СИЛ ПРИ РОТАЦИОННОМ ОБЖИМЕ ТРУБ

№ п/п	Заготовка, материал размеры	Усилие со стороны давильной оправки, кг	Вес гирь $P_м$, кг	Плечо Н, м	Толщина в зоне контакта, мм	Момент, М, кгм
1	Полоса, АМг6М 17х2,25 мм	500	1,85	0,36	2,1	0,66
2		750	3,5	0,36	2	0,97
3		1000	6,0	0,36	1,9	2,16
4	Труба Д16Т Ø 20х10х1,8	500	3,2	0,36	1,55	1,152
5		1000	4,5	0,36	1,50	1,62
6	Полоса Д16Т 20х1,95 мм	1000	4,4	0,36	1,05	1,584
7		1500	6,4	0,36	1,0	2,3
8	Труба АМг6М Ø 40х24х2,5	1000	4,8	0,36	3,15	1,728
9		1500	6,5	0,36	2	2,34

ТАБЛИЦА 2. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА И ЭКСПЕРИМЕНТА ПО НЕОБХОДИМОМУ КРУТЯЩЕМУ МОМЕНТУ М

№	Заготовка материал, размеры	Погонное усилие, P/L, кг/мм	Длина очага, a=b, мм (экспер)	Длина очага, a=b, мм (расчет)	Толщина в зоне контакта, мм	Момент, М, кг · м (эксперимент)	Момент, М, кг · м (расчет)
1	Полоса, АМг6М 20х1,95 мм	25,0	1,0	0,6	1,93	0,66	0,95
2		37,5	1,5	0,9	1,90	0,97	1,24
3		50,0	2,0	1,6	1,80	2,16	3,14
4	Труба Д16Т Ø 30х10х 1,5	50,0	1,0	0,9	1,45	1,152	1,9
5		100,0	1,8	1,3	1,40	1,62	2,4
6	Полоса Д16Т 20х0,95 мм	50	1,0	0,6	0,93	1,584	2,34
7		75	1,5	0,9	0,90	2,3	3,4
8	Труба АМг6М Ø 50х24х 2,1	41,7	1,2	0,94	2,05	1,728	2,2
9		62,5	1,5	1,33	1,95	2,34	3,2

Выводы

Из таблицы видно, что расчетные значения крутящего момента отражают физические закономерности процесса, однако превышают экспериментальные значения примерно в 1,2-1,5 раза. Это связано с приближенной зависимостью , которую (по результатам экспериментов) можно уточнить, введя в нее корректирующий коэффициент К=0,7-0,8. Повышенные расчетные значения крутящего момента удовлетворяют практическим требованиям коэффициента запаса по моменту при проектировании установок для раскатки труб. Значительные расхождения расчета и эксперимента при малых погонных усилиях можно объяснить погрешностью измерения длины очага деформации.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Листовая штамповка. Расчет технологических параметров. Справочник / В.И. Ершов, О.В. Попов, А.С. Чумадин и др. – М.: Изд-во МАИ, 1999. -516 с.

[2] Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 480 с.

[3] Чумадин А.С.., Хейн Вин Зо. Расчет силовых параметров при ротационном обжиме труб. НАУЧНЫЕ ТРУДЫ МАТИ ВЫПУСК 20 (92) 2013 ., с.182-185

[4] Хейн Вин Зо. Математическое моделирование процесса ротационного обжима концевого участка трубы. интернет-журнал "Науковедение": электронное научно-техническое издание. Выпуск 6 - 2013 (19) - ноябрь – декабрь, идентификацион -ный номер статьи в журнале: 62TVN613, http://naukovedenie.ru/

[5] Хейн Вин Зо. Экспериментальные исследования ротационного обжима труб в производстве деталей летательных аппаратов. Журнал «Фундаментальные исследования» №12 часть (8) 2014г., с.1959-1963.

Пути минимизации затрат на подготовку космических аппаратов на техническом комплексе космодрома

Д. Ю. Шайкина

Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс», Самара, РОССИЯ, 443009, mail@samspase.ru

Реферат **– Подготовка космических аппаратов на техническом комплексе любого космодрома является одной из самых трудоемких и дорогостоящих операций в процессе его создания, поэтому необходимо уделять особое внимание формированию новых технологий подготовки, а так же оптимизации уже разработанных. Минимизация затрат на проведение подготовки космического аппарата к запуску позволит обеспечить его конкурентоспособность на мировом космическом рынке.**

Ключевые слова **– космический аппарат, технический комплекс, испытания космического аппарата**

I. Введение

Все существующие и разрабатывающиеся изделия ракетно-космической техники в обязательном порядке подлежат испытаниям перед вводом в эксплуатацию и подготовке к запуску в космос. Космические аппараты (КА) нуждаются в испытаниях в первую очередь, так как они представляют собой сложную систему взаимодействующих между собой бортовой научной аппаратуры и обеспечивающих систем.

Испытания космического аппарата и входящих в его состав систем и агрегатов носят различный характер и проводятся как на заводе-изготовителе (заводские испытания систем и агрегатов), так и в эксплуатирующей организации (автономные испытания агрегатов, комплексные, летные испытания космического аппарата). В эксплуатирующей организации летные испытания космического аппарата так же проводятся в различных местах – техническом и стартовом комплексах.[1]

В этой статье речь пойдет о технических комплексах, предназначенных для проведения испытаний космических аппаратов и о способе сокращения финансовых, временных и ресурсных затрат на проведение этих испытаний.

II. Технический комплекс

Технический комплекс – это совокупность зданий, сооружений, технического и технологического оборудования, обеспечивающих прием, хранение

составных частей, сборку и испытания изделий ракетно-космической техники (ракет-носителей (РН), ракет космического назначения (РКН), космический аппаратов (КА), разгонных блоков (РБ) и др.)

Технический комплекс космического аппарата (ТК КА) предназначен для приема КА и его перегрузки, подготовки и проведения пневмовакуумных и электрических проверок КА, заправки КА компонентами топлива и сжатыми газами, стыковки КА с переходным отсеком [2].

В состав ТК КА входят:

- сооружения и технические системы (монтажно-испытательный корпус (МИК), лабораторный пристрой и тд.);
- комплект механо-технологического оборудования (КМТО) КА, предназначенный для приема, перегрузки и транспортирования КА на ТК КА;
- комплект пневмовакуумного оборудования (КПВО), предназначенного для проведения пневмовакуумных испытаний КА и заправки его сжатыми газами;
- комплект наземного оборудования и проверочной аппаратуры, предназначенный для проведения электрических испытаний КА и его составных частей на ТК КА;
- технологические системы для обеспечения функционирования ТК КА (система гарантированного электропитания, система пожаротушения, газоснабжения и тд.);
- заправочно-нейтрализационная станция (ЗНС), предназначенная для заправки КА компонентами топлива, сжатыми газами, слива компонентов топлива и нейтрализации их остатков в случае несостоявшегося пуска.

III. Испытания космического аппарата на техническом комплексе

Для каждого конкретного космического аппарата предусмотрены свои проверки на техническом комплексе КА. В общем сокращенном виде в настоящее время испытания КА на техническом комплексе КА выглядят следующим образом:

- автономные испытания бортовой аппаратуры, если они предусмотрены документацией;
- проверочные включения электрически состыкованной аппаратуры в составе КА;
- комплексные испытания.

Автономные испытания – это испытания отдельных бортовых систем, узлов, агрегатов, входящих в состав КА. При автономных испытаниях должны проверяться практически все элементы системы, приборы, агрегаты, цепи, каналы управления с оценкой стыковочных параметров (входных и выходных). При автономных испытаниях проводится окончательная подстройка, регулировка и калибровка приборов, агрегатов, систем с целью обеспечения характеристик, заданных документации на испытываемую аппаратуру [2].

На техническом комплексе КА для каждой проверяемой системы (агрегата) из состава КА имеется своя проверочная аппаратура или наземное технологическое оборудование, предназначенные для проведения всего объема испытаний именно этой системы.

Проверочные включения электрически соединенных бортовых систем, приборов, агрегатов поводятся с целью поочередной проверки работоспособности в составе КА с записью контролируемых параметров проверяемых систем на систему измерений. Проверочные включения начинаются с проверки исходного состояния систем и проводятся в такой последовательности, чтобы в первую очередь проверялись системы, обеспечивающие работу остальных систем. Проверочные включения подтверждают готовность систем к проведению комплексных испытаний [2].

Комплексные испытания проводятся с целью проверки работоспособности бортовой аппаратуры в составе КА по программе испытаний, приближенной к программе функционирования КА при штатной эксплуатации. При этом проверяется работа программ, характеристики которых находятся в прямой зависимости от выходных параметров бортовой аппаратуры. Комплексные испытания планируются таким образом, чтобы имелась возможность как сквозной отработки всех из необходимого большинства испытываемых режимов работы, так и отработки режимов в отдельности [3].

IV. Пути минимизации затрат на подготовку космических аппаратов на техническом комплексе космодрома

Как видно из общего описания, для каждого конкретного космического аппарата необходим свой комплект наземного технологического оборудования и проверочной аппаратуры, состав которого определяется только составом агрегатов и систем, входящих в конкретный космический аппарат.

В настоящее время КА различного назначения, разработанные в РФ, запускаются с космодромов «Плесецк» в Архангельской области, и «Байконур» в Казахстане, уже в конце 2015 начнутся запуски КА с нового российского космодрома «Восточный» в Амурской области. И для каждого конкретного КА необходимо оборудовать космодром полным комплектом наземного оборудования и проверочной аппаратуры, в соответствии с программой запусков на определенный период. Таким образом, если планируется запустить один и тот же аппарат в двух космодромов, необходимо изготовить и поставить два одинаковых комплекта оборудования для проверки этого КА на каждый из них. Это приводит к значительным финансовым (стоимость изготовления такого комплекта порядка 600-700 млн. рублей) и временным затратам.

На протяжении всего периода освоения космоса велись работы по оптимизации затрат на всех этапах создания РКТ, и этап подготовки ракетно-космических изделий на техническом комплексе не стал исключением.

Наиболее перспективными для изучения и внедрения в настоящее время являются два пути по сокращению затрат на подготовку КА на космодроме:

1.*Сокращение объема испытаний КА на техническом комплексе за счет проведения максимально полного объема испытаний его на заводе-изготовителе.*

Необходимость применения данного подхода актуальна потому, что большое количество испытаний, проводимых на космодроме, дублирует испытания, проводимые на заводе-изготовителе. При этом, анализ статистики видов и количества замечаний к бортовым системам и аппаратуре КА при испытаниях на заводе-изготовителе и на космодроме показывает, что повторные испытания систем в эксплуатирующей организации, успешно прошедших испытания на заводе-изготовителе, являются излишними.

Обоснованное сокращение объема испытаний может привести к нескольким положительным результатам, а именно:

- сокращается время на подготовку КА на космодроме, при этом удовлетворяются все требования по надежности, которые предъявляются ко всем бортовым системам и КА в целом;

- за счет сокращения объема испытаний уменьшается объем наземного технологического оборудования, поставляемого на космодром, что так же экономит временные и финансовые ресурсы, выделяемые на создание и подготовку КА к запуску;

-уменьшается количество разрабатываемой конструкторской и эксплуатационной документации, необходимой для создания ТК КА и работа персонала на нем;

- снижается количество необходимого обслуживающего персонала, а так же вспомогательных систем и агрегатов, используемых для поддержания ТК в готовности и подготовки его к работе с КА и тд.

2. *Создание принципиально новых технических комплексов, отличающихся от современных не только количеством размещаемого оборудования, но и технологией подготовки КА.*

Одним из примеров такого принципиально нового подхода к созданию ТК КА был проект, разработанный в 1990-х годах, по созданию новейшего космического аппарата. Для подготовки этого КА использовали так называемый «мобильный» технический комплекс (МТК), представлявший собой мобильный агрегат, включающий в свой состав транспортный контейнер, комплект механо-технологического оборудования и всю необходимую аппаратуру для автономных и комплексных испытаний КА.

МТК имел огромное количество преимуществ перед стационарным техническим комплексом КА:

- наличие передвижного МТК позволяло проводить испытания КА в любом месте, без привязки к сооружению ТК КА;

- пропадала необходимость в строительстве сооружения МИК КА и других зданий для ТК КА на космодроме;

- оборудование МТК возможно было использовать на всем цикле работ с КА, даже после модернизации самого КА – базовая часть оставалась неизменной;

- отсутствовала необходимость создания нескольких комплектов наземного оборудования и проверочной аппаратуры, так как МТК создавался в одном экземпляре и мог транспортироваться на любой космодром, в зависимости от того, где запуск этого КА был запланирован.

К сожалению, ввиду трудного положения всего машиностроения страны в 1990-е годы эти уникальные разработки так и не были воплощены в жизнь.

V.Выводы

Сейчас, в период бурного роста мировой космической отрасли и ужесточения конкуренции на рынке ракетно-космической техники необходимо уделить особое внимание созданию новых технологий подготовки КА, а так же оптимизации уже разработанных.

И сокращение объемов испытаний на имеющихся ТК КА, и создание мобильных технических комплексов для КА являются очень перспективными так как:

- с развитием элементной базы на основе микроэлектроники многое оборудование для проверки агрегатов и систем КА приобрело настолько компактный вид, что технический комплекс КА можно разместить не только в небольшом здании на космодроме, но и в современном транспортном контейнере, который без труда может быть транспортирован как ж/д, так и водным и авиационным транспортом;

- сокращение временных затрат на разработку, модернизацию, изготовление, испытание самого КА и оборудования для его подготовки (с обеспечением прежней надежности КА) ведет к повышению конкурентоспособности КА на мировом рынке;

- существенное сокращение затрат на подготовку человеческих ресурсов, так как нет необходимости обучать персонал космодрома проведению излишних испытаний КА на ТК КА.

Все преимущества, описанные выше, позволяют говорить о том, что за идеей оптимизации технологии подготовки КА на техническом комплексе – будущее, и те предприятия, которые станут применять данную технологию, получат не только сокращение издержек, но и огромное преимущество перед конкурентами, так как их КА будут стоить гораздо меньше без потери качества самой техники и выполняемых ею задач.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Космонавтика. Энциклопедия, М.: советская энциклопедия, 1985
[2] Под общ. ред. А.П. Вольского. *Космодром*.М.: Воениздат, 1977. с 343
[3] Под ред. А. Н. Кирилина «Организационно-технические системы подготовки и обеспечения полета ракет-носителей и космических аппаратов: учеб. пособие- Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2007-208 с.

Разработка безрениевого жаропрочного материала с уровнем свойств сплавов II поколения

А.А. Шатульский, Н.А. Зайцев, И.И. Хрящев

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева, РОССИЯ, 152934, rector@rsatu.ru

Реферат **– проведены исследования, направленные на разработку безрениевого жаропрочного сплава для литья монокристаллических лопаток турбин. Выплавлена опытная партия сплава(10 кг), химический состав которого рассчитан по методу компьютерного моделирования жаропрочных сплавов. Изготовлены образцы для определения механических характеристик и металлографических исследований. Полученный сплав имеет уровень длительной прочности сравнимый со сплавом II-го поколения – ЖС32, при отсутствии в химическом составе редкого и дорогостоящего элемента – Re, и при плотности 8.87 г/см^3.**

Ключевые слова **– никелевые жаропрочные сплавы, длительная прочность, кратковременная прочность, термическая обработка, фазовый состав.**

I. Введение

Ведущим направлением, обеспечивающим значительное повышение эксплуатационных параметров и надежности современных ГТД, является создание и совершенствование новых жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) для монокристаллического литья, используемых при изготовлении особо ответственных деталей газовых турбин.

ЖНС оказались эффективными материалами, поэтому за сравнительно короткое время были разработаны пять поколений сплавов, повышение жаропрочности которых достигнуто введением в химический состав тугоплавких элементов W, Ta, Nb, Hf, а в последние годы Re и Ru, что сильно повлияло на себестоимость деталей. Легирующие элементы, используемые в разных поколениях сплавов, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация жаропрочных никелевых сплавов

Поколение	Легирующие элементы (ЛЭ)
I	Al, Ti, Cr, Mo, W, Ta, Nb
II	ЛЭ I-го поколения + *Re 2-4 %*
III	ЛЭ I-го поколения + *Re 5-6 %*
IV	ЛЭ III-го поколения + *Ru 1-2 %*
V	ЛЭ III-го поколения + *Ru 2-6 %*

При этом резко возросли характеристики жаропрочности. Для сплава первого поколения длительная прочность при 1000°С и 100 ч, составляет $\sigma_{100}^{1000} \approx 200\,МПа$, то тот же показатель для III-го поколения составляет $\approx 300\,МПа$.

Одним из первых отечественных ренийсодержащих сплавов II-го поколения является сплав ЖС32, имеющий в своем составе 4% Re и значение $\sigma_{100}^{1000} \approx 245\,МПа$, который нашел применение во многих современных ГТД и является одним из самых востребованных материалов авиационного двигателестроения.

Однако, стоимость рения, годовая добыча которого 30–35 т/год, в разы увеличивает себестоимость сплава. В конце 2014 г. цена рения составляла 4500$/кг, что превосходит цену за тантал в 4 раза и стоимость вольфрама в 130 раз. Таким образом сплав, установивший в своё время рекорд жаропрочности, оказался весьма дорогим, стоимость шихты составляет 17.8 млн.руб/т, в то время как сплав I-го поколения, не содержащего Re, в 8 раз меньше – 2.2 млн.руб/т.

Поскольку ЖС32 в настоящее время широко используется в промышленности, важной научной и практической задачей является создание сплава с эквивалентным уровнем жаропрочности, но не содержащего в своём составе дорогостоящего элемента –Re.

Работы в этом направлении велись и раньше, так сплав ЖС-40[1], не содержащий Re, имел $\sigma_{100}^{1000} \approx 240\,МПа$, это меньше, чем у сплава ЖС32, что и не позволило осуществить его замену. Экспериментальный сплав СЛЖС-1 [2], [3] на момент создания имел наивысшую жаропрочность среди безрениевых сплавов – $\sigma_{100}^{1000} \approx 255\,МПа$, однако высокий удельный вес - 9.03 г/см^3 не позволил использовать его на практике.

Подобные задачи решаются и за рубежом, так на 12-м международном симпозиуме “Superalloys 2012” фирма Cannon-Muskegon представила новый безрениевый сплав для монокристаллического литья CMSX-7, предел длительной прочности которого составляет $\sigma_{100}^{1000} \approx 227\,МПа$ и плотность 8.8 г/см^3 [4].

Учитывая высокую экономическую значимость решения и актуальность поставленной задачи, были проведены работы направленные на создание нового перспективного сплава для монокристаллических лопаток турбин.

II. Материалы и методы

На основе метода компьютерного моделирования литейных жаропрочных никелевых сплавов, разработанного на ОАО «НПО «Сатурн» совместно с РГАТУ имени П. А. Соловьева [3], [5]-[9], рассчитан оптимальный химический состав сплава,

обеспечивающий требуемый уровень свойств, к которым относятся:

1. Прочностные характеристики;
2. Термодинамические параметры;
3. Структурные факторы;
4. Концентрационные параметры.

Расчетная длительная прочность опытного сплава при 1000°С находится на уровне ренийсодержащего промышленного сплава ЖС32.

Химический состав опытного сплава и ЖС-32 представлен в таблице 2, расчетные характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 2. Химический состав опытного сплава и ЖС32

Сплав	C	Cr+Al	W+Ta+Mo	Nb	Co	Re	Другие	Ni
Опытный	<0.02	9.6 11.6	17.6 20.6	0.5 1.2	10.25 11.25	-	0.01Hf	бал.
ЖС32	<0.15	9.9 11.9	12.0 15.2	1.4 1.8	8.0 10.0	3.5 4.5	0.015B	бал

Таблица 3. Рассчётные структурно-физические свойства опытного сплава и ЖС32

Сплав	$V\gamma'$, %	σ_{100}^{1000}, *МПа*	$M(\bar{d})$	$M(\bar{d})_{крит}$	d, *г/см³*	*мисфит*
Опытный	69	230	0,888	0,924	8,85	0,245
ЖС-32	61	245	0,893	0,894	8,81	0,483

По полученным значениям расчетных данных можно говорить о том, что термодинамические параметры (температура начала растворения γ'-фазы – $T_{н.р.}$, температура полного растворения γ'-фазы – $T_{п.р.}$, температура солидус – $T_{солидус}$) нового сплава близки к характеристикам сплава ЖС32 (Таблица 4).

Таблица 4. Физико-химические свойства опытного сплава и ЖС32

Сплав	Тн.р., °С	Тп.р., °С	Тсолидус, °С
Опытный (расчёт)	869	1284	1316
ЖС32 (расчёт)	841	1279	1310
ЖС32 (паспорт)	850	1276	1310

Для подтверждения адекватности выполненного расчёта была выплавлена партия (10 кг) сплава, отлиты монокристаллические заготовки образцов с кристаллографическим направлением [001] с отклонением не более 10° на установке ВИП НК мощностью 450 кВт. С использованием теоретических зависимостей «состав – температуры фазовых превращений» рассчитан и проведен режим термической обработки в вакуумной печи TAV 60/60/90, а также изготовлены образцы для испытания механических свойств при комнатной температуре в соответствии с АМТУ 293-62 и на длительную прочность при 1000°С по ГОСТ 9651-84. Для проверки адекватности зависимости «состав – структура» проведены металлографические исследования с использованием РЭМ FEI Inspect S50 с рентгено-флюоресцентным спектроанализатором EDAX.

III. Результаты

Анализ характеристик, полученных при кратковременных испытаниях (рис. 1) показывает, что предел прочности и текучести опытного состава ниже, чем у сплава ЖС32, на 11,5 % и 5,2%, соответственно. Относительное удлинение образца из опытного сплава меньше, чем у ЖС32 на 14,3 %, сужение же на 43,4 % больше.

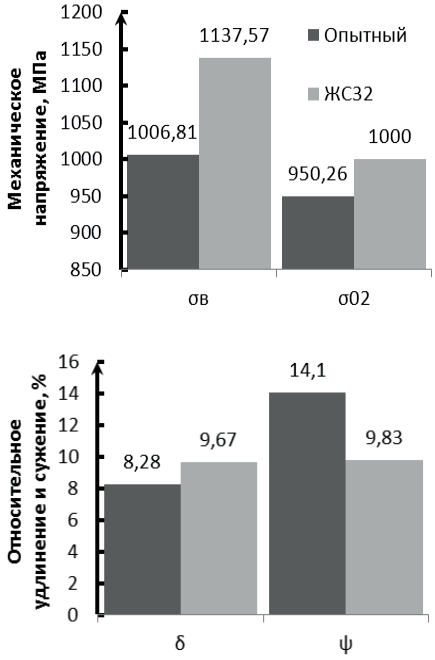


Рис. 1. Механические характеристики опытного сплава и ЖС32 при комнатной температуре.

Испытания на длительную прочность проведены при одноосном нагружении при температуре 1000°С, растягивающая сила была ориентирована в направлении <001>. Результаты испытаний (рис. 2) обработаны в параметрических координатах Ларсона-Миллера, что позволяет обоснованно спрогнозировать срок службы материала в зависимости от времени и температуры с помощью корреляционного подхода по формуле (1)

$$P = T \times \left[20 + \log(\tau)\right] \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где P – параметр Ларсона-Миллера;

T – температура испытания, °К;

τ – время до разрушения, ч.

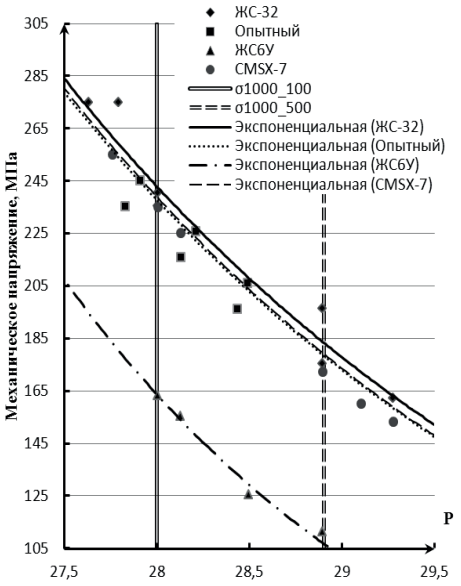
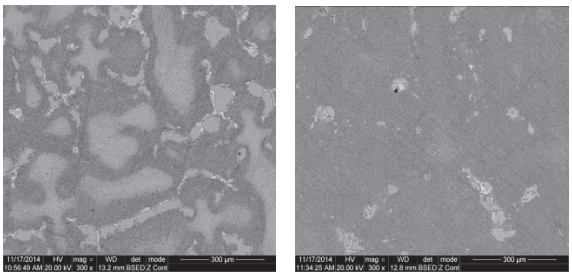


Рис.2. Анализ результатов испытаний на длительную прочность.

Микроструткурные исследования выявили, что в литом неравновесном состоянии в γ/γ'-матрице содержится незначительное количество – 1.1% σ-фазы (светлая, выделяется в основном по границам эвтектической γ'-фазы, см. рис. 3), 5.8% эвтектической γ'-фазы на основе Ni_3Al с незначительным содержанием Ni_5Al_3. После термической обработки количество нежелательных σ и $\gamma'_{эвт}$ -фаз снизилось до 0.41% и 1.85%, соответственно.

На всех образцах, прошедших высокотемпературные испытания наблюдается регулярная «рафт»-структура, характерная для ЖНС, подвергавшихся постоянному напряжению при высоких температурах, пластинчатых ТПУ-фаз в микроструктуре не выявлено, что подтверждает высокую структурно-фазовую стабильность и оптимальный баланс легирования.



а) б)

Рис. 3. – Микроструктура опытного сплава
а) Литое состояние, х300; б) После термической обработки, х300.

IV. Обсуждения

A. Механические характеристики при комнатной температуре

Учитывая, что рабочая температура турбинной лопатки в процессе эксплуатации находится в интервале 950 -1050°С, некоторое снижение прочностных характеристики сплава при низких температурах не критично, поэтому основное внимание при конструировании экспериментального сплава уделялось характеристикам жаропрочности.

Б. Жаропрочность при 1000°С

Для сравнения длительной прочности опытного сплава с другими отечественными и зарубежными сплавами I-го и II-го поколей можно воспользоваться коэффициентом преимущества по формуле (2), который характеризует соотношение аналогичных величин для двух сплавов:

$$K_i^{Опытный} = {}^{Опытный}\sigma_\tau^T / {}^i\sigma_\tau^T, \quad (2)$$

где ${}^{Опытный}\sigma_\tau^T$ – длительная прочность опытного сплава при температуре T и длительности τ, ${}^i\sigma_\tau^T$ – длительная прочность i-го сплава (ЖС6У/ЖС32/CMSX-7) при температуре T и длительности τ.

Таким образом получается, что длительная прочность (1000°С, 100 ч) опытного сплава на 42% выше, чем у ЖС6У, на 4% ниже чем у ЖС32 и на 2% ниже чем у CMSX-7.

В. Микроструктура

Снижение количества нежелательных фаз до минимальных показателей в процессе термической обработки подтверждает эффективность выбранного по термодинамическим параметрам режима.

Выводы

Разработан безрениевый сплав, технология получения монокристаллических отливок и режим термической обработки.

Механические испытания образцов подтвердили полученные расчётные эксплуатационные характеристики. Экспериментальный сплав не только не уступает по уровню жаропрочности зарубежному аналогу CMSX-7, но и монокристаллическому сплаву II-го поколения, содержащего 4% Re – ЖС32. При этом стоимость опытного сплава и сравнительных аналогов, рассчитанная на основе цен шихтовых материалов и текущего курса доллара к рублю на январь 2015 г., наиболее предпочтительна с точки зрения затрат на производство - опытный сплав втрое дешевле ЖС32, на 20% – CMSX-7 и всего 3 раза дороже ЖС6У.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С.Т. Кишкина, М.: Наука, 2006, 272 с.
[2] А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин «Тенденции разработки и применения Ni-суперсплавов для лопаток ГТД в современных и перспективных

силовых установках авиационного назначения», технология легких сплавов, 2011, № 4, с. 11 – 17
[3] А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, И.А. Лещенко, Р.Ю. Старков «Моделирование и разработка новых жаропрочных сплавов», ч. 2, «Двигатель», 2013, № 6(90), с. 5 – 8.
[4] Wahl J.B., Harris K.. New single crystal superalloys, CMSX-7 and CMSX-8// Superalloys – 2012, TMS, 2012, P. 179 – 188.
[5] А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, И.А. Лещенко, Р.Ю. Старков «Моделирование и разработка новых жаропрочных сплавов», ч. 1, «Двигатель», 2013, № 5(89), с. 24 – 28.
[6] А.А. Шатульский, Н.А. Зайцев, Д.В. Данилов, И.И. Хрящев «Влияние многослойного структурно-стабильного жаростойкого покрытия на свойства монокристаллических жаропрочных сплавов» [текст], Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева, –2013, – № 3 (26), – С. 8-17.
[7] Логунов, А.В. Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе Часть – I [Текст] / Д.В. Данилов, А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин // Технология металлов. – 2014. – №5. – С.11-19
[8] Логунов, А.В. Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе Часть – II [Текст] / Д.В. Данилов, А.В Логунов, Ю.Н. Шмотин // Технология металлов. – 2014. – №6. – С. 3-10.
[9] Логунов, А.В. Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе Часть – III [Текст] / Д.В. Данилов, А.В Логунов, Ю.Н. Шмотин // Технология металлов. – 2014. – №7. – С. 3-11.

Программа расчёта взаимодействия падающей волны нагрузки постоянной интенсивности с границей раздела двух упругих сред

В.И. Штука

Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, РОССИЯ, 690041, onslice@mail.ru

Реферат **– настоящая статья описывает функциональный потенциал разработанной в математическом пакете программы для расчёта полей деформаций и напряжений в задаче о распространении отражённых и преломлённых волновых пакетов в результате падении на плоскую границу раздела двух упругих сред волны сжатия постоянной интенсивности.**

Ключевые слова **– математический пакет, программа, ударная волна, волна Римана, отражение волн, преломление волн**

I. Введение

Задачи о распространении отражённых и преломлённых волн в нелинейно-упругих средах представляют для современной механики деформируемого твёрдого тела определённый интерес, а их решение содержит некоторые особенности [1], [2], [3]. Так, при изучении законов распространения ударных волн в твёрдом теле зачастую ставятся высокоскоростные эксперименты для создания в исследуемом образце плоского деформированного состояния. Или исследуются взаимодействия различных материалов при ударных граничных воздействиях. Такие эксперименты зачастую предполагают как значительные финансовые, так и временные затраты, которые необходимы для подготовки и проведения данных мероприятий. Поэтому обращаться к математическим моделям подобных процессов более чем целесообразно.

Поведение нелинейно-упругих материалов отличается от поведения линейно-упругих, которое давно было изучено [4]. Однако при решении нелинейных задач встречаются определённые вещи, на которые следует обратить внимание. Во-первых, искомое решение может быть получено (за исключением редких случаев) только в приближенном виде. Во-вторых, необходимо учитывать все связанные с нелинейностью эффекты. В нашем случае, для плоской задачи эти эффекты будут заключаться в определении результирующей волновой картины [5].

Дело в том, что заранее определить это возможно только посредством проверки полученного решения. Проверка заключается в удовлетворении полученным решением двум условиям: эволюционности и термодинамическому. Первое из них имеет примат над вторым, поскольку, как было показано в работах [1], [4], оно более жёсткое и его выполнение гарантирует выполнение термодинамического условия совместности.

Ввиду описанных выше нюансов была написана специальная программа для численного моделирования процесса отражения и преломления плоской волны сжатия постоянной интенсивности о плоскую границу раздела двух упругих сред.

II. Постановка задачи

Записанная **в переменных Эйлера** x_1, x_2, x_3, математическая модель изотропной упругой среды в адиабатическом приближении записана в следующей форме

$$\begin{aligned} &\sigma_{ij,j} = \rho(\dot{v}_i + v_{i,j}v_j), \\ &\sigma_{ij} = \frac{\rho}{\rho_0}\frac{\partial W}{\partial \alpha_{ik}}(\delta_{kj} - 2\alpha_{kj}), \\ &v_i = \dot{u}_i + u_{i,j}v_j, \\ &\rho/\rho_0 = \det(\delta_{ij} - u_{i,j}), \end{aligned} \qquad (1)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2}\left(u_{i,j} + u_{j,i} - u_{k,i}u_{k,j}\right),$$

$$W = \frac{\lambda}{2}A_1^2 + \mu A_2 + \kappa A_1 A_2 + \chi A_1^3 + \eta A_3,$$

$$A_1 = \alpha_{kk},\ A_2 = \alpha_{ik}\alpha_{ki},\ A_3 = \alpha_{ik}\alpha_{kj}\alpha_{ji},$$

$$u_{i,j} = \partial u_i / \partial x_j,\ \dot{u}_i = \partial u_i / \partial t.$$

Здесь u_i, v_i – компоненты векторов перемещений и скоростей, σ_{ij}, α_{ij} – тензоры напряжений Коши-Эйлера и деформаций Альманзи, ρ, ρ_0 – плотность среды в текущем и начальном состоянии. Индексом после запятой обозначена производная по соответствующей пространственной координате, точкой сверху – по переменной времени. Упругий потенциал $W(A_1, A_2, A_3)$ изотропной несжимаемой упругой среды представлен своим разложением в ряд Тейлора относительно свободного состояния (A_1, A_2, A_3 – инварианты тензора деформаций). λ, μ – параметры Ляме, κ, χ, η – модули третьего порядка.

Рассматриваем случай плоской деформации ($u_1 = u_1(x_1, x_2, t)$, $u_2 = u_2(x_1, x_2, t)$, $u_3 = 0$). Задача решается посредством введения автомодельной переменной $\xi = x(st - y)^{-1}$ ($s = const$ – скорость движения точки образования и расхождения волновых фронтов вдоль границы раздела Σ_0), поэтому компоненты тензоров деформаций и напряжений будут определяться как функции от неё зависящие. Считаем оба полупространства изначально недеформированными.

На фронтах разрывов Σ_i ($i = \overline{1,5}$) выполняются динамические и кинематические условия совместности первого порядка для ударных волн и второго – для волн Римана, которые позволяют определять поля напряжений и деформаций в соседних областях

$$[\sigma_{ij}]n_j = \rho(v_k n_k - G)[v_i], \qquad (2)$$

где $[f] = f^+ - f^-$ – разрыв функции на поверхности Σ, f^+, f^- в – значения функции перед и за поверхностью Σ.

На Σ_0 ставится условие жёсткого контакта

$$[\sigma_{ij}]n_j n_i = 0. \qquad (3)$$

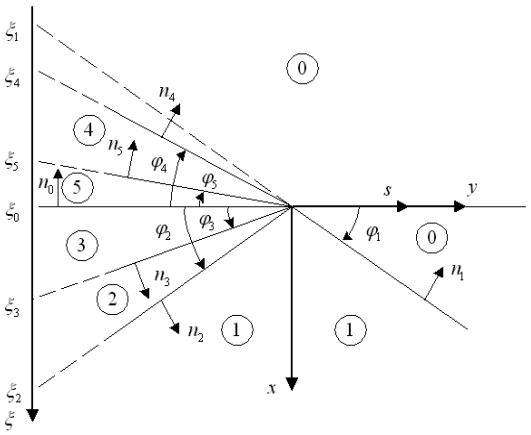


Рис. 1. Схематическое изображение решения задачи в случае распространения ударных волн в отражённом и преломлённом волновых пакетах.

Соответствующие Σ_i автомодельные переменные на рис. 1 обозначены ξ_i, углы – φ_i, векторы нормалей – $\boldsymbol{n}_i$, цифрами в кружках – области между волнами. Заданы нормальная интенсивность τ падающей волны сжатия Σ_i (касательная равна нулю) и угол φ_1, определяющий её положение относительно оси x_2 (оси x_1, x_2 обозначены соответственно x и y).

Модельные соотношения (уравнение 1), условия на поверхностях разрывов (уравнение 2) и на границе раздела (уравнение 3) представляют собой замкнутую систему относительно неизвестных задачи.

III. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ И ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Для того чтобы построить решение нелинейной задачи, необходимо иметь начальное к нему приближение. Поэтому в программе был реализован расчёт параметров линейной задачи, на основании которых обсчитывается уже нелинейная задача. Главные из них – значения автомодельных переменных соответствующих ударных волн.

Далее строится решение в предположении того что отражённые волны Σ_2, Σ_3 и преломлённая Σ_5 являются ударными. Волна Σ_4 априори является волной нагрузки, поскольку предварительные деформации перед ней (область 0 на рис. 1) отсутствуют.

Исходя из полученного решения для случая распространения ударных волн в отражённом и преломлённом пакетах, производится расчёт других случаев, предполагающих наличие волн Римана (всего их 7). После этого программа на основании проверки эволюционного условия и термодинамического условия совместности делает заключение относительно реализуемого случая.

A. Пользовательский интерфейс

С целью облегчения работы с программой в пользовательский интерфейс были добавлены интерактивные функции: выбор материалов первой и

второй сред из банка материалов, задание параметров падающей волны сжатия (τ и φ_1). При расчётах нормальная интенсивность Σ_1 варьируется в диапазоне [0.001, 0.01], а угол падения – [-80°, -10°].

Банк материалов представляет собой базу данных параметров различных материалов [6], [7], который возможно редактировать (это отдельный файл). Препятствий к этому нет никаких. Отметим лишь то, что упругие модули третьего порядка на порядок или на два порядка больше параметров Ляме для большинства конструкционных материалов.

При получении решения (после проверки условий) программа выдаёт сообщение об этом с расшифровкой итоговой волновой картины.

Пользователь может вывести в файл или на экран результаты расчёта, либо их не выводить и ограничиться лишь сообщением о структуре итогового решения.

Рис. 2. Панель ввода параметров задачи.

Случай 2: Σ_2 ударная, Σ_3 простая, Σ_5 ударная

Рис. 3. Строка сообщения структуры полученного решения.

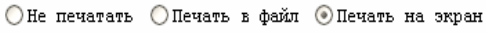


Рис. 4. Панель выбора пути вывода графики.

На рис. 2, рис. 3, рис. 4 представлены основные части графического интерфейса программы.

Основным критерием при оформлении графического интерфейса было удобство его использования пользователем и интуитивность при обучении работе с программой.

Б. Пример расчёта

При расчёте результирующей волновой картины от падения на границу раздела стекла (первая среда) и алюминия (вторая среда) волны нагрузки под углом -10° и с нормальной интенсивностью 0.001 на экран выводятся графики перемещений, градиентов, напряжений и относительной плотности (рис. 5, рис. 6, рис. 7, рис. 8).

Когда в отражённом или преломлённом пакетах образуется волна Римана, соответствующие ей области (имеют диапазоны от ξ_i^+ до ξ_i^-) обозначаются. В настоящем примере волна Σ_3 является волной Римана. В случае превышения числа Маха в первой среде над числом Маха во второй среде (указаны на рис. 5) наблюдается «запрокидывание» преломлённой волны Σ_4 .

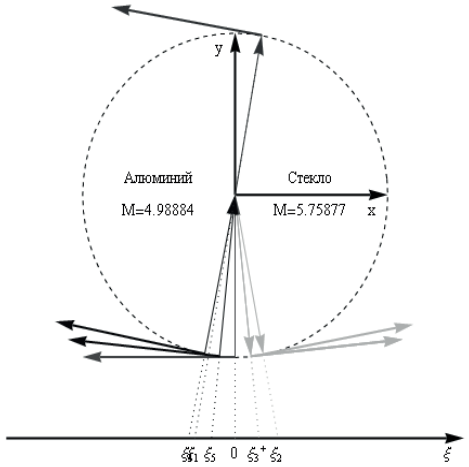


Рис. 5. Схема решения

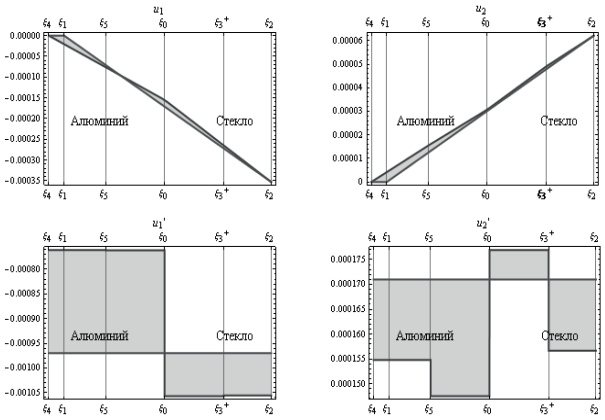


Рис. 6. Перемещения и градиенты

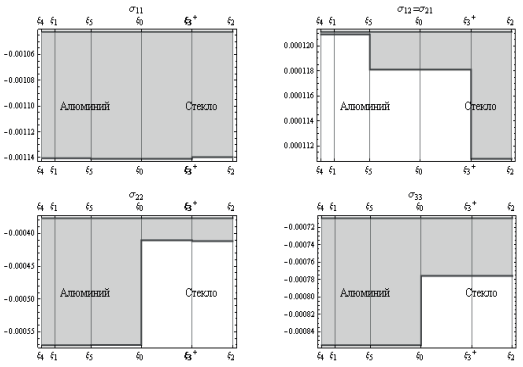


Рис. 7. Напряжения

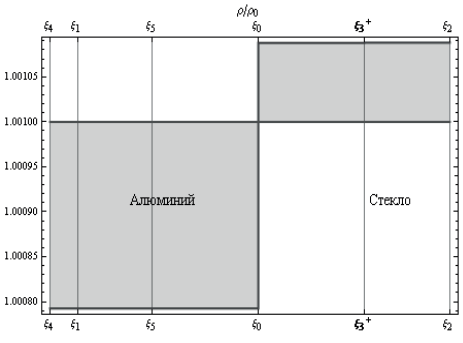


Рис. 8. Относительная плотность

Результаты

Была разработана специальная программа, которая позволяет получить искомое решение задачи о падении волны нагрузки на плоскую границу раздела упругих сред и определить параметры напряжённо-деформированного состояния. В ней пользователь вводит параметры нагружения, а именно угол падения и интенсивность волны сжатия, из загружаемого банка данных параметров материалов производит выбор материала первой и второй сред

Система выдаёт пользователю искомое решение, производя печать основных параметров задачи в файл и вывод графиков перемещений, напряжений, плотностей на экран.

Выводы

Благодаря разработанной программе стало возможным обсчитывать взаимодействие плоской волны сжатия постоянной интенсивности с границей раздела различных материалов с возможностью интерактивной работы и вывода результатов численного моделирования через пользовательский интерфейс. Дальнейшим развитием данного направления численного решения настоящей задачи может стать задача определения бассейнов (относительно τ и φ_1) реализуемых случаев волновых картин для конкретных пар контактирующих сред.

ЛИТЕРАТУРА

[1] A. A. Burenin, O. V. Dudko and D. A. Potianikhin, *"On the collision of two elastic solids with plane boundaries", Computational Continuum Mechanics,* vol. 6(2), pp. 157-167, 2013.
[2] A. A. Burenin, V. V. Lapygin, *"Reflection of a plane longitudinal shock wave of constant intensity from a flat rigid boundary nonlinear elastic medium", Journal of Applied Mechanics and Technical Physics,* no. 5, pp. 125-129, 1985.
[3] I. A. Osipov, *"Reflection and refraction of a plane wave at the interface of two anisotropic medium", Mechanics of Solids,* no. 1, pp. 40-72, 2008.
[4] A. G. Kulikovski, E. I. Sveshnikova, *"Nonlinear waves in elastic medium", Moscow: Moscow lyceum,* 412 p., 1998.
[5] O. V. Dudko and V. I. Shtuka, *"Numerical simulation of the interaction of a plane compression shock wave with the separation boundary of two nonlinear elastic media", Progress in continuum mechanics,* pp. 192-195, 2014.
[6] L. K. Zarembo, V. A. Krasilnikov, *"Nonlinear effects in the propagation of elastic waves in solids",* Advances in Physical Sciences, vol 102(4), pp. 549–586, 1970.
A. I. Lurie, *"Nonlinear theory of elasticity", Moscow: Nauka,* 512 p., 1980.

Установка для исследования сопловых аппаратов микротурбин

А.А. Юртаев, В.В. Поршкевич

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, РОССИЯ, 690000, fefu@fefu.com

Реферат **– Из-за ограниченных массогабаритных характеристик малорасходных турбомашин исследования проточной части являются затруднительными. Авторами рассмотрен ряд работ посвященных исследованиям эффективности микротурбин и их сопловых аппаратов. На основании их анализа предложена конструкция экспериментального стенда для изучения эффективности работы малорасходных турбомашин и их отдельных агрегатов.**

Ключевые слова **- сопловой аппарат, турбина, эффективность, сопло, малоразмерные турбомашины, коэффициент скорости.**

I. Введение

Показателем эффективности сопловых аппаратов (СА) является отношение реальной скорости потока рабочего тела (газ или пар) на выходе из сопел к теоретически возможной скорости. От величины данного отношения, называемого коэффициентом скорости СА, зависит коэффициент полезного действия турбин [1-4, 5-7], что в свою очередь сказывается на эффективности энергетических установок в целом.

СА малых размеров (80 - 160 мм) используют в микротурбинах, которые широко применяют для обеспечения энергетической безопасности объектов различных уровней и назначений.

Такие турбины используют в качестве приводных двигателей генераторов, насосных и компрессорных агрегатах, для наддува дизелей судовых энергетических установок. Существует проблема увеличения автономности плавания судов, она зависит от расхода необходимых для плавания запасов, в первую очередь, эффективности использования энергетических ресурсов во время морских походов.

КПД существующих осевых микротурбин находится в пределах 25-65% [3, 8]. Разработка экспериментального стенда для изучения СА осевых микротурбин позволит получить данные для решения проблемы повышения КПД осевых микротурбин путем совершенствования проточной части СА.

Сложности изучения микротурбин, заключаются в труднодоступности к элементам проточной части, подлежащих исследованию. Кроме этого экспериментально доказано [3], что рабочее колесо существенно влияет на работу СА и значительно усложняет исследование процессов, происходящих на выходе из сопел СА. Это подтверждает актуальность работ по изучению газодинамических характеристик СА, работающих в составе ступени с целью обеспечение оптимальной конфигурации проточной части сопел с учетом обратного влияния на них возмущений потока рабочего тела, исходящих от кромок лопаток вращающегося рабочего колеса.

II. Материалы и методы

Существуют различные теоретические методы (численные или аналитические) [9-11], основанные на решении уравнений сохранения энергии, движения рабочего тела и состояния, но в настоящее время таким способом произвести расчет с достаточной точностью параметров газа при движении его в каналах турбины невозможно [9-11], поэтому на практике возможности применения даже современных численных методов анализа движения газа в проточной части микротурбин на базе уравнений Навье-Стокса являются ограниченными.

Для численного моделирования потоков газа с помощью программ FLUENT, NUMECA FINE, STAR-CD, TASCflow, CFX характерны следующие недостатки: неполная адекватность реального и численного эксперимента, т. е. методы численного моделирования дают некоторую количественную ошибку по сравнению с результатами эксперимента; необходимость наличия мощных вычислительных средств. Кроме того, на получаемые с их помощью результаты оказывают влияние следующие факторы: выбор исследователем числа ячеек, порядок точности дискретизации, тип расчетной сетки, степень турбулентности, модели турбулентности и т.п. [12].

Экспериментальный метод основан на систематизации и обобщении полученных на моделях экспериментальных характеристик проточной части, а также на получении математических зависимостей экспериментальных параметров с последующим их анализом [13-15]. Этот метод обеспечивает наиболее достоверные результаты для проектирования микротурбин и позволяет получать интегральные характеристики СА. Он предусматривает либо обработку уже имеющихся экспериментальных результатов, либо выполнение эксперимента с последующим анализом его результатов.

Полученных ранее различными авторами экспериментальных результатов исследований сопел не просто мало, они разрозненны, эксперименты проводились при разных условиях, часто не известно их погрешность, в силу чего использовать их не представляется возможным.

Из вышесказанного следует, что для получения зависимостей средне-интегральных характеристик от режимных и геометрических параметров необходимо проведение экспериментальных исследований СА микротурбин. В связи с этим научным коллективом поставлена задача создать конструкцию экспериментального стенда, позволяющую определить газодинамические характеристики СА на различных режимах работы микротурбин.

III. Результаты

Конструкция стенда включает: модельный СА выполнен из пластика на 3D-принтере отдельным блоком для обеспечения технологичности подготовки эксперимента за счет изменения конструктивных параметров сопел с помощью других модельных сопловых аппаратов различных средних диаметров, корпус, размещенный на подшипниках, расположенных на валу, для обеспечения его подвижности и возможности измерения реактивной силы, создаваемой потоком рабочего тела при выходе из СА. Корпус состоит из двух частей, скрепленных между собой болтами. В одной из частей обеспечивается установка СА и его закрепление, в другой устанавливается рабочее колесо (РК) и колесо с осевым выходом (КОВ), датчики силы, датчики температуры, датчики давления, датчик частоты вращения, нагрузочное устройство (тормоз на подшипниках), расходомерный участок расположен на входе рабочего тела в корпус стенда для измерения расхода рабочего тела. Расход узмеряется при помощи ротаметра, датчик частоты вращения РК устанавливается на валу для измерения частоты вращения РК. Датчик представляет собой индуктивный измеритель – зубчатое колесо с находящейся около них обмоткой. Магнитный поток, проходящий через катушку, зависит от того, попадает ли расположение датчика напротив впадины или зуба колеса. Зубец соединяет в пучок магнитный поток рассеяния, исходящий от магнита. Через катушку происходит усиление сетевого потока. Впадина, наоборот, ослабляет магнитный поток. Эти изменения магнитного потока при вращении зубчатого колеса индуцируют в катушке синусоидальное выходное напряжение, пропорциональное скорости изменения и числу оборотов

При истечении газа из СА поток рабочего тела создает реактивную силу, которая воздействует на корпус в направлении, противоположенном направлению истечения потока. При помощи рычага корпус воздействует на датчик силы, который кроме определения самого значения силы, ограничивает перемещение корпуса под воздействием реактивной силы, позволяя совершать лишь незначительные перемещения, необходимые для снятия силы в окружном направлении.

Расход воздуха замеряется на участке перед входом рабочего тела в корпус стенда при помощи ротаметра.

Для измерения температуры используем метод дренирования. В качестве чувствительного элемента при измерении используем терморезисторы. Терморезисторы вставляются в отверстия в трёх местах перед СА и в трёх местах за СА.

Для измерения давления используем метод дренирования. В качестве чувствительного элемента при измерении используем датчики давления. Датчики давления вставляются в отверстия в трёх местах перед СА и в трёх местах за СА (косой срез).

Исследования будут основаны на определении средне-интегральных характеристик (коэффициента скорости и угла выхода потока СА), так как вследствие малых размеров сопел в нем затруднительно определение температур, давления и скоростей во всех интересующих исследователя точках проточной части сопел.

Выводы

С помощью спроектированного экспериментального стенда возможно получение характеристик СА микротурбин с достаточной точностью на рабочих режимах, т. е. при вращении рабочего колеса, установленного за сопловым аппаратом.

Благодарности

Исследование выполняется под руководством к.т.н. А. Ю. Фершалова.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Фершалов Ю. Я., Фершалов А.Ю. Сопловой аппарат осевой малорасходной турбины // Судостроение. 2010. № 3. С.46-47.
[2] Виноградов Л.В. Исследование сверхзвуковыых осесимметричных сопел и аппаратов турбин: дис. … канд. техн. наук. М., 1975. 154 с.
[3] Фершалов Ю.Я. Совершенствование сверхзвуковых осевых малорасходных турбин: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. /Владивосток, 1999.
[4] Фершалов Ю.Я., Фершалов А.Ю., Фершалов М.Ю. Влияние степени расширения сопел с малым углом выхода на эффективность сопловых аппаратов малорасходных турбин // Судостроение. 2012. № 1. С. 39-41.
[5] Морозова Н.Т. Автоматизированное проектирование малорасходных турбоприводов с осесимметричными соплами на базе интегрированных САПР // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Владивосток, 2006
[6] Морозова Н.Т., Попович В.В. Проектирование рабочих колес судовых центробежных турбонасосов // В сборнике: Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2014. С. 109-110.
[7] Морозова Н.Т., Попович В.В., Луценко В.А. Автоматизированное проектирование сопловых аппаратов с осесимметричными соплами малорасходных турбоприводов // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 15. С. 136-140.
[8] Кончаков Е.И. Совершенствование судовых парциальных турбомашин на малых моделях: дис. … д-ра техн. наук. Владивосток, 2001. 267 с.15
[9] Алексеев Г.В. Коэффициентные обратные экстремальные задачи для стационарных уравнений тепломассопереноса // Журн. вычисл. матем. матем. физ. 2007. Т. 47. № 6. С. 1055-1076.
[10] Алексеев Г.В. Единственность и устойчивость в коэффициентных обратных экстремальных задачах для стационарной модели массопереноса // ДАН. 2007. Т. 416. № 6. С. 1-4.
[11] Алексеев Г.В., Соболева О.В., Терешко Д.А. Задачи идентификации для стационарной модели массопереноса // Прикл. мех. техн. физ. 2008. Т. 49. № 4. С. 24-35.
570 с.
[12] Чжэн Гуанхуа Расчетно-экспериментальное исследование газодинамической и тепловой эффективности решеток высокоперепадных турбин: дис. … канд. техн. наук. М., 2008. 185 с.13
[13] Кузнецов Ю.П. Сопловые аппараты осевых микротурбин, их совершенствование с целью повышения эффективности высокооборотных турбоприводов: дис. ... канд. техн. наук. Горький, 1989. 165 с.
[14] Куприянов О.Е. Разработка и исследование рабочих решеток профилей конструкций ЛПИ с большим относительным шагом: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1988. 152 с.
[15] Беседин С.Н. Экспериментальный стенд и методика исследования турбомашин газотурбинных установок малой мощности / С.Н. Беседин, В.А. Рассохин, Г.Л. Раков, Т.А. Фокин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Т.12. №1(2). 2010. - С. 284-289.

Экспериментальный стенд для исследования рабочих колес микротурбин

А.А. Юртаев, В.В. Поршкевич

[1] Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, РОССИЯ, 690000, fefu@fefu.com

Реферат **– Из-за ограниченных массогабаритных характеристик малорасходных турбомашин исследования проточной части являются затруднительными. Авторами рассмотрен ряд работ посвященных исследованиям эффективности микротурбин и их сопловых аппаратов. На основании их анализа предложена конструкция экспериментального стенда для изучения эффективности работы малорасходных турбомашин и их отдельных агрегатов.**

Ключевые слова - ***рабочее колесо, турбина, эффективность, сопло, малоразмерные турбомашины, коэффициент скорости.***

I. Введение

Показателем эффективности рабочих колес является отношение реальной скорости потока рабочего тела (газ или пар) на выходе из лопаток рабочего колеса к теоретически возможной скорости. От величины данного отношения называемого коэффициентом скорости рабочего колеса напрямую зависит коэффициент полезного действия турбин [1- 3], что в свою очередь сказывается на эффективности энергетических установок в целом. В связи с этим, исследования, направленные на решение проблемы повышения энергетической эффективности рабочих колес осевых малорасходных турбин, являются актуальными [4 - 7]. Несмотря на развитие математических методов [8 - 10], эксперимент не теряет своей актуальности.

Особенности изучения осевых малорасходных турбин, имеющих малые размеры, заключаются в труднодоступности к элементам проточной части, подлежащих исследованию. Экспериментально доказано [3], что рабочее колесо существенно влияет на работу соплового аппарата и значительно усложняет процессы, происходящие на выходе из сопел сопловых аппаратов. Это подтверждает актуальность работ по изучению газодинамических характеристик рабочих колес, работающих в составе ступени с целью обеспечение оптимальной конфигурации проточной части малорасходных турбин с учетом обратного влияния на них возмущений потока рабочего тела, исходящих от

кромок лопаток вращающегося рабочего колеса. В связи с этим поставлена задача создать конструкцию экспериментального стенда, позволяющую определить газодинамические характеристики рабочих колес на различных режимах работы малорасходных турбин.

II. Материалы и методы

С помощью спроектированного экспериментального стенда возможно получение характеристик рабочих колес малорасходных турбин с достаточной точностью на рабочих режимах, т.е. при вращении рабочего колеса, установленного за сопловым аппаратом. Рабочим телом является воздух.

Исследования будут проводиться на основе определяемых исследователем среднеинтегральных характеристик (расход газа, крутящий момент и т.д.), так как вследствие малых размеров рабочих колес в них затруднительно определение температур, давления и скоростей в интересующих исследователя точках проточной части лопаток рабочих колес.

Конструкция стенда включает: корпус; рабочее колесо; колесо с осевым выходом для обеспечения возможности измерения крутящего момента, появляющегося благодаря силе вылетающего из лопаток рабочего колеса потока газа; датчики силы, температуры и давления, позволяющие проводить измерения соответствующих характеристик; расходомерный участок для измерения расхода рабочего тела.

При истечении газа из лопаток рабочего колеса поток рабочего тела попадает на лопатки колеса с осевым выходом, поток воздействует на колесо с осевым выходом в направлении, истечения потока. Датчик силы ограничивает перемещение колеса с осевым выходом под воздействием силы истечения потока, позволяя совершать лишь незначительные колебания, необходимые для снятия силы в окружном направлении.

Обработка данных эксперимента

Для получения интегральных характеристик СА используется система уравнений [11]:

Замеряется полная температура T_2^* торможения и допускается, что процесс адиабатный, т.е. на выходе из РК она не изменится.

Расход газа G замеряется с помощью расходомерного участка.

Момент M_{2u} вычисляется, через плечо рычага и значение силы, определенное с помощью датчика силы.

Площадь сечения сопла F и радиус средней ступени r нам известны из конструкционных данных стенда.

Давление P_2 замеряется за рабочим колесом.

Площадь сечения сопла F и средний радиус ступени r известны.

c_P = 1004,5 $Дж/(Кг \cdot К)$ – изобарная удельная теплоёмкость воздуха.

R = 287 $Дж/кг*град$ – газовая постоянная воздуха.

$$\begin{cases} H = c_P\left(T_0^* - T_2^*\right) \\ T_2^* = T_2 - C_2^2/\left(2c_P\right) \\ H = N/G \\ N = Gu\left(C_{1u} + C_{2u}\right) \\ G = \rho_2 C_{2z} F_{рк} \\ M_{2u} = C_{2u} r G \\ P_2 = \rho_2 R T_2 \end{cases}$$

Известные величины:

c_P – изобарная теплоёмкость; F – площадь сечения сопла; r – радиус средней ступени; R – газовая постоянная;

Замеряемые и рассчитываемые величины:

T_2^* – температура торможения; G – расход газа; величина силы, воздействующий колесо с осевым выходом при истечении потока, определенное с помощью датчика силы; длина плеча, предающего колебания колеса с осевым выходом на датчик силы; M_{2u} – момент; P_2 – давление за рабочим колесом; P_1^* - давление торможения перед рабочим колесом;

Неизвестные величины:

T_2 – статическая температура; C_2 – абсолютная скорость; C_{2z} – осевая проекция абсолютной скорости; C_{2u} – окружная проекция скорости; ρ_2 – плотность газа на выходе из рабочего колеса; H – перепад энтальпии; N – мощность. В связи с тем, что количество неизвестных величин превышает количество уравнений, добавляется 8-е уравнение, связывающее вектор скорости и ее проекции в прямоугольный треугольник.

Из треугольника можно вычислить: $\omega = \pi D u$, где D – диаметр, u – окружная скорость; C_{2u} определяем с помощью колеса с осевым выходом, угла и ω.

Через u и C_{2u} находим ω_2.

Определение теоретической выходной скорости рабочего колеса (ω_2) происходит по формуле[2]:

$$\omega_{2t} = \sqrt{2\rho\, H_1 + \omega_1^2}$$

$$\rho = 1 - \frac{H_{рк}}{H}$$

$$\rho = \frac{H_{са}}{H} = \frac{H - H_{рк}}{H}$$

$$H_{рк} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R T_0^* \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1^*}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)$$

$$\omega_{2t} = \sqrt{(2k/k-1) R T_2^* \left[1 - \left(P_2/P_1^*\right)^{k-1/k}\right]},$$

где k – коэффициент изоэнтропы, R – газовая постоянная, T_2^* – температура торможения, P_2 – статическое давление, P_1^* – давление торможения.

Коэффициент скорости рабочего колеса (ψ) определяем по формуле:

$$\psi = \frac{\omega_2}{\omega_{2t}}$$

Угол выхода потока (α) определяется по формуле:

$$\beta_2 = \arcsin\frac{\omega_{2u}}{\omega_2}$$

$$\omega_{2u} = C_{2u} + u$$

$$\beta_2 = \arcsin\frac{C_{2u} + u}{\omega_2}$$

Выводы

Спроектированный экспериментальный стенд позволит получить значения коэффициента скорости рабочего колеса и угла выхода потока из него. С помощью спроектированного экспериментального стенда возможно получение характеристик рабочих колес малорасходных турбин с достаточной точностью. На основании данных полученных на стенде возможно дальнейшее исследование, основанное на построенных регрессионных моделей для определения оптимального сочетания режимных и конструкционных факторов работы.

Использование полученных результатов для других размеров проточных частей предполагается, воспользовавшись рекомендациями, изложенными в [12].

Благодарности

Исследование выполняется под руководством к.т.н. А. Ю. Фершалова.

Литература

[1] Морозова Н.Т. Автоматизированное проектирование малорасходных турбоприводов с осесимметричными соплами на базе интегрированных САПР // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Владивосток, 2006

[2] Морозова Н.Т., Луценко В.А. Современные методы проектирования судовых малорасходных турбоприводов // В сборнике: Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2014. С. 107-109.

[3] Морозова Н.Т. Современные проблемы проектирования турбоприводов в составе энергетических установок // В сборнике: Актуальные проблемы создания и эксплуатации тепловых двигателей в условиях Дальневосточного региона России материалы Международной научно-технической конференции "Двигатели 2013". под редакцией В.А. Лашко. 2013. С. 260-263.

[4] Фершалов А.Ю., Грибиниченко М.В., Фершалов Ю.Я. Газодинамические характеристики рабочих колес осевых турбин с большим углом поворота проточной части // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2012. № 1. С. 88-98.

[5] Фершалов Ю.Я. Совершенствование сверхзвуковых осевых малорасходных турбин: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. /Владивосток, 1999.

[6] Фершалов А.Ю., Грибиниченко М.В., Фершалов Ю.Я. Эффективность рабочих колес малорасходных турбин с большим углом поворота потока // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 117. С. 52-55.

[7] Фершалов А.Ю. Повышение эффективности рабочих колес судовых осевых малорасходных турбин // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный государственный технический университет. Владивосток, 2011.

[8] Алексеев Г.В., Терешко Д.А. Экстремальные задачи граничного управления для стационарных уравнений тепловой конвекции // Прикл. мех. техн. физ. 2010. Т. 51. № 4. С. 72-84.

ДОКЛАДЫ
Международной молодежной школы – семинара
«Достижения фундаментальной науки и образования –
в инновационные технологии»

Определение параметров подъемного вентилятора легкого амфибийного судна на воздушной подушке с гибким ограждением баллонетного типа

Ю.А. Двойченко[1], Ф.Ф. Тхань[1]

[1] Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, РОССИЯ, 603163, ship@nntu.nnov.ru

***Реферат* – Рассматривается новый тип легких АСВП с ГО баллонетного типа. Для этого ГО отсутствуют исследования истечения воздуха через его кромки, что затрудняет выбор характеристик подъемных вентиляторов, приводя к завышенным значениям производительности В статье дается физическое обоснование минимально необходимого расхода воздуха на основе известного исследования течения воздуха под пластину, лежащую на поверхности воды. Постулируется определяющая роль каппилярности воды и дается условие устойчивого истечения воздуха из ВП. Дана формула для расчета производительности подъемного вентилятора и графические данные для конкретных параметров АСВП.**

***Ключевые слова* – амфибийные суда на воздушной подушке (СВП), подъемный вентилятор, гибкое ограждение (ГО) баллонетного типа.**

III. Введение

Сравнительно недавно (начало 90-х) получил широкое распространение новый вид легких (водоизмещением менее 3 т) амфибийных судов на воздушной подушке (АСВП) с гибким ограждением (ГО) баллонетного типа [1]. Новый тип ГО, представляет два цилиндрических баллона расположенных друг над другом. Верхний баллон крепится к корпусу, а нижний представляет собой «мягкий» скег, обеспечивающий амфибийность при выходе на берег и при преодолении небольших препятствий. Истечение воздуха из ВП обеспечивает воздушную смазку между скегом и водой, обуславливая значительно меньшее сопротивление, чем у скеговых СВП обычного типа. Для определения требуемой производительности подъемного вентилятора таких судов , в отличие от СВП известных типов, нет обоснованного метода, в связи с чем в данной работе делается попытка восполнить этот пробел.

IV. Физическая природа явления

Наибольшее отличие состоит в том что в известных физических моделях [2] процесса истечения воздуха из ГО АСВП традиционного типа течение воздуха огибает наклонную плоскую кромку нижнего яруса ГО сегментного типа. При этом существенную роль играет импульсная составляющая сопротивлению истечения, возникающая при повороте направления потока воздуха на угол более 90^0. Этот процесс коренным образом отличается от истечения воздуха из под баллона – скега достаточно большого радиуса. Такое течение ближе к движению воздуха под поверхность пластины.

В данном случае целесообразно использовать результаты экспериментального исследования течения воздуха под поверхность пластины, лежащей на поверхности воды [3]. В этом исследовании был обнаружен пороговый механизм устойчивого распространения воздуха под пластину, обусловленный свойством каппилярности (рис.1) .

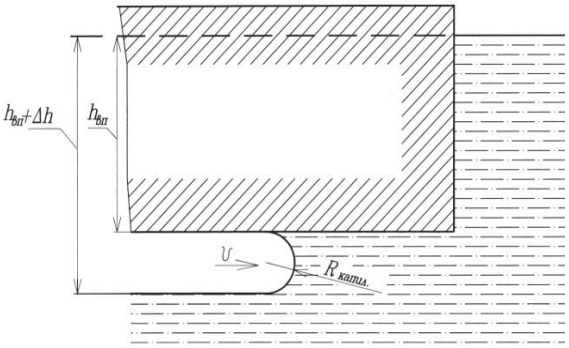


Рис. 1. Распространение воздуха под пластину

Устойчивое движение воздуха возможно при условии, что избыточный напор в полости, откуда происходит истечение превышает высоту преграды $h_{вп}$ на величину

$$\Delta h \geq 2 \cdot R_{кап}\,, \qquad (1)$$

где $R_{кап}$ - радиус капиллярности воды, составляющий 3.8 мм и Δh=7.6 мм.

Таким образом, для устойчивого движения воздуха из ВП необходимо обеспечить превышение давление в ВП $p_{вп}$ на $\Delta p \approx 75$ Па. Эта величина определяет минимально необходимый расход воздуха из ВП, определяя зазор между нижней поверхностью баллона ГО и дном впадины под судном, как показано на рис. 2.

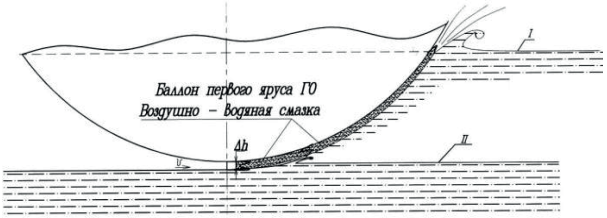


Рис. 2. . Схема истечения воздуха из-под баллона-скега ГО: *I* – положение ватерлинии при выходе на подушку без движения, *II* – положение ватерлинии при движении АСВП на подушке со спецификационной скоростью на спокойной воде

Воздушно – водяной слой образуется из-за пульсаций давления при ускорении потока воздуха при приближении к свободной поверхности. Эта смазка позволяет уменьшить сопротивление при разгоне и поддерживается на высокой скорости. Однако, как показал опыт эксплуатации СВП, воздушный зазор может замываться и происходить явление «залипания» скегов, при котором развивается значительное вертикальное усилие, зазор исчезает и происходит резкое торможение судна. Не останавливаясь на гидродинамическом механизме этого явления , следует отметить , что нейтрализовать его можно путем «заклинки» скегов – созданием угла между осью баллона и ДП в пределах 1 - 2^0, а также путем наклейки на нижних поверхностях баллонов интерцепторов, представляющих небольшие жесткие пластинки.

Вместе с тем, влияния производительности подъемного вентилятора на эффект «залипания» не обнаружено

V. Расчетные зависимости

Таким образом, минимально необходимая производительность вентилятора должна обеспечивать устойчивый поток воздуха через зазор, данный формулой (1). В этом случае минимально требуемая производительность выражается формулой:

$$Q = \mu \cdot \nu_{TP} \cdot \Delta h \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2p_{ВП}}{\rho_a}} \qquad (2)$$

где μ – коэффициент поджатия μ=0.8 ÷0.9;

ν_{TP} – потери напора в воздушном тракте, ν_{TP} = 1.2;

Δh – зазор под ГО, Δh ≈0.008 м;

П=2·(*L*вп +*B*вп) -периметр истечения воздуха;

$$p_{ВП}=D\cdot g/(L_{ВП}\cdot B_{ВП}), \qquad (3)$$

где *L*вп и·*B*вп размеры ВП в плане.

Следует отметить, что значение Δh=0.008 м было использовано и при определении производительности нагнетателя ледокольных платформ на воздушной подушке[4], которые успешно эксплуатируются.

Мощность привода подъемного вентилятора $N_{ПВ}$ определяется в соответствии с рекомендациями [5]

$$N_{ПВ}=\frac{p_{ВП}\cdot Q}{\eta_B \eta_{ПК}}, \qquad (4)$$

где $\eta_{ПК}$- коэффициент эффективности подъемного комплекса, $\eta_{ПК}$=0.42±0.02, η_B - к.п.д. вентилятора η_B≈0.75.

VI. Результаты

В качестве конкретного примера произведен расчет по формулам (2), (3), (4) для АСВП наиболее распространенного габарита ВП по ширине – 3 м. На рис. 3-5 приведены данные в виде линий уровня функций искомых параметров в зависимости от двух аргументов – удлинения ВП λвп= *L*вп / *B*вп и массы судна D, т.

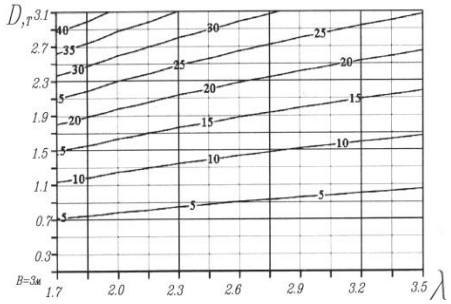


Рис. 3. Требуемая мощность подъемного вентилятора , *N* кВт

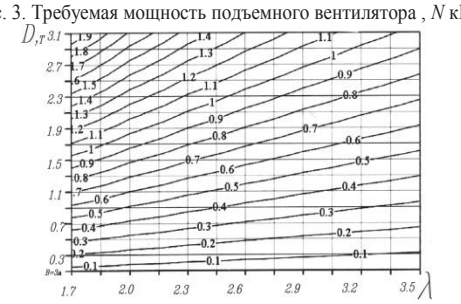


Рис.4. Давление в ВП создаваемое вентилятором $p_{ВП}$, кПа

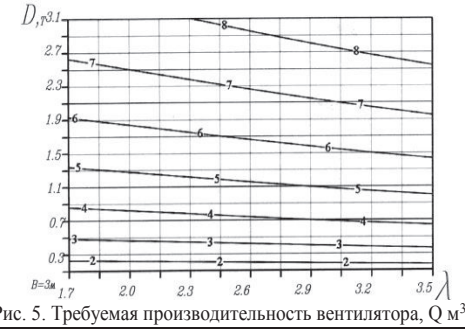


Рис. 5. Требуемая производительность вентилятора, Q м^3/с

VII. Выводы

Рассмотренное феноменологическое обоснование расхода воздуха из ВП не исчерпывает всю глубину и сложность этого явления. Однако, предложенные зависимости пригодны для применения на начальных стадиях проектирования легких АСВП с баллонетным ГО.

Литература

[9] Тхань Ф.Ф. Выбор и обоснование основных параметров патрульно-разъездного малого амфибийного судна на воздушной подушке с гибким ограждением баллонетного типа / Ф.Ф., Тхань, А.М. Крыжанов, Ю.А. Двойченко, Е.М. Бремзен// Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та Сер. Морская техника и технология. 2014. №4. С. 34-37.

[10] Кличко В.В., Расчёт параметров истечения воздуха из элементов гибкого ограждения воздушной подушки/ Кличко В.В// Матер, по обмену опытом, Судостроение, Ленинград, вып. 178, 1972, с. 221-232.

[11] Зуев В.А. Низконапорные течения воздуха под поверхность плавающей пластины/ В.А. Зуев, Ю. А. Двойченко // Рук. деп. в ЦНИИ «Румб» №. 1345, 1981, 12 с

[12] .Зуев В.А. Некоторые вопросы проектирования ледокольных приставок на воздушной подушке/ В.А. Зуев, Ю.А. Двойченко, С.Г. Махонько, Г.М. Перелыгина, А.В. Саватеев// Теория и прочность ледокольного корабля. Межвузовский сборник._ Горький ГТПИ им. А.А. Жданова, 1982, с.41-47.

[13] Демешко Г.Ф. Проектирование судов. Амфибийные СВП/ Г.Ф. Демешко// Учебник в 2-х кн. Кн.1. СПб; Судостроение , 1992, - 269 с.

«Разработка требований к эксплуатационным свойствам композиционных полимерных материалов для рабочих органов хлопкоочистительной машины»

А.А.Иргашев, С.С.Негматов, Х.И. Туркменов, З.Т. Жумаев

Реферат **– Работа посвящена решению проблемы снижения механической повреждаемости хлопка сырца за счет применения композиционных полимерных покрытий и композиционных полимерных материалов при изготовлении рабочих органов машин и механизмов**

Ключевые слова **- композиционные полимерные покрытия композиционные полимерные материалы, работоспособность, хлопок.**

На современном этапе развития хлопководства, при всё более широкой его механизации, одной из важнейших задач хлопкоочистительной промышленности является получение волокна с высокими качественными показателями. Это связано с тем, что интенсивное воздействие рабочих органов технологических машин на различных этапах первичной обработки хлопка вызывает значительные механические повреждения волокна и семян, образование вредных пороков, накопление усталостных признаков в волокне, а также увеличения содержания коротких волокон [1,2].

Рабочие органы машин и механизмов, изготовленные из металлов, не только отрицательно влияют на качество хлопка, но и имеют недостаточную работоспособность [I].

Усовершенствование конструкции и выбор оптимальных режимов эксплуатации не всегда обеспечивают повышение работоспособности и эффективности машин, в изготовление рабочих органов из легированных сталей и цветных металлов частично устраняет их недостатки, но приводит к увеличению стоимости машин и расхода дефицитных дорогостоящих металлов.

Одним из эффективных и перспективных способов решения этой проблемы является применение композиционных полимерных покрытий (КПП) на поверхности рабочих органов хлопкообрабатывающих машин и механизмов. При этом механическая повреждаемость хлопка сырца снижается как за счет низкой силы трения покрытий с хлопком, сглаживания острых кромок, заусенцев и микронеровностей, шероховатостей, так и за счет высокой эластичности и деформирующих свойств полимерных покрытию.

При разработке композиционного полимерного материала (КПМ) необходимо учитывать целевое назначение его, предлагаемую область применения и условия эксплуатации. Однако при разработке КПМ для хлопкообрабатывающих машин и механизмов детального анализа их условий работы не производилось, авторы исходили из общих положений о желательности максимального снижения коэффициента трения с хлопком-сырцом.

Процесс очистки хлопка от крупного сора в очистителе марки ЧХ-3М2 «Мехнат» имеет ряд особенностей: в частности, процесс захвата волокнистой массы пильчатым барабаном может быть разделен на три стадии: первая – непосредственно захват и максимальное заглубление летучек на зубьях пил; вторая – удержание летучек при их отбивании о колосники и третья – минимальное сопротивление при съёме летучек с пильчатого барабана.

Для реализации первого и третьего этапов действительно желателен минимальный коэффициент трения, так как это будет способствовать более легкому продвижению волокон по зубьям пил как при заглублении, так и при соскальзывании.

Но на втором этапе минимальный коэффициент трения вызовет увеличенный уход летучек с сорными примесями в отходы, что крайне нежелательно. Значительное же повышение коэффициента трения зубьев пил с хлопком-сырцом вызовет его недостаточное продвижение к вершинам зубьев непосредственно перед съёмом с пильчатого барабана. В этом случае щёточный барабан, стаскивая летучки с зубьев, будет оказывать значительные воздействия на волокно, что повлечет за собой снижение его свойств.

Кроме того, процесс очистки от крупного сора характеризуется ударными воздействиями летучек хлопка о колосники. Это вызывает необходимость изучения процесса удара с точки зрения его воздействия на свойства хлопковой массы, а также разработку требований к вибропоглощающим свойствам материала колосников. Поэтому представлял интерес изучения влияния свойств материала КПП на показатели процесса очистки, позволяющее сформулировать требования к свойствам поверхностей рабочих органов, исходя из их функционального назначения.

Таким образом, в данной работе ставится задача разработки КПМ, обладающих одновременно высокими антифрикционными, вибропоглощающими и износостойкими свойствами.

Влияние свойств материала покрытий на показатели процесса очистки хлопка-сырца от крупного сора исследовали на стендовой установке, состоящей из питающей и колосниково-пильчатой секции. Пильчатая гарнитура и колосники выполнены сменными для возможности нанесения покрытий из КПМ различного состава.

В стендовых испытаниях использован хлопок-сырец селекционного сорта Ташкент-I, I сорта ручного сбора и I-III сортов машинного сбора.

В экспериментах были использованы специально подобранные полимерные покрытия, обладающие необходимым диапазоном коэффициента трения с хлопком (0,25-0,65) и вибропоглощающей способностью (логарифмический декремент от 0,05 до 0,25) при двойной толщине полимерного слоя.

Выбор модельных составов для покрытий основывался на результатах исследований процесса очистки, а также собственных наблюдений за работой стендовой установки [3], при изучении влияния материала покрытия колосников в качестве основных параметров были приняты очистительный эффект, прочность семян и сумма пороков, и засоренность волокна после очистки. Кроме того, контролировался также уход летучек в отходы.

Эксперименты показали (рис.1 а, б), что при увеличении f хлопка-сырца о колосники от 0,25 до 0,65 очистительный эффект повышается с 87% до 94% для хлопка-сырца I сорта, и с 80% до 92,5% для II сорта. Это связано, по-видимому, с тем, что при увеличении f на колосниках происходит большее торможение летучек в момент удара, увеличивается время нахождения волокон хлопка в распрямлённом состоянии, за которое и происходит выделение сорных примесей, т.е. улучшается эффект «прочесывания» прядки волокна. Аналогичные зависимости получены и на других сортах хлопка-сырца.

Разрывная нагрузка волокна с повышением коэффициента трения о колосники падает с 4,46 сН до 3,9 сН для I сорта и с 4,15 сН до 3,75 сН для 2 сорта.

Падение разрывной нагрузки волокна объясняется, очевидно, тем, что при повышении f возрастают растягивающие нагрузки на волокно, приводящие к концентрации напряжений, особенно в мессах наличия дефектов строения волокна.

В свою очередь, многократное значительное растяжение волокна приводит к постепенному его утомлению и снижению выносливости. Подтверждением этому служат данные усталостных испытаний волокон. С уменьшением f материала покрытия колосников □□ - ресурс волокон при□□□=75% (число цикло, при котором не разрушается 75% образцов) увеличивается.

Зависимость количества поврежденных семян в процессе очистки от коэффициента трения хлопка о колосники слабая: наблюдается увеличение поврежденных семян в пределах 1% для II□сорта и без изменения для I сорта. Содержание пороков и сорных примесей в волокне после очистки с повышением f увеличивается (с 5,1% до 5,4% для I сорта и с 9,0% до 9,3% для II сорта), а затем снижается до 4,9% и 6,3% соответственно. Учитывая повышение очистительного эффекта, незначительное снижение содержания пороков и сорных примесей в волокне объясняется, по-видимому, перераспределением слагающих его показателей.

Далее рассмотрено влияние □□э на очистку хлопка-сырца. С увеличением демпфирующей способности полимерных покрытий на колосниках (рис. 1 В, Г) очистительный эффект возрастает с 76% до 93% для I сорта и до 87% для II сорта. При этом разрывная нагрузка волокна, проходя через максимум при □э =0,2, начинает падать, что особенно четко наблюдается на волокне II сорта и с 1,1 до 0,5 для III сорта. Содержание пороков и сорных примесей в волокне, прошедшем очистку, уменьшается на 0,6% и 2% для I и III сорта хлопка-сырца соответственно.

Повышение очистительного эффекта объясняется, очевидно, тем, что благодаря демпфирующим свойствам покрытий колосников происходит рассеяние энергии удара о них частиц сора, и последние не могут отскочить от колосников в зону пил и увлечься вновь волокнистым материалом.

Первоначальное повышение разрывной нагрузки волокна при повышении □э покрытий колосников объясняется его меньшей механической повреждаемостью в процессе очистки, что подтверждается полученными данными и согласуется с результатами других работ [6].

Снижение разрывной прочности волокон при дальнейшем повышении □□э покрытий связано, очевидно, с превалирующим влиянием процессов трения при избыточном демпфировании ударного взаимодействия летучек хлопка о колосники.

Уменьшение повреждаемости семян при повышении □□э связано со снижением значительного модуля упругости материала покрытия. В свою очередь, содержание пороков и сорных примесей в волокне с увеличением □□э покрытий уменьшается.

Влияние вибропоглощающего свойства покрытий на выносливость хлопкового волокна выражена слабо. Это связано, по-видимому, с незначительным изменением этого показателя за одну технологическую операцию – очистку хлопка-сырца.

Далее следовало изучение эффективности процесса очистки в зависимости от свойств КПП, нанесённых на пильчатую гарнитуру.

Ввиду того, что пильчатая гарнитура предназначена для захвата и удержания летучек в зоне очистки и характеризуется захватывающей способностью, то оказывать влияние может в основном на уход волокнистого материала в отходы. Кроме того, как установлено, пилы острыми кромками переходных поверхностей могут сильно повреждать хлопковое волокно, а острием накалывать семена.

Поэтому при изучении влияния коэффициента трения f КПП пил в качестве основных показателей выбраны уход летучек в отходы и механическая повреждаемость волокна. Также учитывалось количество поврежденных накалыванием семян. Разрывная прочность одиночного волокна в этом случае не изучалась, так как установлена корреляционная зависимость поврежденности волокон и разрывной прочности [6].

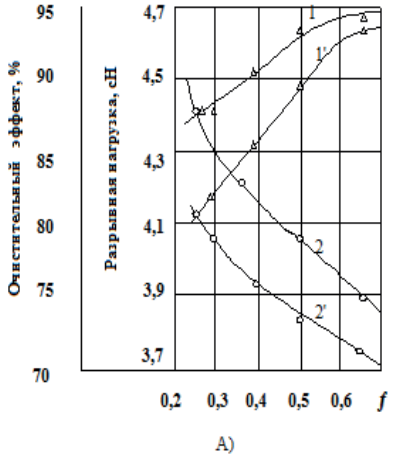
Очистительный эффект также не изучался, так как при постоянной геометрии пил (постоянный угол наклона зуба пилы и угол ее заострения) f пильчатой поверхности на него видно не влияет.

Демпфирующая способность КПП пил не рассматривалась, так как при малой толщине покрытий

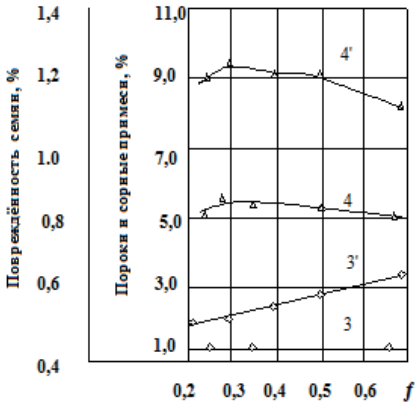
эти свойства не реализуются. Результаты экспериментов показала (рис.2), что в зависимости от коэффициента трения материала покрытия пил, механическая повреждаемость хлопкового волокна изменяется адекватно уходу летучек в отходы. При этом в некоторых случаях волокна перебиваются, частично повреждается кутикулярный слой в виде сдиров, обнаруживаются трещины, поперечные разрывы целлюлозной стенки, что при последующей переработке может привести к полному разрыву волокна, ухудшающему его прядильные свойства.

Таким образом, влияние свойств КПП на исследованные показатели процесса очистки неоднозначно, а в ряде случаев имеет взаимоисключающий характер (например, при увеличении *f* очистительный эффект возрастает, в то же время, как разрывная нагрузка волокна снижается). Поэтому поиск оптимального решения может быть осуществлён только на основе некоторого компромиссного критерия эффективности процесса очистки.

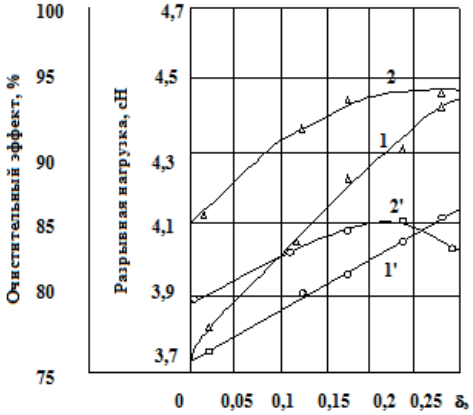
В данной работе в качестве компромиссного критерия эффективности процесса очистки использована обобщенная функция желательности, основным преимуществом которой является возможность сведения многопараметрических задач к задачам с единственным параметром оптимизации.



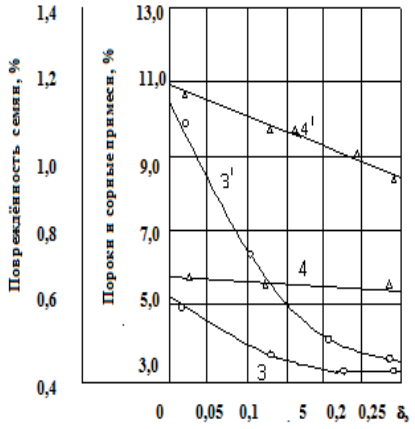
А)



Б)



В)



Г)

Рис. 1. Влияние коэффициента трения f КПП на уход летучек в отходы и механическая повреждаемость волокна

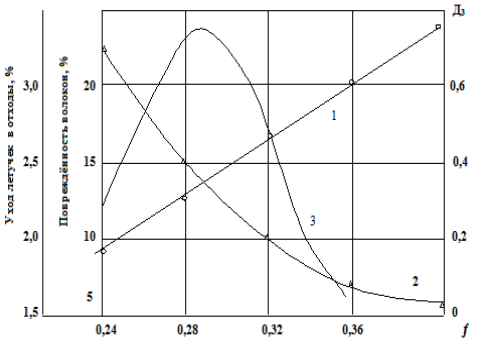


Рис. 2. Влияние коэффициента трения f КПП

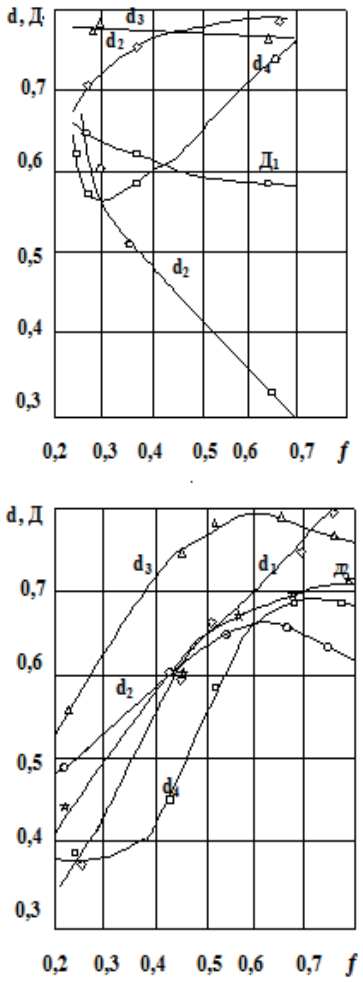


Рис.3. функции желательности процесса очистки

Материал покрытия колосников должен отвечать определённым требованиям по четырем откликам-указателям процесса очистки:
y_1 – очистительный эффект; y_2 – разрывная нагрузка волокна; y_3 – поврежденность семян; y_4 – содержание пороков и сорных примесей в волокне после очистки.

Для построения обобщенной функции желательности процесса очистки измеренные значения откликов были преобразованы в частные функции желательности d.

$$d_i=\exp[-\exp(-y_i)] \qquad (I)$$

Для этого были выбраны значения y_1; y_2; y_3; y_4 - соответствующие двум базовым отметкам по шкале желательности. Обобщенный критерий желательности определяли следующим образом:

$$D=\sqrt[i]{d_1 d_2 \ldots d_i} \qquad (II)$$

Рассчитанные по формуле (I) и (II) для хлопка-сырца I сорта машинного сбора значения частных и обобщенных критерием функции желательности по коэффициенту трения (D_1), логарифмическому декременту (D_2) КПП колосников приведены на рис.3.

Обобщенный критерий желательности (D_3) для КПП пильчатой гарнитуры по двум частным функциям желательности – механической повреждаемости волокон и ухода летучек в отходы представлен на рис.2.

Таким образом, на основании полученных результатов сформулированы требования к свойствам покрытий с тем, чтобы они обеспечивали оптимальные показатели процесса очистки, а именно: максимальный очистительный эффект и разрывную нагрузку волокна, минимальные поврежденность семян и содержание пороков и сорных примесей в волокне после очистки: на пильчатую гарнитуру – антифрикционный материал с f=0,26÷0,28; на колосники – антифрикционно-вибропоглощающий материал с f=0,2÷0,3 и □□э =0,15÷0,3.

Литература

[1] Негматов С.С. «Условия эксплуатации основных рабочих органов машин и механизмов для уборки и переработки хлопка-сырца » - Ташкент: Фан, 1980г.

[2] Ходжинова М.А. Влияние механических повреждений хлопковых волокон на качество текстильного сырья. Ташкент: Узбекистан, 1963г.

[3] Цырлина Э.Б., Иргашева А.А., Негматов С.С. влияние материалов полимерных покрытий на эффективность работы хлопкоочистительных машин. В сб.научн.тр. ТашПи: «Повышение качества композиционных полимерных материалов с применением отходов производства за счет физической их активации». Ташкент, 1987г. С.22-25.

[4] Джумабаев А.Б., Иргашев А.А., Негматов С.С., Цырлина Э.Б. Исследование триботехнических свойств композиционных полимерных материалов при фрикционном взаимодействии с хлопком-сырцом. В кн.: Труды международной научной конференции «Трение, износ и смазочные материалы». М, 1985. Т.I. С.66-71.

[5] Пак И.И., Мирсаидов М.М., Махмудов Х.Х., Норкулов А.А. О вибропоглощающей эффективности некоторых дисперсных наполнителей. В кн.: Композиционные полимерные материалы и их применение в народном хозяйстве. Ташкент: Фан, 1986. С.218-221.

[6] Гзусыгина С.С., Ладынина Л.П. Влияние поврежденности хлопкового волокна на его физико-механического свойства. Хлопковая промышленность, 1985, №1. С.9-10.

[7] Harrington E.C. Industry Quality. Control, 1965, 21, №10, 494-498.

Силицированный графит как перспективный материал для использования в ряде отраслей нашей страны

Х. А. Исмоилов, Л. А. Даминов

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095, Goldstar_1974@mail.ru

Реферат **- в статье приведены физико-механические свойства и структурные особенности силицированного графита, полученного из спрессованных порошков графита, пропитанных при высоких температурах кремнием. Приведены результаты проведенных эксплуатационных испытаний в условиях производства.**

Ключевые слова **- силицированный графит, структура, жидкий кремний, фаза, карбид**

Синтез и разработка технологий новых материалов представляют собой одну из главных задач современного материаловедения. В настоящее время благодаря прогрессу в фундаментальных областях науки, особенно в физике твердого тела, резко расширились возможности получения новых видов материалов, обладающих комбинацией различных свойств. Пропитка углеграфитовых материалов жидким кремнием при высоких температурах позволяет получить материалы нового класса, такого как силицированный графит, обладающий исключительно высокими эксплуатационными свойствами [1].

Структура силицированного графита представляет собой жесткий каркас из карбида кремния исключительно высокой твердости и свободный графит [2], напоминающий композиционный материал, что и обеспечивает комплекс ценных физико-механических свойств [3].

Кафедрой «Материаловедение и технология материалов» ТашГТУ была освоена технология изготовления деталей различного назначения путем пропитывания спрессованных графитовых заготовок жидким кремнием при температуре выше 2000^{o}C. Для этого под различными давлениями были спрессованы штабики размером 10 мм × 10 мм с длиной 30 мм из порошка мелкозернистого графита [4]. Пропитка спрессованных графитовых заготовок осуществлялась в вакуумной печи при температуре 2075^{o}C, время пропитки составляло 60 минут.

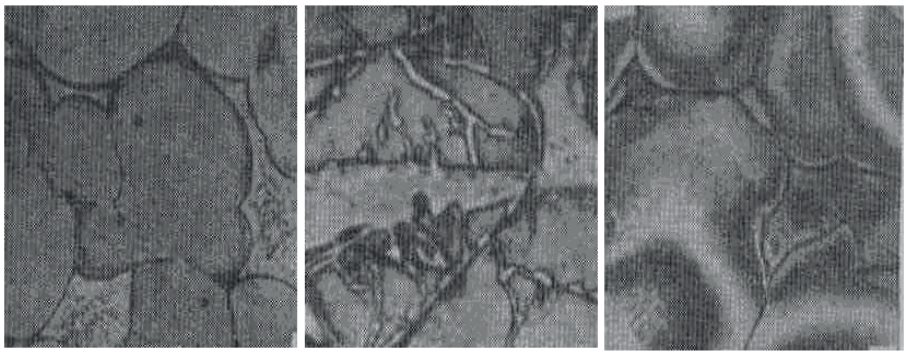


Рис. 1. Микроструктура штабика из силицированного графита х2000: а- фрагмент середины материала; б- поры, заполненные свободным кремнием; в- частицы свободного графита.

Микроструктурный анализ штабиков после пропитки их жидким кремнием показал, что структура силицированного графита состоит в основном из четырех фаз: карбида кремния, свободного кремния, свободного графита и пустых поровых каналов. По мере возрастания давления прессования численность пор существенно снижается, и материал становится трехфазным. На рис. 1 показана микроструктура штабика пропитанного жидким кремнием, полученного путем съемки через окуляр микроскопа МИМ-7 с помощью цифрового фотоаппарата.

Для сравнения механических свойств изготовленных штабиков со свойствами зарубежных аналогов из силицированного графита был проведен ряд испытаний. Результаты испытаний механических свойств изготовленных штабиков приведены в табл. 1.

Область применения деталей, изготовленных из силицированного графита неограничен, они используются в металлургии, химическом и нефтехимическом машиностроении в качестве узлов трения (уплотнительные кольца, подпятники, подшипники скольжения) в насосах, реакторах, сепараторах и другом оборудовании; для защитной арматуры термопар погружения, используемой при измерении температуры расплавленных чугуна, меди, цинка и других металлов; для стопорно–разливочного припаса металлургических печей и ковшей используемых при разливки расплавов металла.

Наиболее высокими прочностными характеристиками обладают материалы высокой плотности и мелкодисперсного строения. Материалы пористые и многокомпонентные имеют более низкие характеристики за счет наличия в них пор, кремния и углерода. Изменяя фазовый состав и пористость материалов, можно в определенной степени регулировать их механические свойства.

Таблица 1. Физико-механические свойства штабиков из силицированного графита

Изготовитель материала образца из силицированного графита	Плотность, г/см^3	Предел прочности, МПа			Ударная вязкость	Модуль упругости, ГПа	Твердость, HRC
		при сжатии	при растяжении	при изгибе			
Кафедра «Материаловедение и технология материалов» ТашГТУ	2,65	300	425	95	3,0	95	72
Зарубежный аналог	2,5-2,8	300-320	401-501	90-110	2,8-3,5	95	65-78

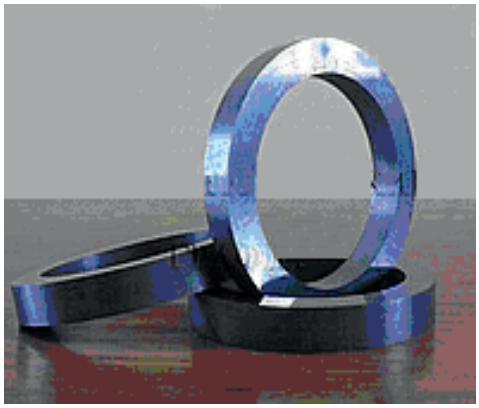


Рис. 2. Торцевые кольца из силицированного графита, изготовленные кафедрой «Материаловедение и технология металлов» ТашГТУ

Таблица 2 Результаты испытания уплотнителей из силицированного графита

Свойства жидкости		Номера насосов, №	Время испытания, час	Потеря массы, г	Величина износа, мкм
Температура, °С	Среда, pH				
25-35	3,3-3,8	1	50	0,03	2
		2	100	0,00	нет износа
		3	200	0,00	нет износа
		4	250	0,00	нет износа
		5	500	0,01	0,1

Для сравнения эксплуатационных свойств силицированного графита с зарубежными аналогами были изготовлены на кафедре торцевые уплотнители в виде колец из силицированного графита. На рис. 2 изображены торцевые кольца, изготовленные на кафедре «Материаловедение и технология металлов» ТашГТУ.

Испытания уплотнительных колец проводились в эксплуатационных условиях Ташкентского лакокрасочного завода. Для этого уплотнители устанавливали на насосах перекачивающих кислотные воды пигментного цеха №10. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Результатам испытаний уплотнительных колец из силицированного графита в эксплуатационных условиях Ташкентского лакокрасочного завода установлено, что силицированный графит обладает высокой износо- и эррозиостойкостью, он устойчив в кислых средах, обладает наиболее высокими антифрикционными свойствами.

Совокупность исключительно ценных свойств силицированных графитов дают основание рекомендовать их в качестве антифрикционного высоко-износостойкого конструкционного материала, пригодного для работы в парах трения, в том числе и в агрессивных средах.

Освоенная технология изготовления деталей из силицированного графита кафедрой «Материаловедение и технология металлов» ТашГТУ может служить для изготовления конструкционных деталей используемых в ряде отраслей нашей страны.

Литература

[1] Тарабанов А.С., Костиков В.И. Силицированный графит. М.: Металлургия, 1977. 206 с.
[2] Соседов В.П., Чалых Е.Ф. Графитация углеродных материалов. М: Металлургия, 1987. 174 с.
[3] Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. – 3-е изд., стереотип. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. -648 с.: ил.
[4] Гесингер Г.Х. Порошковая металлургия жаропрочных сплавов: Пер. с англ. Челябинск: Металлургия. Челяб. отд., 1988. 320 с.

О перспективности разработки покрытий на основе фаз Лавеса

К.К. Кадырбекова

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095, Niso_51@mail.ru

Реферат **- Фазы Лавеса существуют в системах переходных металлов, имеющих исключительно большое значение для современной техники. В системах, образуемых переходными металлами, фазы Лавеса имеют численное превосходство над соединениями всех других структурных типов и играют важную роль в фазовых равновесиях в этих системах и химии переходных металлов. Исследование фаз Лавеса в покрытиях на основе переходных металлов, формируемых методом PVD является актуальным.**

Ключевые слова **- фазы Лавеса, компонент, сплавление, конденсация, металлиды, твердость, жаропрочность, переходные металлы, структура, свойства, упрочнители.**

Фазы Лавеса образуются в результате взаимодействия компонентов при сплавлении, конденсации из пара, при реакциях в твердом состоянии вследствие взаимной диффузии, при распаде пересыщенного твердого раствора одного металла в другом, а также в результате интенсивной пластической деформации при механическом сплавлении (механоактивации), ионной имплантации, формирование покрытий. Для них характерны преимущественно металлические типы химической связи и специфические металлические свойства (металлиды).

Металлиды в современной технике играют роль, которую трудно переоценить. Они используются как упрочнители многих современных конструкционных материалов и находят всё более широкое применение в чистом виде как полупроводниковые, сверхпроводниковые и магнитные материалы в различных отраслях новой техники.

Высокая твердость, жаропрочность и стойкость против коррозии некоторых металлических соединений делают перспективным их применение в чистом виде в качестве конструкционных материалов. Однако, хрупкость большинства металлидов препятствует их широкому применению, но как показал Е.М. Савицкий [1], хрупкие при низкой температуре металлические фазы при нагревании переходят в пластическое состояние и приобретают способность легко деформироваться.

Систематическое исследование этих соединений, начатое академиком Н.С. Курнаковым, в наше время интенсивно развивается. Но, несмотря на широкий фронт исследовательских работ в этой области, до настоящего времен изучена лишь небольшая часть возможных двойных и совсем ничтожная доля тройных металлических систем.

Фазы Лавеса существуют в системах переходных металлов, имеющих исключительно большое значение для современной техники. В системах, образуемых переходными металлами, фазы Лавеса имеют численное превосходство над соединениями всех других структурных типов и играют важную роль в фазовых равновесиях в этих системах и химии переходных металлов.

Важной особенностью структур фаз Лавеса являются высокие координационные числа (12 и 16) и высокая плотность упаковки атомов различного размера, которая лишь немногим меньше, чем у плотнейшей упаковки одинаковых по величине атомов (71 и 74% соответственно) [2].

Структура двойных соединений $MgCu_2$, $MgZn_2$ была установлена Ж.Б. Фриофом [3], [4], а структура соединений $MgNi_2$ определена Ф. Лавесом [5], [6] и он установил близкую родственную связь структурных типов $MgCu_2$, $MgZn_2$, $MgNi_2$, которые в дальнейшем получили название типов MgX_2 или типов фаз Лавеса. Выявлено, что соединения этих структурных типов образуются при составах RX_2 во многих, и при этом самых разнообразных по своей природе, двойных системах R – X, а не только системах магния, и в настоящее время все эти металлические соединения объединяются названием фазы Лавеса.

Рассмотрим более подробно структурные характеристики фаз Лавеса на основе переходных металлов.

Таблица 1 Двойные фазы Лавеса со структурой типа $MgZn_2$ на основе переходных металлов

Формула	k	a(A)	c(A)	c/a
ZrV_2	1,19	5,288	8,664	1,639
TaV_2	1,09	4,96;5,058	8,11	1,63
$TiCr_2$	1,15	4,932	7,961	1,614
$ZrCr_2$	1,26	5,108	8,232	1,611
$HfCr_2$	1,25	5,074	8,226	1,621
$NbCr_2$	1,14	4,93	8,12	1,65
$TaCr_2$	1,20	4,925	8,062	1,637
$TiFe_2$	1,16	4,779	7,761	1,624
$HfFe_2$	1,26	4,962	8,103	1,633
$NbFe_2$	1,15	4,830	7,882	1,632
$TaFe_2$	1,16	4,827	7,838	1,624
$MoFe_2$	1,10	4,73	7,72	1,632
WFe_2	1,11	4,744	7,72	1,627
$ZrAl_2$	1,12	5,282	8,748	1,656
$HfAl_2$	1,11	5,230	8,651	1,663

Таблица 2 Двойные фазы Лавеса со структурой типа $MgNi_2$ на основе переходных металлов

Формула	k	a(A)	c(A)	c/a
$HfCr_2$	1,25	5,077	16б357	3,234
$HfMo_2$	1,14	5,341	17,347	3,248
$ZrFe_2$	1,27	4,962	16,16	3,256
$HfFe_2$	1,26	4,968	16,167	3,254

Таблица 3 Двойные фазы Лавеса со структурой типа $MgCu_2$ на основе переходных металлов

Формула	k	a(A)
ZrV_2	1,19	7,445
HfV_2	1,19	7,386
TaV_2	1,09	7,14
$TiCr_2$	1,15	6,943
$ZrCr_2$	1,26	7,207
$HfCr_2$	1,25	7,15
$NbCr_2$	1,14	6,990
$TaCr_2$	1,15	6,961
$ZrMo_2$	1,15	7,596
$HfMo_2$	1,14	7,577
ZrW_2	1,14	7,615
HfW_2	1,14	7,566

Структуры фаз Лавеса на основе переходных металлов показывают, что один и тот же металл в зависимости от условий может быть как R-, так и X компонентом фаз Лавеса ($ZrMo_2$ - $MoFe_2$, HfW_2 - WBe_2 и др.), что подтверждает вывод, сделанный П.И. Крипякевичем и Е.Е. Черкашиным [8], а именно: нет определённой и однозначной связи между электронной структурой компонентов данной двойной системы и возникновением в ней соединений типа фаз Лавеса.

По мнению различных авторов, главными условиями, необходимыми для существования в двойной системе соединений со структурами типа фаз Лавеса, являются следующие:

1.Компоненты должны быть типичными металлами.

2.Атомные радиусы компонентов должны различаться между собой, причем отношение $k = r_R/r_x$ может находиться в определенном интервале, включающем идеальное значение k.

Также отмечается, что эти условия не являются единственными и определяющими. Имеется целый ряд металлических систем с k = 1,04-1,68, в которых химические соединения вообще отсутствуют (Al-Be, Tl-Zn), образуются соединения других структурных типов (Bi-Li, Pb-Mg, Ti-Ni, Ca-Pb, Zn(Al)-переходный металл и др.) или непрерывный ряд твердых растворов. Существование или отсутствие в определенных группах двойных систем соединений типов фаз Лавеса объяснялось, как правило, превалирующим влиянием в различных случаях различных случаях различных факторов, таких, как размеры атомов, электронная концентрация и электронное строение атомов компонентов системы.

В последние годы возрос интерес к исследованию взаимодействия между двойными фазами Лавеса в системах, образованных переходными металлами. Внимание исследователей привлекает влияние образующихся в этих системах металлических соединений и многокомпонентных твердых растворов на жаропрочность и другие механические свойства новых конструкционных материалов.

Нет литературных данных по исследованию фаз Лавеса в покрытиях на основе переходных металлов, формируемых методом PVD .

Фазы Лавеса выполняют роль упрочнителя и могут оказывать существенное влияние на физико-химические свойства покрытий. Поэтому технология их формирования, выбор технологических режимов, изучение состава, структуры и свойств является весьма актуальным.

Литература

[1] И. И. Корнилов. Металлиды и взаимодействие между ними. Изд-во «Наука», 1964.
[2] Теслюк М. Ю. Металлические соединения со структурой фаз Лавеса. Изд-во «Наука», 1969.
[3] J.B.Friauf. J. Am.Chem.Soc., 1927, 49, 3107.
[4] J.B.Friauf. Phys. Rev., 1927, 29, 34.
[5] Strukturbericht, 1931, 1, 490.
[6] F. Laves, H. Witte.- Metallwirtshaft, 1935,14. С. 645.
[7] Арзамасов Б.Н. Материаловедение. М.: Машиностроение, 2004.
[8] П.И. Крипякевич, Е.Е. Черкашин. Усп. хим., 1950, 19, 5. С. 396.

Статистическая оценка структурного состояния материала при пластической деформации

В.А. Ким, С.В. Золотарева

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, РОССИЯ, 681013, kmtnm@knastu.ru

Реферат **- Микроструктуру поликристаллического материала можно количественно описать плотностью границ зерен. Выполнен статистический анализ кривых распределения плотности границ зерен микроструктуры конструкционной стали 45 до и после пластической деформации растяжения. Показана связь между характером изменения кривых распределения и структурными изменениями.**

Ключевые слова **- микроструктура, количественная металлография, плотность границ зерен, закон распределения, математическое ожидание.**

4. Введение

Сопротивляемость материала пластической деформации и разрушению рассматривается, как способность различных масштабных уровней создавать диссипативные структуры, преобразующие внешнее энергетическое воздействие в тепло и рассеивающие ее в окружающей среде.

Упрочнение материала рассматривается как блокировка носителей пластической деформации, при этом на каждом масштабном уровне функционируют свои носители пластической деформации и механизмы их торможения. На микроуровне пластическая деформация связана с динамикой развития линейных дефектов кристаллического строения, при этом главная роль отводится дислокациям. Степень и скорость пластической деформации определяются активностью генераций дислокаций, их плотностью и скоростью скольжения [1,2]. Торможение дислокаций осуществляется различными дефектами кристаллического строения, а наибольшую эффективность в этом механизме проявляют границы зерен [2].

На мезомасштабном уровне пластическая деформация реализуется путем зернограничного и межкластерного скольжения, а упрочнение связывается со степенью развитости границ раздела. Развитость границ раздела или их протяженность определяются размерами зерен и кластеров. Роль этого параметра в обеспечении прочностных свойств материала отражает закон Хотла-Петча [3]. Предел текучести и

напряжение течения увеличиваются с уменьшением размера зерна не из-за наличия границы, а из-за взаимодействия между кристаллитами, разделенными этой границей.

Наиболее устойчивая структура соответствует минимальной свободной энергии, а структурная организация такого состояния обеспечивается за счет определенного соотношения площади поверхности границы и объема каждого кристаллита, степенью развитости самой поверхности границы, а также удельными величинами поверхностной энергии и химического потенциала.

Применительно к плоскостному изображению микроструктуры отношение площади поверхности к объему зерна адекватно отношению периметра границы P к площади сечения зерна F. Эта характеристика - плотность границ зерен *q*.

$$q_i = P_i / F_i , \qquad (1)$$

где P_i, F_i – периметр и площадь отдельного зерна соответственно.

Характер распределения плотности границ зерен отражает структурно-энергетическое состояние материала, и, следовательно, его физико-механические свойства. Меньшая величина плотности границ зерен указывает на большую устойчивость структуры, преобладание крупных и равноосных зерен [4].

5. Материалы и методы

Объектом исследования были микроструктуры стали 45, подвергнутой растяжению. Микроструктуры исследовались в центральной части образца в поперечных сечениях относительно растягивающих напряжений.

Цифровые фотографии микроструктур обрабатывались с помощью специальной программы Image.Pro.Plus.5.1. Процедура обработки микроструктур включала корректировку контраста, выделение границ зерен и границ раздела фрагментированных элементов, пространственную калибровку в соответствии с кратностью увеличения, измерение площади S_i, и периметра P_i каждого микроструктурного образования.

По полученным результатам вычислялся количественный показатель интерфейса структурного состояния *плотность границы* (q_i) по формуле (1).

Статистическая обработка предусматривала построение гистограмм распределения и расчет вероятностных показателей. В качестве меры показателя распределения была принята плотность границ зерен

6. Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлены кривые распределения плотности границ зерен стали 45, подвергнутой растяжению. Исходная микроструктура материала достигалась отжигом и характеризовалась бимодальным законом распределения плотности границ зерен [4]. При малых степенях деформации бимодальность сохраняется, а при 20 % деформации полностью исчезает. С повышением степени деформации центр группирования распределения смещается в область больших значений q, а диапазон рассеивания сужается.

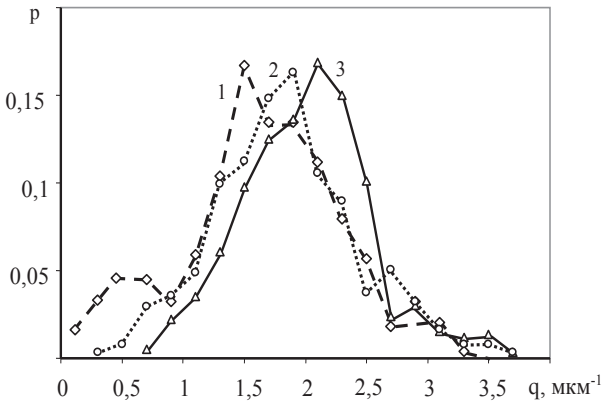


Рис. 1. Распределение плотности границ зерен микроструктуры стали 45:
1 – растяжение на 5%; 2 – растяжение на 20%; 3 – после разрыва

Структурные изменения при пластической деформации происходят в результате развития различных дефектов кристаллического строения на микро- и мезомасштабном уровнях. При малых напряжениях деформация происходит за счет двойников, далее - в результате развития дислокации и дисклинаций, а при высоких напряжениях процесс пластической деформации переходит на мезоуровень и реализуется в виде межзеренного скольжения, образования мезокластеров и их ротационной динамики [5, 6, 7, 8].

В таблице 1 представлены значения математических ожиданий распределений плотности границ зерен при различной степени деформации.

Таблица 1
Математическое ожидание распределений плотности границ зерен

Степень деформации, %	Плотность границ зерен, 1/мкм
0	1,412
5	1,976
10	1,881
20	1,844
30	1,841
разрушение	2,005

Наибольшее приращение плотности границ имеет место при 5 % пластической деформации, затем наблюдается монотонное снижение до 30 % деформации и резкий скачок *q* в результате разрушения образца. Положение максимумов (рис. 1) не совпадает с

величинами математических ожиданий в результате асимметрии восходящих и нисходящих ветвей кривых распределения q. Восходящая ветвь в большинстве случаев представляется более крутой, по сравнению с нисходящей, указывая, что структурные элементы с высокой плотностью границ являются более устойчивыми к пластической деформации, и структурным изменениям подвергаются преимущественно крупные микроструктурные составляющие с низкой плотностью границ.

Сохранение бимодальности при степени деформации 5% указывает, что носители деформации развиваются преимущественно внутри зерен, а повышение «развитости» границ является результатов выхода на них линейных дефектов кристаллического строения. Снижение величины математического ожидания с дальнейшим повышением степени деформации вызвано образованием мезокластеров или фрагментированных элементов, представляющих совокупность зерен, объединенных когерентными границами раздела и развитой внешней границей кластера. Плотность дефектов кристаллического строения внутри зерен возрастает, но этот показатель не фиксируется используемыми количественными характеристиками компьютерной металлографии. «Развитость» границы кластера ниже, чем у границ зерен, и это отражается на величине математического ожидания.

Выводы

Плотность границ зерен и раздела фаз (отношение периметра к площади зерна или фрагмента отдельной фазы) является информативной количественной характеристикой структурного состояния материала. Динамика изменения характера распределения плотности границ отражает особенности структурных изменений, протекающих при пластической деформации.

Установлено, что распределение плотности границ зерен отожженной структуры стали 45 при незначительной пластической деформации носит бимодальный характер, а при 20 % деформации полностью исчезает.

Изменение математического ожидания распределения плотности границ зерен с повышением степени пластической деформации отражает динамику структурных изменений и доминирующий носитель деформации. Переход пластической деформации на мезоуровень приводит к снижению плотности границ зерен.

Литература

[1] Найми Е. К., Предводителев А, А., Хзарджян С. М. О роли условий ненарушения сплошности среды при описании де формированного состояния твердых тел / Известия вузов. Сер. Физика. 1977. № 7. С. 124 -131.
[2] Кристиан Дж, Термодинамика и общая кинетическая теория. Теория превращения в металлах и сплавах / Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 810с.
[3] Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Изд. 3-е, перераб. и доп. В двух частях. — М.: Машиностроение, 1974. — Ч. 1.472 с., Ч. 2.368 с.
[4] Ким, В. А. Статистическая оценка компьютерной металлографии
[5] / Ким В.А., Евдокимова Р.В., Золотарева С.В., Попкова А.А., Йошида М. //Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Металлургия и металловедение. - 2013. - № 11-1(14). - С. 76-82.
[6] Кристиан Д. Теория превращения в металлах и сплавах. – М.: Мир, 1978. - 806 с.
[7] Новиков, И. И. Кристаллография и дефекты кристаллического строения : учебник для втузов / И.И. Новиков, К.М. Розин. – М.: Металлургия, 1990. 336 с.
[8] Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов / В. Е. Панин, В. Е. Егорушкин, П. В. Макаров и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1995. – Т. 1 - 298 с.
[9] Ким, В. А. Влияние пластической деформации при резании металлов на микроструктуру поверхностного слоя / В. А. Ким, Т. А. Отряскина //Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. - № 11-1(2). – С. 81-87.

Проектирование шлифовальных инструментов с контролируемой формой и ориентацией зёрен

В.А. Коротков

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва, РОССИЯ, 650000, korotkov-va@mail.ru

Реферат **– исследована взаимосвязь передних углов абразивных зёрен с параметрами их формы, ориентации и износа. Форма зёрен оценивалась с помощью коэффициента формы, который представляет собой отношение диаметров сфер, описанных вокруг контуров зёрен, к диаметрам вписанных в них сфер. Угол пространственной ориентации зёрен определялся между главной (т.е. наибольшей) осью зерна и плоскостью резания. Установлено, что в зависимости от угла ориентации при увеличении коэффициента формы зёрен может происходить как увеличение, так и уменьшение величин их передних углов. В большинстве случаев, с увеличением коэффициента формы ориентированных шлифовальных зёрен (в диапазоне углов ориентации Θ=10°÷125°) их передние углы возрастают. У тангенциально ориентированных зёрен (Θ=0°) и зёрен с близкими направлениями ориентации (Θ=135°÷180°) наблюдается обратная картина. Кроме того, установлено, что передние углы шлифовальных зёрен достигают максимальных положительных значений при углах ориентации Θ=22.5°÷45°. Исследована зависимость напряжений в зёрнах при работе с параметрами их формы, ориентации и глубиной заделки в связку. Установлено, что при любых углах ориентации зёрен с увеличением их коэффициента формы максимальные напряжения существенно возрастают. Кроме того, установлено, что с уменьшением глубины заделки в связку максимальные напряжения в зёрнах также ощутимо увеличиваются. Наименьшие напряжения в зёрнах возникают при их тангенциальной ориентации. Далее следует вариант ориентации зёрен по направлению действия силы резания. Такой вариант ориентации зёрен является наиболее**

рациональным как с точки зрения минимизации напряжений, так и для обеспечения рациональных величин их передних углов. Рациональные углы ориентации зёрен в отрезных шлифовальных кругах находятся в диапазоне Θ=65°÷75°. Совместный анализ зависимостей передних углов и напряжений в зёрнах от факторов их формы и ориентации позволяет прогнозировать эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов на этапе их проектирования под конкретные задачи и условия обработки.

Ключевые слова **- шлифование, шлифовальные инструменты, отрезные шлифовальные круги, шлифовальные зёрна, передние углы, коэффициент формы зёрен, угол ориентации, износ зёрен, напряжения в шлифовальных зёрнах**

I. Введение

Эффективность процесса шлифования во многом предопределяется эффективностью работы абразивных зёрен, из которых изготовлены шлифовальные инструменты [1], [2]. Максимально успешная работа зёрен, при прочих равных условиях (марка и зернистость абразива, тип абразивного инструмента, твёрдость, структура и тип связки инструмента, режимы резания), возможна, когда зёрна обладают благоприятной, для данного случая обработки, геометрией. Геометрия режущей части зерна определяется двумя факторами – формой и расположением в теле инструмента [3] - [5]. Эти факторы в процессе производства абразивных инструментов часто остаются бесконтрольными и незадействованными. Так, основная масса зёрен, идущая на изготовление абразивных инструментов, имеет произвольную форму, изменяющуюся в широком диапазоне от изометрических до пластинчатых разновидностей.

В мировой практике известны попытки упорядочения формы зёрен. Например, разработаны технологии изготовления сферо- и формокорундов, технология овализации зёрен в шаровых мельницах, технологии изготовления абразивов, в которых благодаря ускоренному охлаждению расплава и появлению на слитках сетки микротрещин получают зёрна игольчато-пластинчатых форм и др. [1], [2], [6], [7]. Несмотря на общий положительный результат, широкого распространение такие технологии пока не получили.

Наряду с формой, другим фактором, активно влияющим на геометрию и эффективность работы зёрен, является их ориентация в теле инструмента [2], [8]. Это наглядно подтверждается на примере применения шлифовальных шкурок и лент, изготовленных с использованием электростатического эффекта, который позволяет ориентировать зёрна острыми выступами перпендикулярно к основе этих инструментов [9].

Для других разновидностей абразивных инструментов промышленный и положительный опыт их создания с применением технологий по управлению ориентацией зёрен пока не известен. Ещё в большей степени это относится к практике производства абразивных инструментов, при изготовлении которых учитывались и целенаправленно контролировались бы одновременно два фактора – форма и ориентация зёрен. Создание таких инструментов открывает возможность дальнейшего повышения эффективности процессов шлифования [2].

В этой связи представляется актуальной проблема создания и применения нового абразивного инструмента из зёрен с контролируемой формой и ориентацией, максимально использующего режущие возможности каждого отдельного зерна. Для решения этой проблемы необходимо проведение исследований, которые позволяли бы прогнозировать эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов в зависимости от факторов формы и пространственной ориентации абразивных зёрен.

II. Материалы и методы

Для прогнозирования эксплуатационных показателей шлифовальных инструментов на этапе их проектирования целесообразно изучить геометрию зерен, из которых они изготавливаются, и установить зависимость величин передних углов зёрен от факторов их формы и ориентации. После этого необходимо проанализировать схему работы шлифовального инструмента и установить величины составляющих силы резания, действующие на шлифовальные зёрна. Используя установленные величины составляющих силы резания, действующие на зёрна, следует установить зависимость максимальных напряжений в шлифовальных зёрнах от факторов их формы и ориентации. Совместный анализ получаемых зависимостей передних углов и напряжений в зёрнах от факторов их формы и ориентации позволяет проектировать шлифовальные инструменты под конкретные задачи и условия обработки, исходя из того, что величины передних углов зёрен оказывают непосредственное влияние на режущую способность инструментов, на величины деформаций обрабатываемого материала, эффективную мощность и температуру резания, а уровень максимальных напряжений в зёрнах – на стойкость инструментов [10].

III. Результаты и обсуждения

Исследования проводились на примере отрезных шлифовальных кругов с характеристикой 230×4×32 13AF46 Т2 БУ 80 м/с, которыми осуществлялась разрезка заготовок (трубы 21.3×2,8 из стали 10) на скорости V=80 м/с и с постоянным усилием прижатия заготовки к кругу F=32 Н (P_y=32 Н) [11]. В процессе исследований устанавливалась зависимость величин передних углов ориентированных шлифовальных зёрен 13AF46 от разновидности их формы с учётом фактора износа, а также взаимосвязь формы и ориентации зёрен с величинами напряжений, возникающих в них при работе. Форма шлифовальных зёрен оценивалась с

помощью специально разработанной методики и программы для ЭВМ [2], [12] путём использования понятия коэффициента формы ($K_ф$), равного отношению диаметров сфер, описанных вокруг контуров зёрен, к диаметрам вписанных в них сфер.

Для оценки передних углов ориентированных шлифовальных зёрен разработан специальный программный комплекс, позволяющий поворачивать их изображения, полученные с помощью микроскопа и цифрового фотоаппарата, под требуемым углом относительно плоскости резания и определять передний угол во всех точках контура [13], [14].

Полученные результаты сводились в таблицы данных с последующим построением трёхмерных графиков зависимости передних углов шлифовальных зёрен от коэффициента их формы ($K_ф$) и угла пространственной ориентации (Θ) между главной (т.е. наибольшей) осью зерна (L) и плоскостью резания (Рис. 1).

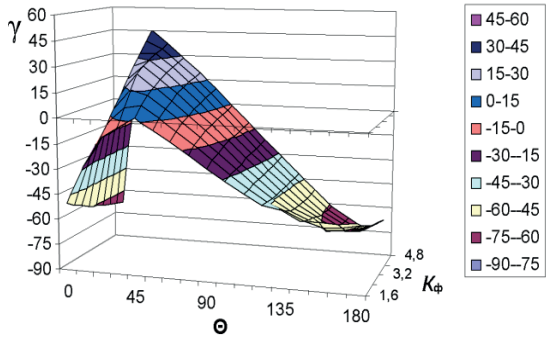


Рис. 1. Зависимости передних углов (γ) зёрен 13AF46 от их коэффициента формы ($K_ф$) и угла ориентации (Θ) относительно плоскости резания при гипотетическом износе до 1/2L

Результаты исследований позволяют констатировать, что, независимо от коэффициента формы, чем дольше шлифовальное зерно работает, т.е. изнашивается вдоль главной оси и находится в теле инструмента, тем больше (в среднем) становится его передний угол. При этом фактор ориентации зёрен относительно плоскости резания весьма существенно влияет на величины передних углов. Так, например, при $K_ф$=1.6 передние углы шлифовальных зёрен могут варьироваться в пределах -60° ÷ -6° (износ до 1/3L) и -44° ÷ +9° (износ до 2/3L).

При $K_ф$=4.8 передние углы шлифовальных зёрен в зависимости от угла ориентации Θ изменяются в диапазоне -77° ÷ +39° (износ до 1/3L) и -69° ÷ +49° (износ до 2/3L). Таким образом, одно и то же зерно, по-разному ориентированное относительно плоскости резания, характеризуется значительной разницей величин передних углов. Она достигает 53° ÷ 54° у изометрических шлифовальных зёрен ($K_ф$=1.6) и 116° ÷ 118° у игольчато-пластинчатых зёрен ($K_ф$=4.8), что принципиально различает геометрию абразивных и лезвийных инструментов, где у последних режущий клин имеет неизменную геометрию и затачивается с точностью до долей градуса. Полученные данные также показывают, что передние углы шлифовальных зёрен достигают максимальных положительных значений при углах ориентации Θ=22.5°÷45°.

Кроме того, в зависимости от угла ориентации при увеличении коэффициента формы зёрен может происходить как увеличение, так и уменьшение величин их передних углов. Так, в большинстве случаев, с увеличением коэффициента формы ориентированных шлифовальных зёрен (в диапазоне углов ориентации Θ=10°÷125°) их передние углы возрастают. У тангенциально ориентированных зёрен (Θ=0°) и зёрен с близкими направлениями ориентации (Θ=135°÷180°) наблюдается обратная картина.

Для исследования величин напряжений, возникающих в шлифовальных зёрнах при различных вариантах их ориентации в теле инструмента, предварительно определялись составляющие силы резания, действующие на зёрна 13AF46 при работе отрезных шлифовальных кругов. С этой целью в процессе обработки заготовок, среди прочих показателей, определялась эффективная мощность резания, исходя из величины которой была установлена тангенциальная составляющая силы резания (P_z=8.46 Н) [2].

После этого цифровым фотоаппаратом в режиме макросъёмки фотографировались участки рабочей поверхности отрезных кругов и производился подсчёт количества зёрен на единице площади поверхности в графическом редакторе Paint. Установлено, что, в среднем, на рабочей поверхности исследуемых кругов число зёрен составляет N_s=2.68 зёрен/мм^2. Исходя из этой величины, а также из площади контакта отрезного круга с разрезаемой заготовкой (S=22.4 мм^2), установлено количество шлифовальных зёрен, одновременно участвующих в работе (N_s=60 зёрен) и величины сил, действующих на единичное шлифовальное зерно на поверхности круга (P_y=0.533 Н; P_z=0.141 Н). Полученные данные позволили произвести расчёт напряжений, возникающих в моделях шлифовальных зёрен марки 13AF46 с различными коэффициентами формы и вариантами ориентации в теле инструмента в программном комплексе SolidWorks. Модели зёрен с различными коэффициентами формы построены на основе данных по оценке передних углов радиально ориентированных зёрен, полученных с помощью программного комплекса [13], [14].

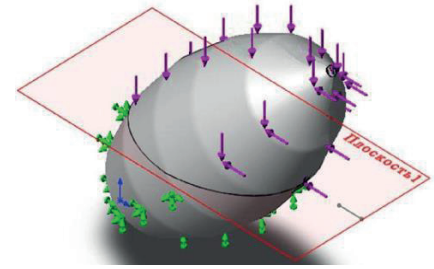
Программные настройки при проведении расчётов напряжений в зёрнах: линейная упругая изотропная модель; материал – нормальный электрокорунд; предел прочности при растяжении $8.5\cdot10^7$ Н/м^2; предел прочности при сжатии $7.6\cdot10^8$ Н/м^2; модуль упругости $3.74\cdot10^{11}$ Н/м^2; коэффициент Пуассона 0.22; массовая плотность 4025 кг/м^3; модуль сдвига $1.5\cdot10^{11}$ Н/м^2; коэффициент теплового расширения $8\cdot10^{-6}$ 1/K. Тип сетки: сетка на твёрдом теле на основе кривизны; 4 точки Якобиана; максимальный размер элемента 0,00968809 мм; минимальный размер элемента 0,00322933 мм. Критерий прочности – критерий максимального нормального напряжения, используемый для хрупких материалов.

К моделям зёрен при различных вариантах их ориентации и глубинах заделки в связку (Рис. 2, *а*, *б*) прикладывались силы, действующие на реальное

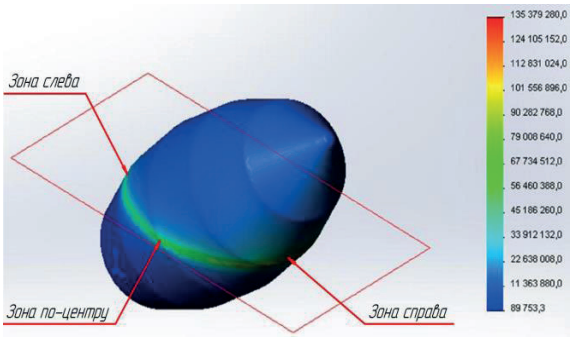
единичное шлифовальное зерно (P_y=0.533 Н; P_z=0.141 Н). При этом установлено, что, в зависимости от конкретного варианта ориентации моделей зёрен, максимальные напряжения возникают на различных их участках по границе заделки в связку.

Для более полного представления о напряженном состоянии моделей шлифовальных зёрен при всех вариантах их ориентации снимались и анализировались данные в трёх характерных зонах по границе заделки в связку: слева, по-центру и справа (Рис. 2, *б*).

Результаты оценки напряжений в модели шлифовального зерна с $K_ф$=2.4 (средний коэффициент формы зёрен в исследуемой фракции) при различных углах ориентации представлены на рис. 3.



а)



б)

Рис. 2. Схема нагружения (*а*) и картина напряжений по границе заделки в связку (*б*) в модели зерна 13AF46 с $K_ф$=2.4 и углом ориентации Θ=45° до 1/2*L* закреплённой в связке.

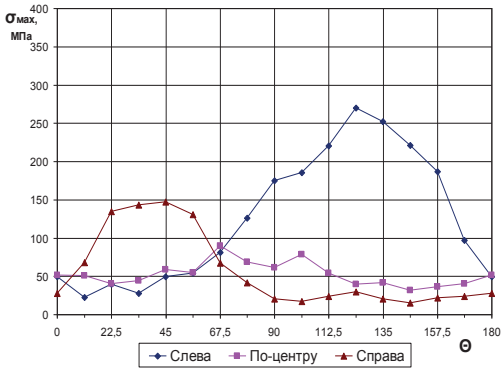


Рис. 3. Напряжения в модели шлифовального зерна 13AF46, закреплённой до 1/2*L*, с $K_ф$=2.4 по границе заделки в связку при различных углах ориентации.

Данные графика (Рис. 3) показывают, что наименьшие напряжения возникают при тангенциальной ориентации модели зерна. Далее, в диапазоне от Θ=11°15′ до Θ=45° происходит существенный рост напряжений, при этом максимальные значения достигаются в «зоне справа» под консолью выступающей части зерна. В следующем диапазоне от Θ=45° до Θ=67°30′ происходит снижение максимальных напряжений до значений, приближённых к варианту тангенциальной ориентации.

При этом, очевидно, что снижение максимальных напряжений при Θ=67°30′ происходит в результате равномерного распределения напряжений в объёме зерна (слева, по-центру и справа) по границе заделки в связку. В свою очередь, такое распределение напряжений достигается за счёт того, что угол ориентации зерна Θ=67°30′ близок к направлению вектора силы резания *P*.

При последующем увеличении угла ориентации в диапазоне от Θ=67°30′ до Θ=123°45′ происходит значительный рост напряжений до наибольших наблюдаемых значений. Максимально нагруженная зона здесь – «зона слева» под консолью выступающей части зерна. Таким образом, полученные данные показывают, что во всех случаях более рациональным является ориентирование зерна вершиной навстречу направлению действия составляющей силы резания P_z.

Дальнейшие исследования по установлению рациональных углов ориентации зёрен с учётом разновидностей их формы ($K_ф$=1.6; $K_ф$=2.4; $K_ф$=3.2; $K_ф$=4.0; $K_ф$=4.8) и глубины заделки в связку выявили аналогичный характер распределения напряжений (Рис. 4).

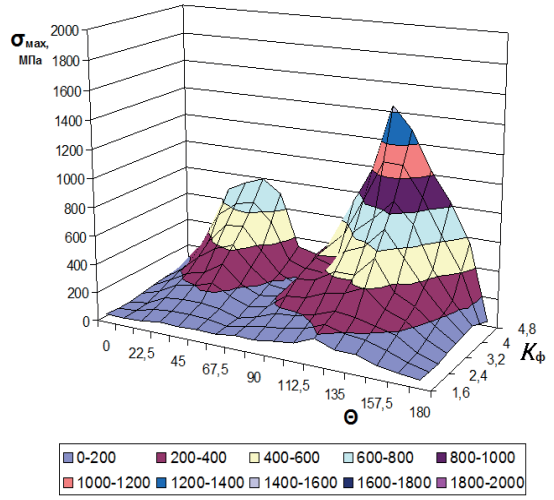


Рис. 4. Зависимости максимальных напряжений в моделях шлифовальных зёрен 13AF46 по границе заделки в связку от угла ориентации (Θ) и коэффициента формы ($K_ф$) при закреплении в связку до 1/2*L*.

Полученные данные (Рис. 4) показывают, что для всех углов ориентации зёрен при увеличении их коэффициента формы максимальные напряжения существенно возрастают. Так, при наиболее рациональном угле ориентации зёрен порядка Θ=67°30′ при переходе от $K_ф$=1.6 до $K_ф$=4.8 (заделка в связку до 1/2*L*) максимальные напряжения возрастают в 4.2 раза. При наименее рациональном угле ориентации в районе Θ=123°75′ при переходе от $K_ф$=1.6 до $K_ф$=4.8 максимальные напряжения возрастают в 7,7 раза.

Выявленная зависимость коррелирует с результатами испытаний по оценке износа и коэффициента шлифования отрезных шлифовальных кругов с контролируемой формой и ориентацией зёрен [2], [11] и позволяет подтвердить их теоретически.

Кроме того, установлено, что с уменьшением глубины заделки зерна в связку максимальные напряжения в зёрнах также ощутимо увеличиваются. При этом, влияние глубины заделки в связку увеличивается с ростом коэффициента формы зёрен.

Выводы

Совместный анализ результатов оценки передних углов и напряжений в ориентированных шлифовальных зёрнах с контролируемой формой позволил сформулировать следующие выводы:

- для достижения максимальных положительных значений передних углов зёрен и максимальной режущей способности шлифовальных инструментов необходимо применять зёрна игольчато-пластинчатой формы (с высокими величинами $K_ф$) и располагать их в инструментах под углами ориентации в диапазоне Θ=22.5°÷45°;
- для обеспечения максимальной стойкости шлифовальных инструментов, при прочих равных условиях, целесообразно использовать зёрна изометрической формы (с минимальными значениями $K_ф$), а также ориентировать шлифовальные зёрна в тангенциальном направлении (Θ=0°);
- шлифовальные инструменты с повышенной режущей способностью и одновременно с достаточно высокой стойкостью можно изготовить, ориентируя шлифовальные зёрна под углами наклона близкими к направлению вектора силы резания P, действующей на инструмент в процессе эксплуатации;
- для шлифовальных кругов, изготавливаемых из зёрен нормальных электрокорундов и используемых для обработки конструкционных сталей, при эксплуатации которых радиальная составляющая силы резания P_y в 3÷5 раз превосходит тангенциальную составляющую P_z, может быть рекомендован рациональный угол ориентации зёрен порядка Θ=65°÷75°.

Литература

[14] A.N. Korotkov, Increase of operational opportunities of grinding tools, Publishing House of Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 2005.
[15] V.A. Korotkov, Increase of operational opportunities of cutting discs, Machine building, Moscow, 2009.
[16] A.N. Korotkov, Operational properties of abrasive materials, Publishing house of Krasnoyarsk University, Krasnoyarsk, 1992.
[17] G.I. Granovsky, V.G. Granovsky, Cutting of metals, High School, Moscow, 1985.
[18] D.B. Vakser, Ways to increase productivity in grinding, Publishing House of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, 2001.
[19] V.N. Tyrkov, Abrasive materials and instruments. Catalogue, All-Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies in Mechanical Engineering and Robotics, Moscow, 1986.
[20] D.A. Pliss, V.A. Anakhin, V.N. Monakhov, Vibration separators, Bowels of the earth, Moscow, 1991.
[21] V.A. Korotkov, Russian Federation Patent 2,369,474. (2009).
[22] A.M. Kovalchuk, Fundamentals of design and manufacturing technology of abrasive and diamond tools, Mechanical Engineering, Moscow, 1984.
[23] V.A. Korotkov, E.M. Minkin, Research of geometrical and strength characteristics of the oriented abrasive grains, J. Sc. Processing of metals. 3 (2012) P. 42-47.
[24] V.A. Korotkov, Research of operational characterizations of cutting discs with oriented abrasive grains // Applied Mechanics and Materials : Trans Tech Publications, doi : 10.4028 / www.scientiffic.net / AMM.682.224 – Switzerland, 2014, Vol. 682(2014) P. 224–230.
[25] V.A. Korotkov, G.M. Rilov, Russian Federation Certificate on official registration of the computer program 2006,613,051 (2006).
[26] V.A. Korotkov, E.M. Minkin, Russian Federation Certificate on official registration of the computer program 2011,614,263 (2011).
[27] V.A. Korotkov, E.M. Minkin, Russian Federation Certificate on official registration of the computer program 2011,615,114 (2011)

«Ресурсосберегающие технологии изготовления и термического упрочнения деталей машин инструментов»

Аз.А.Мухамедов[1], Ш.А.Каримов[1], А.А.Абдулворисов[1]

[1] Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095, karimovsh@mail.ru

Реферат **– Статья посвящена вопросам описания подходов к повышению ресурса работы готовых изделий за счет использования нетрадиционных технологий термического упрочнения деталей машин и инструментов, восстановления и изготовления изделий с применением энерго- и материалосберегающих технологий.**

Ключевые слова **– термическая обработка, упрочнение, инструмент, износостойкость, ресурсосбережение**

В настоящее время в республике изготовления и эксплуатируется большое число машин и инструментов, изготовленных из качественных высоколегированных сталей. Многие из этих деталей производятся в республике, а часть завозится в готовом виде (прокатное оборудование, прецизионные пары топливной аппаратуры). Все эти изделия достаточно дорогие из-за дефицитности самих материалов, а также из-за высокой трудоемкости изготовления или восстановления. Все вышеуказанные изделия термически обрабатываются на высокую прочность и износостойкость.

Поэтому представляется целесообразным подход к данной проблеме, включающей вопросы повышения ресурса работы готового изделия за счет использования нетрадиционных технологий термического упрочнения деталей машин и инструментов, восстановления и изготовления изделий с применением энерго- и материалосберегающих технологий, а также использования в процессе самого термического упрочнения новых охлаждающих сред из компонентов, производимых в Республике Узбекистан.

Современная тенденция развития данного научного направлении входят следующие вопросы:

- разработка нетрадиционных методов термического упрочнения инструментов из высоколегированных сталей с целью резкого увеличения их стойкости и на этой основе экономии легированных сталей;
- выбор типа водорастворимых полимеров, производимых в Республике Узбекистан, для изготовления закалочных сред, заменяющих закалочные масла и позволяющие (в силу их более высоких скоростей охлаждения) заменять легированные стали на углеродистые;
- разработка программ по альтернативному выбору сталей при помощи ЭВМ с целью использования наиболее доступных марок при неизменном уровне износостойкости прочности изделия;
- разработка состава и технологи получения, пористых металлокерамических изделий антифрикционного назначения из порошков, полученных из отходов металлургического производства республики;
- разработка мини-технологий восстановления прецизионных пар топливной аппаратуры, изготовленных из высоколегированных сталей с целью продления срока их службы без применения специального оборудования и большого объема ремонтных изделий;
- разработка восстановительной термической обработки изделий из жаропрочных сталей, выработавших ресурсный срок эксплуатации, с целью восстановления структуры и свойств. При этом происходит резкое сокращение расхода легированных сталей.

Значительная часть из указанных задач уже решена, другие находятся в стадии решения. Разработка и применение нетрадиционных видов термического упрочнения инструментов из легированных сталей позволяет в максимальной мере использовать потенциальные возможности сплава, т.к. при этом формируется структура с высокой плотностью дислокаций, мелким аустенитным зерном, дисперсной и равномерно распределенной второй фазой. При этом у ряда сталей наблюдается повышение теплостойкости. Такое оптимальное соотношение структурных параметров достигается путем проведения двойной фазовой перекристаллизации, благодаря которой достигается оптимизация структурного строения [1,2]. Разработанные нетрадиционные режимы термической обработки были использованы при производстве различных деталей машин и инструментов: упругие элементы из стали 65Г, лопасти дробеметных аппаратов из стали ШХ15, штампы холодной и горячей штамповки из сталей 9ХС, 5ХНМ, 4ХМСФ, прокатные валки из стали 3Х2В8Ф. Ряд режимов нетрадиционной термической термообработки касался изделий из сталей 3Х3М3Ф, Р6М5, Р6М5Ф3МП, Д5.

Как известно, основной операцией термического упрочнения является закалка с проведением охлаждения в воде, масле или других средах. Охлаждающая среда выберается в соответствии с требованиями прокаливаемости и уровнем возникающих внутренных напряжений. При закалке легированных сталей охлаждение водят главным образом, в минеральных маслах. При проведении закалки в подавляющем большинстве случаев требуется необходимая прокаливаемость. Прокаливаемость углеродистых сталей при закалке в масло очень низкая, а при закалке в воду очень высока вероятность образования трещин. Закалочные среды на основе водорастворимых полимеров занимают промежуточное положение. Нами исследовались состав и охлаждающая способность закалочных сред на основе сополимера акриловой кислоты и акриламида, выпускаемого под торговой маркой «Унифлок». Этот препарат производится «Навоиазот». Разработка закалочной среды позволяет изготовлять изделия из углеродистой стали вместо легированной.

Как правило, термически обработанные изделия должны отвечать вполне определенным требованиям по прочности, твердости, износостойкости. Твердость и прочность не везде характеризуют износостойкость, хотя общая зависимость и существует. Разработка методов в альтернативных вариантов «материал-термооработка» представляет большой интерес позволяет экономить легированные стали. Это работа находится на начальной стадии, но полагает выбор вариантов при помощи ЭВМ, на основе законов диффузии и сочетания структурных параметров термически обработанной стали.

Один из способов экономии легированных сталей - это восстановление рабочих размеров деталей, изготовленных из этих сталей. В настоящее время в Узбекистане работает больше 100 тыс. тракторов и большое количество дизельных автомобилей. Наиболее дорогостоящие детали у них – это детали топливной аппаратуры. Восстановление прецизионных пар (плунжерные пары топливных насосов, распылители форсунок) возможно только при наличии огромного ремонтного фонда и специального оборудования.

Прецизионные пары изготовляют из легированных или азотируемых сталей 18Х2Н4МА, 25Х5М, ШХ 15. Нами была разработана мини-технология восстановления рабочих размеров, исключающая необходимость применения специального оборудования и большого ремонтного фонда. Таким образом, восстановление оказывается возможным в условиях мелких ремонтных предприятий.

Большой интерес представляют результаты исследований по восстановительной термической обработке труб паропроводов тепловых электростанций.

В наших исследованиях применялась восстановительная термическая обработка путем проведения нормализации с индукционным нагревом с последующим отпуском.

В результате проведения такой термической обработки восстанавливались структура и механические свойства, как при комнатной, так и при рабочих температурах, до уровня требований технических условий. Были составлены временные технологические инструкции по проведению восстановительной термической обработки труб паропроводов, которые внедрены в производство со значительным экономическим эффектом.

Таким образом, разработка комплексных мероприятий по энерго- и материалосбережению и экологической чистоте в машиностроении и металлургии – наиболее актуальное направление настоящего времени.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Рахматов Б.С., Мухаммедов Аз.А. Влияние термической предыстории на величину зерна при фазовой перекристаллизации теплостойких сталей типа 3Х3М3Ф и 3Х2В8Ф. Сб. научных трудов ТГТУ,Ташкент 1997. С. 70-74

[2] Мухаммедов Аз.А., Рахматов Б.С. Изменение параметров тонкой структуры при дисперсионном твердении наплавленных сталей 3Х2В8Ф. – Вестник ТГТУ, 1998, NN 1,2 С. 114-118

[3]

Остаточные напряжения в покрытиях, формируемых ионно-плазменным методом

Р.Х. Сайдахмедов, К.К. Кадырбекова

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095, Niso_51@mail.ru

Реферат **- в статье приводится обзор причин возникновения остаточных напряжений, оказывающих влияние на свойства ионно-плазменных покрытий. Приведена методика расчёта остаточных напряжений, результаты данных расчетных и экспериментальных величин остаточных напряжений и заключение по выполненной работе.**

Ключевые слова **- остаточные напряжения, покрытия, модуль упругости, коэффициент Пуассона, подложка, толщина слоя, адгезия, нестехиометрический состав, сжимающие и растягивающие напряжения, рентгенография, эксперимент, расчет.**

Величина и знак остаточных напряжений в значительной степени влияют на эксплуатационные свойства изделий с покрытиями. От величины остаточного (внутреннего) напряжения зависит максимально допустимая толщина покрытия, которое может быть осаждено без опасности его отслаивания каким – одним из методов PVD (Physical Vapour Deposition), CVD (Chemical Vapour Deposition), или методом термического напыления.

Остаточные напряжения в ионно-плазменных покрытиях возникают за счет разности физико-механических свойств подложки и покрытия. Существенное влияние на остаточные напряжения оказывают модуль упругости и коэффициент термического расширения. Известно [1], что остаточные напряжения, возникающие в процессе напыления, являются основной причиной разрушения покрытий.

В процессе ионно-плазменного напыления расплавленные частицы с большой скоростью ударяются о подложку, деформируются и закрепляются на ней за счет сил сцепления. При кристаллизации такой, отдельно взятой, частицы возникают остаточные напряжения второго рода, которые уравновешиваются в объеме одной частицы. Образование напряжений также обусловлено примесями, инородными включениями, границами блоков, различием коэффициентов термического расширения и параметров кристаллических решеток, фазовыми и структурными превращениями.

В тонких пленках напряжения могут возникнуть при их осаждении вследствие различия коэффициентов термического расширения материалов подложки и конденсата. Межатомное взаимодействие, особенно на стадии зарождения, на границе раздела подложка – пленка, еще один источник напряжений, влияние которого, впрочем, снижается с увеличением толщины пленки. Ионная бомбардировка в процессе осаждения пленки увеличивает напряжения посредством смещения атомов из узлов кристаллической решетки, в которых они обладают минимальной энергией, особенно в пленках тугоплавких металлов.

Для прогнозирования оптимальных напряжений в покрытиях используются как экспериментальные, так и расчетные методы их определения. Расчетные методы позволяют, используя известные данные по физико-механическим свойствам покрытий (модуль упругости, коэффициенты термического расширения и Пуассона), оперативно определять величину и знак остаточных напряжений в покрытии и подложке.

В работе [2] предложен метод расчета температурных напряжений в трехслойной оболочке. В данной работе указанная методика усовершенствована с целью определения напряжений в 10-ти слоях.

Эта методика расчета напряжений в многослойных и многокомпонентных покрытиях учитывает различные сочетания материалов, как подложки, так и защитных слоев. Учитываются не только

механические характеристики материалов (модуль упругости и коэффициент Пуассона), но и теплофизические свойства (коэффициент линейного расширения). При расчете можно задавать в широких пределах толщину каждого слоя, его температуру и физико – механические свойства.

Для упрощения расчетов температурных напряжений в многослойном покрытии, если это не противоречит технологии формирования покрытий, делаются следующие допущения:

1) температура каждого слоя и подложки равны между собой. Это предположение делается с учетов возможности современных установок вакуумного напыления обеспечить регулирование величины и энергии потока падающих частиц таким образом, чтобы энергия тепловых клиньев, возникающих на поверхности изделия, успевала рассеиваться до подлета следующего иона. При этом температура поверхности не будет резко возрастать и существенно отличаться от температуры в подложке. Это подтверждают расчеты, выполненные в работах [3] – [7];

2) модули упругости, коэффициенты Пуассона и линейного расширения могут быть различными в каждом слое.

В работе [2] показано, что при некоторых, достаточно общих условиях напряженное состояние в многослойных покрытиях можно считать плоским. Там же доказана инвариантность температурных напряжений и деформаций относительно направлений

$$\sigma_{ix} = \sigma_{iy} = \sigma_i \; \varepsilon_{ix} = \varepsilon_{iy} = \varepsilon_i$$

Условие совместной работы слоев 1, 2 и равновесия элемента оболочки 3 приводят к следующим уравнениям:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \ldots = \varepsilon_n$$

$$\sigma_1 h_1 + \sigma_2 h_2 + \ldots + \sigma_n h_n = 0 \qquad (1.1)$$

Выразим ε через σ из обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{E_i}\left(\sigma_i - \mu_i \sigma_i\right) + \alpha_i \Delta T_i = \frac{1-\mu_i}{E_i}\sigma_i + \alpha_i \Delta T_i$$

(1.2)

$i=1,\ldots,n$.

Подставив (1.2) в 1-е уравнение (1.1), получим:

$$\frac{1-\mu_i}{E_i}\sigma_i + \alpha_i \Delta T_i = \frac{1-\mu_1}{E_1}\sigma_1 + \alpha_1 \Delta T_1 \qquad (1.3)$$

$i=2,\ldots,n$.

Дополнив (1.3) тожеством $\varepsilon_1 = \varepsilon_1$, перепишем (1.3) следующим образом

$$\frac{1-\mu_i}{E_i}\sigma_i + \alpha_i \Delta T_i = \frac{1-\mu_j}{E_j}\sigma_j + \alpha_j \Delta T_j \qquad (1.4)$$

$i=1,\ldots,n$.или

$$\sigma_i = \frac{E_i}{1-\mu_i}\left(\frac{1-\mu_j}{E_j}\sigma_j + \left(\alpha_j \Delta T_j - \alpha_i \Delta T_i\right)\right)$$

, (1.5)

Помножим каждое уравнение системы (1.5) на h_i и просуммируем по числу слоев:

$$\sum_i \sigma_i h_i = \sum_i \left[\frac{E_i h_i}{1-\mu_i}\left(\frac{1-\mu_j}{E_j}\sigma_j + \left(\alpha_j \Delta T_j - \alpha_i \Delta T_i\right)\right)\right]$$

(1.6)

Правая часть уравнения (1.6) равна нулю (см. 2-е уравнение (1.1)).

Тогда

$$\frac{1-\mu_j}{E_j}\sigma_j \cdot \sum_i \frac{E_i h_i}{1-\mu_i} = \sum_i \frac{E_i h_i \alpha_i \Delta T_i}{1-\mu_i} - \sum_i \frac{E_i h_i}{1-\mu_i}\alpha_j \Delta T_j$$

, (1.7)

Отсюда

следует $\sigma_j = \frac{E_j}{1-\mu_j}\left[\frac{\sum_i \frac{E_i h_i \alpha_i \Delta T_i}{1-\mu_i}}{\sum_i \frac{E_i h_i}{1-\mu_i}} - \alpha_j \Delta T_j\right]$,

(1.8)

где E_j, μ_j, $\alpha_j, \Delta T_j$ - модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент линейного расширения, разность конечной и начальной температур слоя, в котором определяются остаточные напряжения σ_j; E_i, μ_i, $\alpha_i, \Delta T_i$, h_i - модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент линейного расширения, разность температур и толщина для слоя с этим номером; $\Delta T_j = T_к - T_н$; $\Delta T_i = T_к - T_н$, $T_к$,$T_н$ –конечная и начальная температура (температура осаждения) Это справедливо для напряжений в любом слое с номером *j* от 1 до *n*.

На основе полученных решений нами была составлена программа для расчета остаточных напряжений в многослойных покрытиях (учитывая и подложку). Были рассчитаны остаточные напряжения для покрытий на основе Ti, Zr, Nb, TiN, ZrN и NbN. Расчеты остаточных напряжений в покрытиях на основе нитридов титана, циркония и ниобия производились с учетом наличия подслоя соответствующих металлов, образующих эти нитриды.

Во всех рассмотренных случаях расчетные и экспериментально определенные напряжения являются сжимающими, а в подложке – растягивающими. Максимальные растягивающие напряжения находятся в поверхностном слое

подложки. Удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных данных, по характеру напряженного состояния получена на образцах с покрытиями на основе на основе Zr, Nb и $TiN_{0,84}$ (см. табл.1.). Следует отметить, что со снижением температуры конденсации покрытий величина остаточных напряжений в них уменьшается.

Существенное влияние на величину остаточных напряжений оказывает нестехиометрический состав нитридных покрытий, причем это подтверждается как расчетными, так и экспериментальными данными. В частности, у образцов с покрытиями на основе нитрида титана величина сжимающих напряжений возрастает с уменьшением содержания азота в нитриде.

При формировании покрытий на основе нитрида циркония зависимость величины сжимающих напряжений от содержания азота в нитриде имеет экстремальных характер: максимальные сжимающие напряжения характерны для нитрида состава $ZrN_{0,86}$, а минимальные – для $ZrN_{0,75}$ и $ZrN_{1,0}$

При плазменном напылении в вакууме тепловые явления и остаточные напряжения играют существенную роль в процессе формирования покрытий, поскольку знак и величина напряжений оказывает большое влияние на адгезию покрытия с основой. Для прогнозирования оптимальных напряжений в покрытиях используются как экспериментальные, так и расчетные методы их определения. Расчетные методы позволяют, используя известные данные по физико-механическим свойствам покрытий (модуль упругости, коэффициенты термического расширения и Пуассона), оперативно определять величину и знак остаточных напряжений в покрытии и подложке. Поэтому разработка метода прогнозирования величины и знака остаточных напряжений в покрытии и подложке представляет большой практический и интерес.

Таблица 1 Расчетные и экспериментальные остаточные напряжения в покрытиях

Покрытие	Расчетные напряжения, МПа для $T_к$, °С				Экспериментальные напряжения, МПа	
	200	300	400	550	Данные РСА	Лит. данные
Ti	-214	-332	-451	-630	-2427±748	-
Zr	-211	-329	-446	-624	-163±75	-
Nb	-308	-480	-651	-908	-1300±65	-
TiN	-760	-1138	-1606	-2244	-4457±944	-1200…-2100±90 28] -700…-1200 [1]
ZrN	-895	-1397	-1889	-2635	-39±235	-480±90 [19] -700…-1000 [1]
NbN	-758	-1179	-1600	-2232	-	-

Примечание: толщина покрытий 2-4 мкм.

Рассчитаны остаточные напряжения в покрытиях на основе Ti, Zr, Nb, TiN_x, ZrN_x и NbN. Расчеты остаточных напряжений в нитридных покрытиях проводились с учетом наличия подслоя соответствующих металлов, образующих эти нитриды.

Рентгенографическим методом проведено экспериментальное определение остаточных макронапряжений. Макронапряжения определялись в рамках выбранной модели упруго-напряженного состояния исследуемого поверхностного слоя, с учетом величины деформации решетки. При толщине слоя, не превышающей 10-20 мкм, напряжения определяли в рамках модели плосконапряженного состояния.

Результаты исследований показывают, что во всех рассмотренных случаях расчетные и экспериментально определенные напряжения являются сжимающими, а в подложке – растягивающими. Максимальные растягивающие напряжения находятся в поверхностном слое подложки.

Получена удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных данных по характеру напряженного состояния на образцах с покрытиями на основе $TiN_{0,84}$, Zr и Nb. Установлено, что со снижением температуры конденсации покрытий величина остаточных напряжений в них уменьшается.

Показано, что существенное влияние на величину остаточных напряжений оказывает химический состав (наличие нестехиометрии) нитридных покрытий, причем это подтверждается как расчетными, так и экспериментальными данными. В частности, у образцов с покрытиями на основе нитрида титана величина сжимающих напряжений возрастает (по абсолютной величине) от – 2244 до – 5250 МПа с уменьшением содержания азота в нитриде от $TiN_{1,0}$ до $TiN_{0,68}$. При формировании покрытий на основе нитрида циркония зависимость величины сжимающих напряжений от содержания азота в нитриде имеет экстремальный характер: максимальные сжимающие напряжения характерны для нитрида состава $ZrN_{0,86}$, а минимальные – для $ZrN_{0,75}$ и $ZrN_{1,0}$.

Литература

[1] Барвинок В.А., Богданович В.И. Расчет остаточных напряжений в плазменных покрытиях с учетом процесса наращивания// Физика и химия обработки материалов, 1981., №4, С. 95-100.

[2] Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
[3] Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. 384с.
[4] Готт Ю.В. Взаимодействие частиц с веществом в плазменных исследованиях. М.: Атомиздат. 1978. 271с.
[5] Каминский М.А. Атомные и ионные столкновения на поверхности металлов. М.: Мир. 1967. 506с.
[6] Ройх И.Л., Колтунова Л.Н., Федосов С.Н. Нанесение защитных покрытий в вакууме. М.: Машиностроение. 1976. 367с.
[7] Холлэнд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме. М.: Госэнергоиздат. 1963. 608с.

«Влияние конструкции привода насоса гидронавесной системы на энергетические показатели трактора «АЛТРАК» Т-4А2»

Хажиев М.Х. - доц., Туркменов Х.И. - доц., Мирнигматов Б.Т. - асс.

Ташкентский институт ирригации и мелиорации

Реферат **– Работа посвящена исследованию влияния конструкции привода насоса гидронавесной системы на энергетические показатели трактора “Алтрак” Т-4А2. Предложено установить на приводе насоса гидросистемы муфты управления, включаемые только в момент подъема рабочего органа машины, в конце гона и в аварийных случаях.**

Ключевые слова **– насос, гидронавесная система, привод**

Все современные сельскохозяйственные, мелиоративные, строительные и промышленные тракторы оснащаются раздельно-агрегатными гидронавсесными системами, для управления навесными, полунавесными или прицепными машинами и орудиями. В некоторых случаях гидронавесная система служит для передачи мощности к узлам и агрегатам навесной, полунавесной и прицепной машины через гидравлического ВОМ трактора.

В основном, в них устанавливаются нерегулируемые насосы, применение которых заставляет использовать неэффективные дроссельные устройства [1]. Они вызывают дополнительный нагрев масла, что приводит к значительным потерям мощности в гидросистеме трактора. При этом давление масла 14-20 мПа создаваемой насосом гидросистемы, используется в основном только в момент подъема рабочего органа машины, а в других случаях гидронавесная система работают почти вхолостую, т.е. рабочая жидкость протекает через перепускной клапан гидрораспределителя и сливается в бак гидросистемы.

Специфика работы гидропривода трактора требует управлять состоянием рабочих органов машин и орудий, кратковременным воздействием на рычаги управления гидрораспределителя. В положении «подъем» привод шестеренчатого насоса гидросистемы тракторов класса 0,9-4 тн потребляет до 10-15 кВт мощности, а в положении “опускание”, при “нейтральном” и “плавающем” положениях расход мощности на приводе насоса гидросистемы снижается до 4 кВт [2, 3].

Время «подъема» золотника гидросистемы состоит из времени начало движения, времени доведения давления рабочей жидкости до необходимого уровня и времени подъема рабочего органа машины или орудия. По данным [3, 4] это время колеблется от 2 до 4 с и составляет 0,2 – 0,6 % общей времени использования МТА.

В целях снижения потерь мощности в гидросистеме и повышения эффективности использования МТА нами предложено, установить на приводе насоса гидросистемы трактора “Алтрак” Т-4А муфты управления, включаемые только в момент подъема рабочего органа машины, в конце гона и в аварийных случаях, при вынужденной необходимости.

Анализируя конструкции трансмиссии и схему привода насоса гидросистемы трактора “Алтрак” Т-4А предлагается установить муфта управления насоса гидросистемы между приводной шестерней трансмиссии и шестеренчатым насосом гидросистемы, который управляется четырехзвенным механизмом (приводом муфты) с помощью дополнительной педали, установленной в кабине трактора. Еще есть дополнительные возможности включить насос с помощью рычага включения насоса гидросистемы трактора. Схема привода насоса гидронавесной системы трактора с муфтой управления приведена на рис.1.

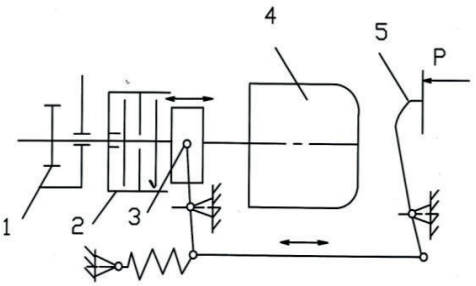


Рис.1.Схема привода насоса раздельно-агрегатной гидронавесной системы трактора “Алтрак” Т-4А с муфтой управления: 1-приводная шестерня; 2-муфта управления; 3-отводка; 4-насос гидронавесной системы; 5 педаль управления.

В целях установления влияние конструкции привода насоса гидронавесной системы на энергетические показатели трактора “Алтрак” Т-4А2 нами проведены теоретические исследования. Результаты этих исследований приведены в виде графических зависимостей на рис. 2 и рис. 3. Эти зависимости характеризирует влияние конструкции привода насоса гидронавесной системы и усилия на крюке трактора - Ркр на тяговый к.п.д. (основного энергетического показателя трактора) (рис. 2) и влияние конструкции привода насоса гидросистемы и передач (скорости движения) на удельный расход топлива по крюковой нагрузке трактора $G_{кр}$ (кг/кВт·ч) трактора (рис. 3).

Из рис. 2 и 3 видно, что при использовании трактора “Алтрак” Т-4А2 с муфтой управления, в процессе выполнении сельскохозяйственных и водохозяйственных работ на передачах трактора III, IY, Y, YI и YII, повышается тяговый к.п.д трактора на 5-15%, снижается удельный расход топлива по крюковой нагрузке до 15% и значительно улучшается эффективность работы МТА в целом.

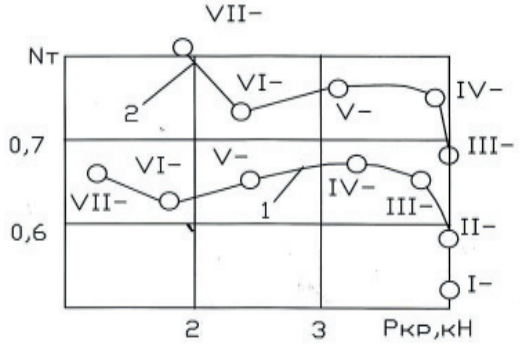


Рис. 2. Влияние конструкции привода шестеренчатого насоса на тяговый к.п.д. трактора Nт: 1- без муфты; 2- с муфтой управления; Ркр – тяговые усилия на крюке трактора, кН.

Хотя, при применении трактора с приводом насоса гидронавесной системы с муфтой управления на I и II передачах тяговый к.п.д. трактора не изменяется, но часть мощности двигателя трактора, освобождаемой на этих передачах, может быть эффективно использована для выполнения сельскохозяйственных и водохозяйственных работ с машинами и орудиями, которые имеют активные рабочие органы и получают мощности от ВОМ трактора. Если нет такой необходимости, то при использовании трактора «Алтрак” Т-4А2 с сельскохозяйственными и водохозяйственными машинами и орудиями происходит снижение расхода топлива двигателя трактора до 2,5 – 3,5 кг в час, что также показывает эффективность предложенной конструкции привода насоса гидронавсесной системы с муфтой управления.

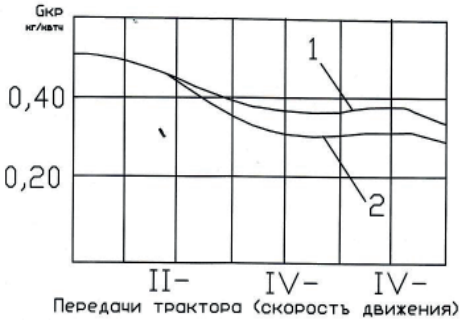


Рис.3. Влияние конструкции привода насоса гидронавесной системы на расход топлива по крюковой нагрузке ($G_{кр}$): 1-без муфты; 2 - с муфтой управления; I - YII передачи трактора (скорость движения).

Кроме того, использования трактора с муфтой управления значительно снижает нагрев рабочей жидкости в процессе работы трактора, это приводит к сохранению стабильности физико-механических свойства рабочей жидкости и повышает срок службы агрегатов и узлов гидросистемы трактора.

С учетом особенностей сельскохозяйственного и водохозяйственного производства региона Центральной Азии, где в основном используется тракторы “Алтрак” Т-4А2, предлагается установить на приводе насоса гидросистемы многодисковую мокрую фрикционную муфту, применение который обеспечивает плавность включения и передачу больших крутящих моментов, при относительно небольших габаритах и силах сжатия дисков трения и это позволяет избежать большие динамические нагрузки при пуске системы. Установка этих муфт на трактор не требует существенной корректировки конструкции привода насоса гидросистемы трактора.

Выводы

В целях снижения потерь мощности в гидросистеме и повышения эффективности использования МТА нами предложено установить на приводе насоса гидросистемы трактора “Алтрак” Т-4А2 муфты управления, включаемые только в момент подъема рабочего органа машины в конце гона и в аварийных случаях при вынужденной необходимости.

При использовании данного трактора с муфтой управления, в процессе выполнении сельскохозяйственных и водохозяйственных работ на передачах трактора III, IY, Y, YI и YII, повышается тяговый к.п.д трактора на 5-15%, снижается удельный расход топлива по крюковой нагрузке до 15% и значительно улучшается эффективность работы МТА в целом.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гинзбург А. А. Дроссельное регулирование в гидросистемах и адаптация гидропривода к нагрузке (LS-принцип) // Курс лекций для

студентов специальности 1-36.01.07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин». – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 77 с.

[2] Коваль А.А., Самородов В.Б. Влияние составляющих крюковой нагрузки на основные технико-экономические показатели колесного трактора на пахоте // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3, М.:2007.–С.15-17.

[3] Самородов В.Б., Лебедев А.Т. Митропан Д.М., Сергиенко Н.Е. Рациональное агрегатирование тракторов на вспашке // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №11, М.: 2004. – С. 43-55.

[4] Самсонов В.А. Оценка эффективности и сравнение тракторов при проектировании и модернизации // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3, М.: 2006. – С.11-16.

Внедрение технологии сквозного цифрового проектирования в рамках научно-исследовательской работы студентов и аспирантов

Е.А. Чернышов, А.Д. Романов, Е.А. Романова

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева, РОССИЯ
603095 г. Нижний Новгород, ул. Минина д. 24, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru

Реферат **В статье приведен пример успешной реализации внедрения сквозного цифрового проектирования при выполнении научно-исследовательской работы молодежным коллективом в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева.**
Системы сквозного цифрового проектирования, на современном этапе, включают в себя не только системы компьютерного моделирования, но и обладают возможностью быстрой реализации конструкторских и технологических решений с применением технологий быстрого прототипирования. Реализация принципа сквозного проектирования базируется на использовании трехмерных моделей на всех стадиях технологической подготовки, это позволяет исключить ошибки, неизбежно возникающие при переводе информации из одного формата в другой, и снижает влияние человеческого фактора.

Сквозное цифровое проектирование позволяет снизить себестоимость продукции, повысить эффективность и качество, обеспечить сквозное управление проектом в условиях групповой работы.

Ключевые ***слова*** **- сквозное цифровое проектирование, управление проектами, обучение, студент, 3Д принтер, 3Д сканер, роботоризированный фрезерный комплекс.**

I. Введение

В соответствии с современной концепцией сквозного цифрового проектирования предполагает выполнение всех проектных и технологических работ в едином информационном пространстве, причем оптимизация технологий и конструкторская проработка проекта ведется одновременно и параллельно. Это позволяют быстро и точно изменять конструкторскую и технологическую документацию.

Основными преимуществами сквозного проектирования являются:

- 3D модель, доступная для всех приложений, включая линейные, статические, тепловые, прочностные, усталостные расчеты, визуализацию, доработку геометрии с учетом испытаний, возможность параметрического задания технологических данных;
- повышение качества конструирования и достоверности передаваемой в производство информации;
- обеспечение согласованности, контролируемости, доступности информации о состоянии объекта, информационной поддержки принятия управленческих решений с учетом всех этапов жизненного цикла продукции;
- сокращение сроков и снижение стоимости вывода на рынок новой продукции;
- поддержка актуальной технологической информации.

II. Обсуждение

При внедрении сквозного проектирования зачастую возникает не финансовая проблема - острый дефицит высококвалифицированных специалистов, владеющих современными технологиями, способных разрабатывать и внедрять конкурентоспособную технику и технологии. Основным противоречием российского высшего технического образования сегодня является несоответствие профессиональных компетенций, приобретаемых выпускниками технических вузов в процессе обучения и возросшим требованиям высокотехнологичных предприятий, проектных и научных организаций. Учитывая это, становится актуальным термин «опережающие технологии», под которыми понимают принципиально новые технологии, обеспечивающие лидерство на мировом рынке и новое инженерное образование должно обгонять «опережающие технологии». Знания, полученные в учебных заведениях, стремительно устаревают, возрастает необходимость их существенного обновления. В США существует понятие "период полураспада компетентности", этот термин означает продолжительность времени со дня окончания вуза, в течение которого компетентность специалистов

вследствие появления новой информации и знаний снижается на 50% и этот период постоянно сокращается.

При этом специалист, занимающийся разработкой технологических процессов с применением компьютерного моделирования, должен быть инженером-технологом. Так как проще обучить инженера работе с программным обеспечением, чем программиста – основам той или иной технологии. От умения специалиста правильно оценить результаты моделирования и находить оптимальные технические решения зависит не только эффективность работы системы технологической подготовки производства, но и целесообразность применения компьютерных технологий [1, 2].

В настоящее время практически все специализированное программное обеспечение, применяемое при конструировании, имеет возможность интеграции с системами CAD высокого уровня – Creo Elements/Pro, Siemens NX, CATIA. Это позволяет например обеспечить создание технологической оснастки, выполненную роботизированными фрезерными комплексами по 3D модели и выкладку на ней препегов или ткани с использование лазерных проекторов [3].

Применительно к металлургии и литейному производству CAD приложения позволяют оптимизировать модель детали и литниковой системы в целях оптимального расположения точки (точек) постановки питающей прибыли по результатам конечно-элементного моделирования процесса кристаллизации и затвердевания металла залитого в форму, геометрических характеристик питающей прибыли, определения оптимальной точки подвода литниково-питающей системы к литниковой модели, выбрать оптимальный тип литниково-питающей системы ее геометрии, технологические параметры литейной технологии (время и скорость заливки, оптимальная температура заливки и т.п.). В качестве методики моделирования используется метод конечных элементов, который базируется на уравнениях тепломассопереноса в интегральном виде. На рисунке 1 представлены результаты моделирования в LVMFlow CS одного из возможных вариантов технологии изготовления отливки корпус подшипника [4].

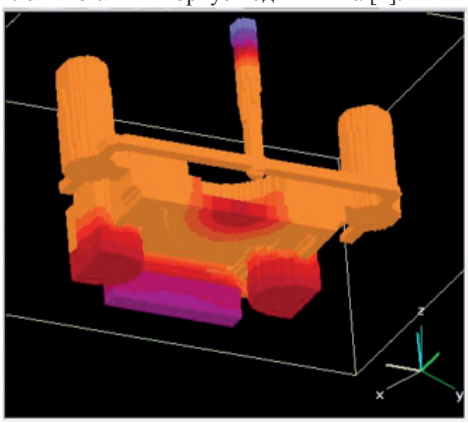


Рис. 1. Результаты моделирования усадочных дефектов по объему отливки

Принципиально важная и трудно преодолимая проблема компьютерного моделирования – достоверность используемой базы данных, поскольку точность прогнозов полностью зависит от моделей поведения материалов, заложенных в расчет. Важно правильно задать механические и теплофизические свойства применяемых материалов. В статье [5] приведен пример, в котором месторасположение, размеры и характер реально выявленных дефектов оказались не такими, как в компьютерных расчетах.

В конструкторской практике прочность рассчитывают в предположении равномерного распределения механических свойств и нулевого уровня исходных остаточных напряжений в нагружаемой конструкции. Вместе с тем, любая технология изготовления привносит свою специфику в структуру и свойства детали. Особенностью литой детали является неравномерное распределение двух важнейших параметров, определяющих прочность, а именно плотность металла и размер зерна. Оба параметра в значительной степени зависят от обеспечения направленности и скорости затвердевания. Наибольшее снижение прочности происходит в тепловых узлах, где при кристаллизации формируются более крупные зерна и за счет усадочных дефектов снижается плотность металла, которую невозможно устранить при последующей термообработке.

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева внедряется в процесс подготовки студентов, магистров и аспирантов полный цикл технологий сквозного цифрового проектирования. Одним из примеров могут служить работы, выполняемые в рамках международного технического проекта «Formula SAE», инженерных соревнований по созданию спортивных автомобилей, проводимых Ассоциацией инженеров-механиков (ImechE), обществом автомобильных инженеров США (SAE) и Ассоциацией инжиниринга и технологий (I&T), входящие в Серию Студенческих Инженерных соревнований (Collegiate Design Series) SAE.

В рамках реализации данного проекта были изготовлены различные элементы спортивного автомобиля с использованием технологий сквозного цифрового проектирования и применения цифровых технологий производства и быстрого прототипирования. Проект был построен на основе взаимодействия студентов, магистров, аспирантов - участников проекта «Formula SAE» с преподавательским составом, а также взаимодействия с ведущими предприятиями Нижнего Новгорода.

Проектирование и оценка прочности и безопасности элементов конструкции спортивного автомобиля класса «Формула Студент» НГТУ им. Р.Е. Алексеева (Рис. 2) проводились на основе применения расчетных методов и программных пакетов конечно-элементного моделирования. Полученные результаты послужили основой для реализации последующих этапов сквозного проектирования и материализации элементов спортивного автомобиля [6].

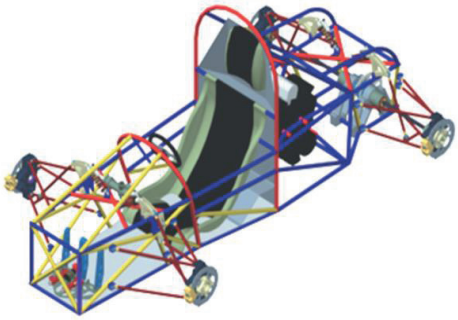


Рис. 2. Трехмерная модель спортивного автомобиля

Ключевым этапом в используемой технологии и технологическом оборудовании стало создание трехмерной компьютерной (CAD) модели будущего изделия. Данный этап позволяет с минимальными затратами на ресурсы и небольшой трудоемкостью процесса создать трехмерную модель изделия, оценить эргономику и дизайн, провести компьютерный анализ аэродинамических и прочностных характеристик, а также при необходимости внести корректирующие изменения в конструкцию, нацеленные на увеличение функциональности рабочей модели [7].

Рис. 3. Спортивный автомобиль класса «Формула Студент»

Примерами выполненных работ с использованием сквозного цифрового проектирования являются полученные элементы модельной оснастки для изготовления стеклопластиковых панелей аэродинамического обвеса. Для производства модельной оснастки аэродинамического обвеса спортивного автомобиля класса «Формула Студент» применялся промышленный робот «KUKA». Данный комплекс предназначен для решения различных задач, связанных с изготовлением производственной оснастки из легкообрабатываемых материалов: древесина, пластик, гипс. Таким образом оказывается возможным в достаточно короткие сроки и с минимальными ресурсными и трудовыми затратами получить изделие с достаточной точностью, погрешностью в 0,1 мм. Полученные модели на всех этапах проектирования позволили детально представить компоновочную структуру узлов спортивного автомобиля и оценить функциональные кинематические возможности. В результате проведенных работ, полученная модельная оснастка послужила пуансоном для ручной выкладки стеклотканью (армирующим материалом), предварительно пропитанной полиэфирной смолой.

Для изготовления отдельных элементов конструкции применялись технологии цифрового производства с изготовлением прототипов деталей на 3D принтере из пластиковых материалов. Так например, были изготовлены детали коромысел передней и задней подвески, модель поворотного кулака, главного тормозного цилиндра, крепление цифрового сервопривода системы переключения скоростей и др. На основе полученных трехмерных моделей элементов спортивного автомобиля были изготовлены литейные песчаные формы, используемые для заполнения алюминиевым сплавом. Полученные заготовки подвергались дополнительной механической обработке и интегрировались в конструкцию спортивного автомобиля (Рис. 3).

Выводы

Успешная реализация проекта показывает, что внедрение сквозного цифрового проектирование в настоящее время доступно даже в условиях молодежного коллектива в высшем учебном заведение за сравнительно короткий срок. При этом комплексный подход с использованием современного оборудования позволяет подготовить квалифицированных специалистов для промышленности, которые на практике осваивают полный цикл изготовления сложных изделий, способных после окончания института сразу приступить к работе с современным наукоемким оборудованием и передовыми технологиями [8].

В перспективе на базе центра коллективного пользования научным оборудованием НГТУ, институтом транспортных систем и институтом физико-химических технологий и материаловедения планируется проведение образовательных программ для обучения как студентов, так и инженеров работе с новыми технологиями, а также обеспечение проведения НИОКР научными коллективами области.

Литература

[5] Чернышов Е.А., Романов А.Д. Об опыте обучения студентов инженерных специальностей основам управления проектами. // Международный журнал экспериментального образования. - 2014. - № 1. - С. 54-57.

[6] Г. М. Пономаренко, С.М. Глебов, В.Ю. Пирайнен Практические вопросы компьютерного моделирования. // Литейное производство - № 8 - 2008 - с 29-31 (2)

[7] Чернышов Е.А., Романов А.Д. Современные технологии производства изделий из композиционных материалов. // Современные наукоемкие технологии.- 2014. - № 2. - С. 46-51.

[8] Чернышов Е.А., Романов А.Д. Внедрение в учебный процесс подготовки кадров технологий быстрого прототипирования. // Литейные процессы. - 2012. - № 11. - С. 280-281.

[9] С.В. Мартыненко, О.М. Огородникова, В.М. Грузман. Использование компьютерных методов для повышения качества крупногабаритных тонкостенных отливок. // Литейное производство - №11. - 2009 - с 21-26

[10] Кулагин А.Л., Гончаров К.О., Тумасов А.В., Орлов Л.Н. Исследование свойств пассивной безопасности пространственного каркаса рамы спортивного автомобиля класса «ФОРМУЛА СТУДЕНТ» // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 6. - С. 94.

[11] Орлов Л.Н., Тумасов А.В., Герасин А.В. Сравнительная оценка результатов компьютерного моделирования и испытаний рамы легкого коммерческого автомобиля на прочность. // Известия высших учебных заведений. - Машиностроение. - 2013. - № 10. - С. 63-68.

[12] Чернышов Е.А., Романов А.Д. Повышение качества подготовки кадров металлургической промышленности с использованием новых технологий. // Металлург. 2013. - № 10. - С. 9-11.

Влияние антикоррозионной пропитки на фрикционные свойства металлокерамических фрикционных материалов

А.В. Шакина, О.В. Штанов, А.А. Афанасьева

[1] Комсомольский-на-Амуре филиал ООО «НТЦ Информационные Технологии», РОССИЯ, 681005, info@infotech-kms.ru

***Реферат* – Описана актуальность применения вагонных тормозных колодок из новых металлокерамических материалов. Рассмотрена необходимость применения антикоррозионных пропиток для металлокерамики на железной основе. Установлено, что применение силиконового гидрофобизатора ведет к росту коэффициента трения и снижению объемного износа металлокерамики на железной основе**

К*лючевые слова* – коэффициент трения, объемный износ, металлокерамика, тормозная колодка

I. Введение

В 1990 – 2000-е гг. в РФ произошла интенсификация движения грузового и пассажирского подвижного состава. Нагрузки на оси вагонов возросли до 25 – 27 тс [1]. В связи с произошедшими изменениями изменились требования к фрикционным материалам тормозных колодок. Существующие фрикционные материалы (чугуны, полимерные композиты) не всегда удовлетворяют возросшим требованиям по коэффициенту трения, износостойкости, экологичности.

ООО «НТЦ Информационные Технологии» был разработан новый металлокерамический фрикционный материал вагонной тормозной колодки на железной основе, получаемый методом порошковой металлургии.

Разработанный материал обладает стабильным коэффициентом трения, превосходит стандартные материалы тормозных колодок (чугун по ОСТ 32.194-2002, композит ТИИР-300 на полимерной основе) по износостойкости в 5 и 3 раза соответственно (по результатам лабораторных испытаний) [2].

Однако создание полноценной тормозной колодки не ограничивается разработкой только фрикционного материала. Металлокерамика на железной основе требует коррозионной защиты в процессе эксплуатации, возможный вариант реализации которой рассмотрен в данной статье.

II. Материалы и методы

Фрикционный материал, разработанный ООО «НТЦ Информационные Технологии», представляет собой металлокерамику на железной основе с добавлением меди (10 масс. %), высоким содержанием графита (15 масс. %) и неметаллическими фрикционными наполнителями (оксидами алюминия и кремния, общее содержание – 5 масс. %) [2].

Принимая во внимание климатические условия на территории Российской Федерации, в которых осуществляется работа вагонных тормозных колодок, а также особенности разработанного металлокерамического фрикционного материала, общая пористость которого составляет до 30 %, необходимо предусмотреть коррозионную защиту такого материала.

Традиционно для коррозионной защиты порошковых материалов на железной основе используется индустриальное масло, например, И20А. Как правило, осуществляется вакуумная пропитка порошковых изделий горячим маслом.

Однако для тормозных колодок применение индустриального масла в качестве антикоррозионного средства нежелательно ввиду возможного снижения фрикционных свойств благодаря попаданию масла в зону трения при разрушении фрикционного материала в процессе работы колодки. Пропитками, теоретически не снижающими коэффициент трения, являются различные гидрофобизаторы, а также фенолформальдегидные смолы. В настоящей работе рассмотрено влияние силиконового гидрофобизатора после различных режимов сушки на износостойкость и фрикционные свойства металлокерамики на железной основе.

Гидрофобизатор состоит из воды и силикона. При нанесении на поверхность проникает в структуру материала, закрывая поры и капилляры, образует водоотталкивающее покрытие.

Пропитка образцов гидрофобизатором производилась без вакуумирования, при комнатной температуре в течение 1 часа. Использовалось три варианта сушки: при комнатной температуре в течение 1,5 суток; в печи при 100° С и 130° С в течение 2 часов. Испытания непропитанных и пропитанных образцов производились на машине трения ИИ5018 по схеме «диск-колодка» при торможении по программе, согласно которой скорость на пятне контакта уменьшается с 70 км/ч до ~ 0 км/ч в течение 1 мин для имитации торможения колеса реальной колодкой. Для оценки износостойкости использовался объемный износ ($I_{об}$, 10^{-3} $см^3$) –

отношение массового износа образца за испытание к его плотности.

Проверка влияния гидрофобизатора (сушка при 130° С) на износостойкость и фрикционные свойства металлокерамики производилась на образцах с содержанием меди 10 и 15 %, с графитом ГК1 и ЭуТП.

III. Результаты

Результаты испытаний – коэффициент трения и объемный износ – показаны на рис. 1. Маркировка образцов следующая:

10Э, 15Э – образцы с содержанием меди 10 и 15 % соответственно, с графитом марки ЭуТП, после пропитки гидрофобизатором подвергнутые сушке при температуре 130° С;

10, 15 – образцы с содержанием меди 10 и 15 % соответственно, с графитом марки ГК1, после пропитки гидрофобизатором подвергнутые сушке при температуре 130° С;

КТ – образцы с содержанием меди 10 %, с графитом марки ГК1, после пропитки гидрофобизатором подвергнутые сушке при комнатной температуре;

П100 – образцы с содержанием меди 10 %, с графитом марки ГК1, после пропитки гидрофобизатором подвергнутые сушке при 100° С.

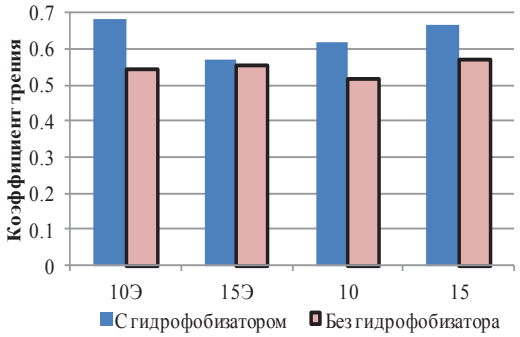


Рис.1. Коэффициент трения образцов с содержанием меди 10 и 15 %, с графитом ЭуТП и ГК1, подвергнутых сушке после пропитки гидрофобизатором при 130° С

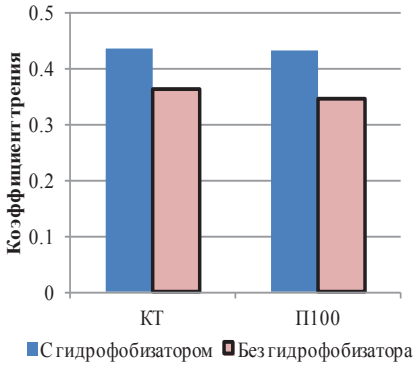


Рис. 2. Коэффициент трения образцов с содержанием меди 10 %, с графитом ГК1, подвергнутых сушке после пропитки гидрофобизатором при комнатной температуре и 100° С

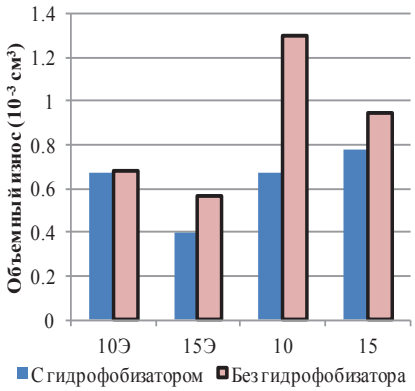


Рис. 3. Объемный износ образцов с содержанием меди 10 и 15 %, с графитом ЭуТП и ГК1, подвергнутых сушке после пропитки гидрофобизатором при 130° С

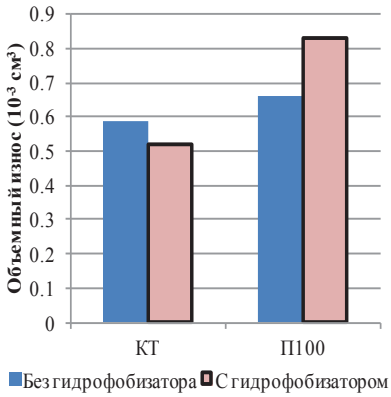


Рис. 4. Объемный износ образцов с содержанием меди 10 %, с графитом ГК1, подвергнутых сушке после пропитки гидрофобизатором при комнатной температуре и 100° С

IV. Обсуждения

Анализ результатов испытаний показывает следующее:

1. При концентрации меди 10 и 15 %, а также при использовании двух марок графита (ГК1 и ЭуТП) не наблюдается статистически значимой разницы в коэффициентах трения образцов.

2. После пропитки гидрофобизатором коэффициент трения всех образцов возрастает по сравнению с непропитанными образцами. Рост составляет 17,5 – 25 %, исключение – образец 15Э, у которого рост коэффициента трения – 2 %.

3. Полученных данных недостаточно, чтобы сделать вывод о влиянии концентрации меди и марки графита на объемный износ порошкового материала: для образцов с содержанием меди 10 % износ не зависит от марки графита, для образцов с содержанием меди 15 % наблюдается существенная разница в объемном износе образцов с разными марками графита.

4. Во всех случаях, за исключением образца П100, наблюдается снижение объемного износа образцов после пропитки их гидрофобизатором на 18 – 48 %. После сушки образца при 100° С (образец П100) наблюдается рост объемного износа на 11 %.

Исследуемые образцы содержат 15 % графита по массе, что в пересчете на объем составляет около 60 %. Структура образцов представляет собой железную перлитную матрицу с сеткой цементита и включений меди по границам зерен, а также включениями фрикционного наполнителя, заполненную графитом. Можно предположить, что вязкий силикон обволакивает частицы графита, увеличивая коэффициент трения между ними, благодаря чему частицы дольше остаются в матрице, не осыпаясь в зону трения, в результате снижается объемный износ. Повышение коэффициента трения в системе «силикон – графит», возможно, влияет на общее повышение коэффициента трения материала.

Выводы

1. Пропитка металлокерамики на железной основе с высоким содержанием графита силиконовым гидрофобизатором и сушка образцов в диапазоне 100 – 130° С ведет к увеличению коэффициента трения и снижению объемного износа.

2. Сушка образцов при комнатной температуре после пропитки гидрофобизатором ведет к росту коэффициента трения и снижению объемного износа.

3. Требуется тщательное изучение процессов, происходящих при трении образцов металлокерамики, пропитанных гидрофобизатором для объяснения причин полученных закономерностей.

Литература

[1] Bogdanov, V.M. Modern problems of “rail-wheel” system / V.M. Bogdanov, S.M. Zakharov // World railways, 2004. – № 1. – С. 3 – 5
[2] Shakina, Antonina Railcar brake shoes with increased wear resistance / A. Shakina, O. Shtanov, V. Fadeev // Vestnik of natural monopolies institute: Railways Technique, 2014. - № 4(28). – с. 66-69

Исследование коррозионной стойкости металлокерамических фильтров

Ш.М.Шакиров, Х. А. Исмоилов

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095

Реферат **- в статье приведены результаты исследования коррозионной стойкости металлокерамических материалов, изготовленных на основе порошков из хромоникелевых сталей, по данным, разработанном методом измерения электросопротивления и по количеству железа, перешедшего в раствор при постоянной фильтрации агрессивной среды.**

Ключевые слова **- коррозионная стойкость, металлокерамический материал, электросопротивление, спекание, фракция, частица**

Особенности строения металлокерамических фильтров не позволяют применять для оценки коррозионной стойкости пористых материалов способы, оправдывающие себя на компактных материалах. Трудность определения степени коррозии металлокерамических пористо проницаемых материалов в том, что в порах пористого тела остается фильтруемая среда и продукт коррозии. Попытка удаления продуктов коррозии продувкой воздухом или другими газами со всей разветвленной поверхности фильтрующего материала могут привести к искажению истинной коррозионною разрушения фильтрующего материала

Имеются данные [1] об исследовании коррозионной стойкости металлокерамических фильтров, спрессованных из порошков со сферическими формами частиц, методом измерения электросопротивления фильтрующего материала. При этом предполагается. что электросопротивление пористых тел зависит от состояния межчастичных контактов. В [2] коррозионная стойкость металлокерамических материалов определяется метолом измерения механических свойств фильтрующего материала. В обоих методах образец погружали в агрессивную среду и выдерживали в ней в течение заданного времени. Затем извлекали из нее образец и измеряли его электросопротивление и механические свойства без извлечения из образца агрессивной среды и продуктов коррозии, содержащихся в его порах. При этом сами авторы вышерассмотренных работ считали, что такая постановки экспериментов по исследованию коррозионной стойкости пористых материалов не совсем корректна, так как процесс коррозии из-за различия концентраций агрессивной среды на поверхности и в объеме образца протекает неравномерно по объему материала. Если предположить, что на скорость протекания коррозионных процессов металлокерамических фильтров оказывает влияния форма частиц порошка (исходного материала) то методом погружения образцов в агрессивную среду невозможно получить ответы на эти вопросы.

Поэтому, в данной работе испытание проводилось в режиме постоянной фильтрации агрессивной среды через фильтр, которое, в отличие от вышерассмотренного метода, максимально приближено к реальным условиям работы фильтров. А электросопротивление образца измеряли не останавливая процесс испытания, что обеспечивает постоянный отвод продуктов коррозии из пор фильтра во время измерении.

В целях исследования влияния формы частиц порошка (исходного материала) на процесс коррозии, образцы изготавливали из порошков, полученных разными методами с разными формами частиц. Исходные образцы в виде втулок размером 40х34х50 мм со стенкой 3 мм, готовили из порошков (фракция 0,1-0,15 мм) нержавеющих сталей марки: ПРХ18Н10, ПРХ23Н18 методом прессования и спекания. Форма частиц и методы получения исходных порошковых материалов приведены в таблице. Давление прессования 300 МПа. Образцы спекали при температуре 1200 - 1250ºС в течение 2 часов в среде водорода. Пористость спеченных образцов составляла 45-50%. Коррозионная стойкость исследовалась в средах: 10% HNO_3, 10% H_2SO_4, водопроводная вода.

Таблица 1 Свойства исходных порошковых материалов

Метод получения	Марка	Форма частиц	ГОСТ
Распиленный воздухом	ПРХ18Н10 ПРХ23Н18	Сферическая Сферическая	ГОСТ 13084-67
Восстановленный гидридом кальция	ПРХ18Н10 ПРХ23Н18	Губчатая Губчатая	ГОСТ 14086-68
Механическое смешивание компонентов	ПРХ18Н10 ПРХ23Н18	Осколочная Осколочная	ГОСТ 14086-68

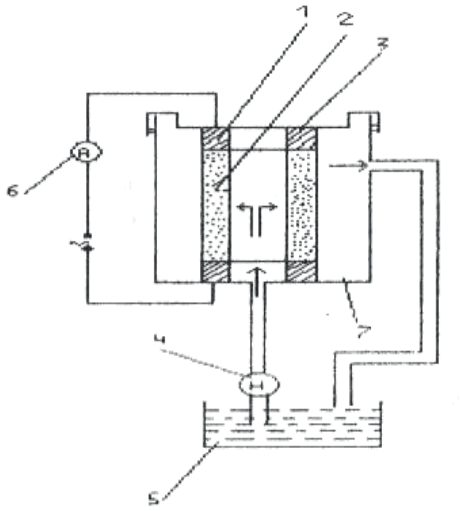


Рис. 1. Схема экспериментального установки: 1 – шайба, 2 – фильтр образец; 3 – крышка корпуса; 4 – насос; 5 – сливной бак; 6 – амперметр.

Опыт проводился в стационарном режиме по методу описанном в [1] и в режиме фильтрации агрессивной среды. Для этого образец взвешивали и помещали в стеклянный корпус, где в торцевой части был зажат фильтр к основанию корпуса. Между торцом образца и корпусом был вставлен металлический шайба. К этому шайбу была прикреплена проволока для измерения электросопротивления образца. Агрессивная среда подавалась насосом через отверстия на основании корпуса, слив проходил через отверстия корпуса. Рабочие детали насоса были изготовлены из кислотоупорной пластмассы. На рисунке 1 показана схема установки.

Образец, закрепленный таким образом, испытывали в течение 2000 часов. По истечений выбранного интервала времени измеряли электросопротивление образца, не останавливая процесс. Такие измерения были проведены через 5. 25. 70. 210. 520. 1000. 2000 часов.

По метолу, предложенному В. В. Скороходом [3], по результатам измерения электросопротивления P оценивалась величина межчастичных контактов ξ-отношение размера контакта к размеру частиц. В работе [5] показано, что для пористых тел с несовершенными контактами влияние пористости на электросопротивление P может быть описано следующей формулой:

$$p_K = \xi p(1 - 1{,}5\Theta), \quad (1)$$

P_K – удельное электросопротивление материала с нулевой пористостью; Θ – пористость испытываемого образца. При ξ = 1 это выражение переходит в формулу В. И. Оделевского для пористых тел с совершенными контактами [4]:

$$p_K = p(1 - 1{,}5\Theta), \quad (2)$$

Определив по формуле (2) по результатам измерения P величину P_K, можно оценить относительную величину межчастичных контактов из выражения:

$$\xi = \frac{P_K^{/}}{P_K}, \quad (3)$$

где P_K – удельное электросопротивление образца с несовершенными контактами, приведенное к нулевой пористости.

Из результатов, представленных на рисунке 2, можно сделать следующие выводы. При стационарном режиме испытания наиболее коррозионносойкими оказались образцы фильтров, изготовленных из порошков марки Х23Н18, методы получения порошков не повлияли ни процесс коррозии. Из всех исследованных сред для образцов самой агрессивной оказался 10%-ный раствор серной кислоты. В азотной кислоте образцы пассивируются и растворимость их невелика. Растворимость образцов в водопроводной воде также невелика.

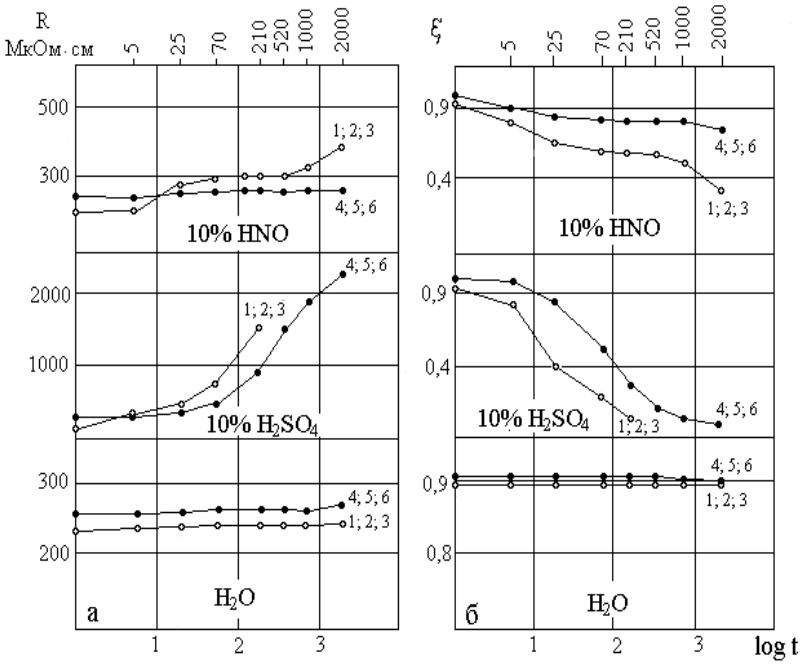


Рис.2. Кинетика изменения удельного электросопротивления (а), и величины межчастичных контактов (б), марка исходных порошков и фирма частиц: 1- ПРХ18Н10 (сферическая); 2- ПВХ18Н10 (губчатая); 3- ПХ18Н10 (осколочная); 4- ПРХ23Н18 (сферическая); 5- ПВХ23Н18 (губчатая); 6 - ПХ23Н18 (осколочная).

На рисунке 3 представлена кинетика изменения удельного электросопротивления (а), величины межчастичных контактов (б) и количесшо железа, перешедшего в раствор (в) образцов при фильтрационном режиме испытания. Результаты проведенного испытания показывают, что при фильтрационном методе испытания процесс коррозии образцов происходит более интенсивно. Кривая растворимости образцов, изготовленных с несферическими (губчатой, осколочной) формами частиц, во всех средах, в отличие от стационарного метода, испытания имеет существенные отличия.

В начальный момент времени кривая растворимости образцов, особенно изготовленных с осколочной формой частиц (рисунок 3 в), резко возрастает. После 5-чи часов испытания кривая растворимости стабилизируется. Такого подъема кривой растворимости у образцов, изготовленных со сферическими формами частиц, не наблюдается. При этом кривая электросопротивления всех образов поднимается равномерно (рисунок 3 а) и соответственно, равномерно сужаются величины межчастичных контактов (рисунок 3 б). Причиной этому, возможно, являются микронеровности, находящиеся на поверхности поровых каналов образца, изготовленных из порошков с несферическими формами частиц. Эти микронеровности оказывают существенное сопротивление течению агрессивной среды, поэтому микронеровности в течение 5-ти часов испытания разглаживаются, интенсивно растворяясь в растворе.

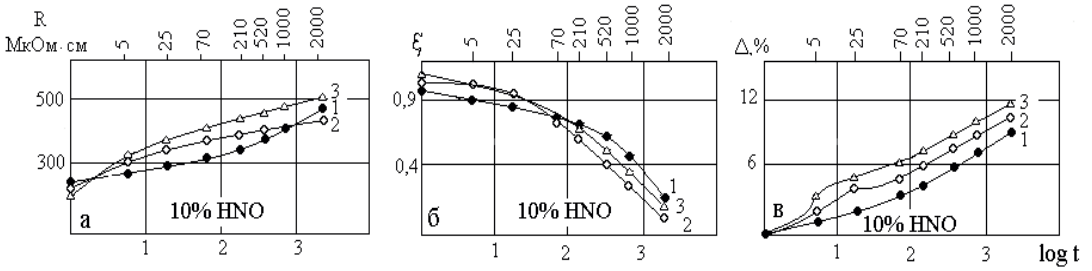


Рис.3. Кинетика изменения удельного электросопротивления (а), величины межчастичных контактов (б) и количества железа, перешедшего в раствор (в), исходный порошок ПРХ18Н10: 1 - сферическая; 2- губчатая); 3- осколочная.

Следует обратить внимание на то, что результаты оценки величины контактен и количества растворенного железа показываю соответствие с кинетике их изменения. Таким обратом, измерение электросопротивления в режиме фильтрации агрессивной среды через фильтр является эффективным методом изучения коррозионной стойкости пористых (боле 30% пористости) металлокерамических материалов. В этой связи целесообразно указать на возможность оценки ресурса работы металлокерамических фильтров в агрессивных средах.

Для сравнения двух методов был рассчитан ресурс работы металлокерамического фильтра в 10% -ном растворе серной кислоты по методу, предложенном в литературе [5]. Так, определив по формулам (2) и (3) величину контактов и зная из литературных данных скорость коррозии компактных материалов, можно, задавшись допустимой конечной величиной контактов, оценить предельную длительность пребывании пористого материала в агрессивной среде.

По данным работы [6] скорость коррозия сталей марки Х23Н18 и Х18Н10 в 10% -ной серной кислоте составляет соответственно 0,1-1 и 2-5 мм/год. Если принять допустимый минимальный размер контакта, равный половине величины исходного (для образцов Х23Н18 $\xi_{исх}$ = 0,8, дли Х18Н10 $\xi_{исх}$ = 0,76, или исходные радиусы контактов примерно разны соответственно 0,05 и 0,047 мм), то ресурс работы по данным стационарного метода для образца стали Х23Н18 составит 200-2000 часов, а для образца стали Х18Н10 - 40-100 часов, независимо от формы частиц исходного порошка. По нашим экспериментальным данным, при стационарном режиме (рисунок 2 б), уменьшение ξ в два раза для образца стали Х23Н18 произошло - за 100 часов, а для образца стали Х18Н10- за 20 часов.

По данным фильтрационного метода, учитывая форму частиц исходного порошка и скорости фильтрации агрессивной среды, ресурс работы составляет для образца стали Х23Н18, изготовленного со сферическими формами частиц порошка - 186-1840 часов, а для образца стали Х18Н10 - 36-93 часов. Для образцов, изготовленных из порошков с несферическими формами частиц, соответственно - 174-1740 и - 34-87 часов. Таким образом, при фильтрационном методе испытания образцов уменьшение ξ происходило в зависимости от формы частиц исходного порошка (рисунок 3 б).

На основании результатов испытании можно сделать следующие выводы: по измерению электросопротивления и количества растворившегося железа при стационарном и фильтрационном режимах изучено повеление пористых нержавеющих сталей в различных агрессивных средах; стационарный метод испытания оказался приемлемым для предварительного определения ресурса работы пористых материалов, изготовленных со сферическими формами частиц; фильтрационный метод испытания полностью раскрывает поведение металлокерамических пористо проницаемых материалов в агрессивных средах, независимо от формы частиц исходного материала: среди испытанных образцов наиболее стойкими в агрессивных средах оказались образцы, изготовленные из порошков стали Х23Н18 со сферическими формами частиц. Предложен метод оценки ресурса работы пористо проницаемых металлокерамических материалов, изготовленных с несферическими формами частиц.

Литература

[1] Шибраев Б.Ф., Повлоская Е.И. Металлокерамические фильтрующие элементы. — М.: Машиностроение, 1972.-118с.

[2] Витязь П. А., Капцевич В. М., Шелег В. К. Пористые порошковые материалы и изделия из них. -М: Высшая школа, 1987. -161 с.

[3] Скороход В,В. Коррозионная стойкость пористых материалов. - Канд. дис. -Киев: АН УССР, 1961.-172 с. Белов. С. В. Пористые проницаемые материалы. - М.: Металлургия, 1987.-335 с.

Перспектива переработки производственных отходов

Ш.М. Шакиров, Ш.А. Каримов, Л. Даминов

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан, 100095, karimovsh@mail.ru

Реферат **- в статье приведены результаты исследований и разработки технологии получение опытных образцов металлокерамических фильтрующих материалов на основе порошка железа из прокатной окалины «Узметкомбинат». Приведены эксплуатационные и механические свойства полученных образцов.**

Ключевые слова **- окалина, рентгенограмма, железный порошок**

В нашей стране на Узбекском металлургическом комбинате (г. Бекабад) из года в год накапливаются десятки тысяч т прокатной окалины, в связи с чем целесообразным является использование этого отхода для нужд народного хозяйства [1]. Для решения этой задачи были произведены исследования прокатной окалины «Узметкомбината». Для этого из отвалов прокатного цеха была отобрана партия окалины 250 кг, которая имела широкий диапазон фракционного

состава, в основном от 5 до 0,01 мм, а также прилипшие друг к другу крупные куски размером до 35 мм.

С целью получения однородного фракционного состава прокатной окалины проводился размол на шаровой мельнице в течение 2-х часов при её полной загрузке, затем проводилось усреднение фракционного состава на вибрационном сите с размером ячеек 0,1 мм (№ 65). Для исследования были отобраны образцы прокатной окалины из трёх разных мест этой партии. Окалина изучались методом рентгенофазового анализа на ДРОН -2 [2]. Для облегчения анализа рентгенограммы, представленной на рисунке 1, показаны положения соответствующих пиков штрихами (штрихограмма). Анализы показали, что окалина в основном, состоит из FeO (вюстит) - 80%, Fe_3O_4 (магнетит) - 15%, γ - Fe_2O_3 (маггемит) - 5%.

Результаты анализа переменного состава окалины, проведённого рештено-флюоресцентным метолом на приборе ЕП – 2000 OX FORD (Англия) с чувствительностью 0.01%. указывают на значительное содержание в окалине и, следовательно, в прокатном металле Mg (0,163 %), Al (0,225 %), Si (1,50 %), Cr (0,193 %), Mn (0,702), Ni (0,238%), Cu (0,305%), Mo(0,475%), которые оказывают значительное влияние на механические свойства изделий.

Восстановление окалины проводилось на водородной 3-х зонной печи следующим образом: высушенную при температуре 150°С прокатную окалину загружали в лодочки размером 500х500 мм. которые были сделаны из нержавеющей стали. Окалину укладывали в эти лодочки толщиной 15 мм и загружали в печь. Температура печи и I-ой зоне - 450, во 2- ой зоне - 750 и 3- ой зоне – 890° С. Лодочки двигались против потока водорода со скоростью 10 мм/мин. Восстановленный порошок железа предоставлял собой сплошную губчатую массу толщиной 15 мм, прилипшую ко дну лодочки. При выстукивании молотком по лодочке она рассыпалась на небольшие куски и на порошок. Полученный в таком виде железный порошок и губчатую массу размалывали в шаровой мельнице при полной загрузке - 250 кг. После размола проводился просев на вибрационном сите с размерами сторон ячеек 0,3 мм (№ 67).

Для исследования были отобраны образцы восстановленных порошков из трех разных мест этой партии. На рисунке 2 представлена условная рентгенограмма железного порошка. Анализы показали, что полученный железный порошок соответствует ГОСТ 9849 – 86 но марке ПЖВ3. Метолом микроскопического анализа был определен, гранулометрический состав желе того порошка и его форма [2]

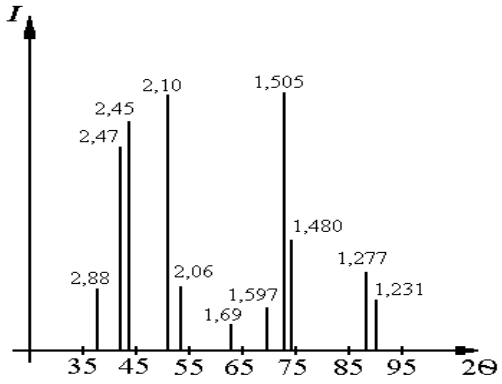


Рис. 1. Условная рентгенограмма прокатной окалины «Узметкомбината».

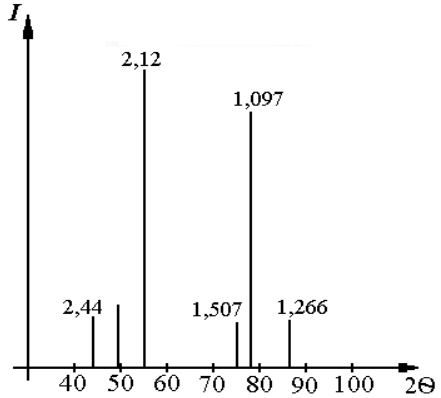


Рис. 2. Условная рентгенограмма железного порошка.

Для выяснения пригодности порошков железа в народном хозяйстве из них били изготовлены фильтрующий материал для очистки моторных масел. Для определения механических и фильтрующих свойств материала были изготовлены штабики. При изготовлении штабиков был подобран следующей состав шихты: порошок железа с фракцией частиц 0.15 – 0.065 мм –90% от массы шихты, медь 10% для придания материалу прочности и пластичности и 3% хлористого аммония в качестве порообразователя [3].

Шихту готовили в такой последовательности: вначале смешивались все сухие компоненты, это железный и медный порошок, хлористый аммоний. Смешивание проводилось в шаровом барабане объемом 25 л. в течение 2–х часов, загрузка – 5 кг, частота вращения барабана – 150 об/мин. После смешивания в эту смесь добавлялся 10% раствор каучука в бензине в качестве пластификатора, который смешивался в шнековом смесителе в течение 2–х часов, загрузка– 5 кг. частота вращения шнека – 50 об/мин.

Готовую шихту сушили в сушильном шкафу для удаления бензина в течение 45 мин при температуре 90–95°С (при длительной выдержке в сушильном шкафу хлористый аммоний разлагался). Приготовленную таким образом шихту подвергали протиранию, пропустив через сито №65. Из этой шихты на 40–тонном прессе были отпрессованы брикеты фильтрующих штабиков размером 7х7х30 мм с усилиям прессования 2000. .1000. 4000 МПа. Насыпка соответственно 7, 8 и 9 грамм. Готовые брикеты сушили в сушильном шкафу в течение 45 мин при температуре 90 –95° С. Высушенные брикеты спекали в 3–х зонной печи в атмосфере водорода. Брикеты загружали в графитовые лодочки и засыпали защитную засыпку из крокуса (оксид алюминия), лодочки двигались против потока водорода со скоростью 10 мм/мин, температура печи в 1–ой зоне 230. во 2–ой зоне– 650 и 3–ой зоне – 1200º С.

На рисунке 3 представлена микроструктура штабика, где видны фильтрующие поры, которые образовались в процессе спекания, а в таблице 1 приведены результаты испытания механических свойств фильтрующих штабиков.

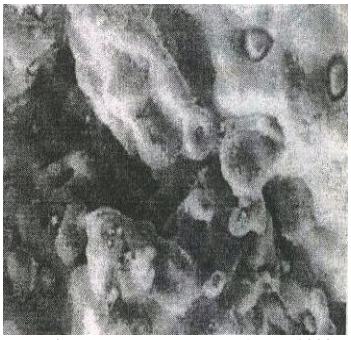


Рис 4. Микроструктура штабика, х1000

Таблица 1. Механические свойств штабиков от усилия прессования

Показатели	Усилия прессования, МПа		
	2000	3000	4000
Предел прочности при разрыве, МПа	100	150	190
Предел текучести при растяжении, МПа	100	130	160
Предел прочности при сжатии, МПа	550	850	930
Предел текучести при сжатии, МПа	90	120	180
Относительное удлинение при растяжении, %	0-1	0-1	0-1
Твердость по Бринеллю, МПа	650	650	650

Таблица 2. Влияние размера частиц исходного порошка и усилия прессования на размер пор фильтрующих втулок

Размер частиц железного порошка, мм	Усилия прессования, МПа		
	2000	3000	4000
	Размер пор, мкм		
0,3-0,3	96	68	43
0,2-0,1	60	46	33
0,1-0,063	42	28	16
0,063-0,02	22	13	7
0,02-0,01	9	3	1

Для проверки работы фильтров в реальных условиях было изготовлено несколько типов фильтрующих втулок размером 40х34х50 мм и толщиной стенки 3 мм. Приготовление шихты и

процесс спекания фильтрующих втулок был проведен в той же последовательности, что и для штабика фильтрующего материала.

Метолом вытеснения жидкости был определен размер пор фильтрующих втулок [4]. В качестве жидкости использовали дистиллированную воду. Результаты исследования (таблица 2) показали, что, при одинаковых усилиях прессования, с уменьшением размера частиц железного порошка уменьшается размер пор филирующего материала. То же самое происходит с увеличением усилия прессования при одинаковых размерах частиц железного порошка [5].

Изготовлений фильтр на основе порошка железа полученного методом восстановлениям прокатную окалину «Узметкомбината» в полнее пригоден для изготовления фильтрующих материалов для очистки машинных масел от абразивных частиц размером мене 10 мкм. Следовательно, переработка прокатанную окалину Узметкомбината в порошок железа имеет в полнее обоснованную перспективу.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Либенсон Г. А., Производства порошковых изделий.-М.:Металлургия, 1990. -239 с.
[2] Томос Г. Электронная микроскопия металлов. -М.: Иностранная лит-ра, 1963.-347 с.
[3] Белов С. В. Пористые проницаемые материалы. -М.:Металлургия, 1987.-335 с.
[4] Витязь П. А., Капцевич В. М,, Шелег В. К. Пористые порошковые материалы и изделия из них. -М.: Высшая школа. 1987. -161 с.
[5] Шибраев Б.Ф., Павлоская Е.И. Металлокерамическис фильтрующие элементы. -М.: Машиностроение, 1972,-118с.

Разработка безрениевого жаропрочного материала с уровнем свойств сплавов II поколения

А.А. Шатульский[1], Н.А. Зайцев[1], И.И. Хрящев[1]

[1] ФГБОУ ВПО Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева, РОССИЯ, 152934, rector@rsatu.ru

Реферат **– проведены исследования, направленные на разработку безрениевого жаропрочного сплава для литья монокристаллических лопаток турбин. Выплавлена опытная партия сплава(10 кг), химический состав которого рассчитан по методу компьютерного моделирования жаропрочных сплавов. Изготовлены образцы для определения механических характеристик и металлографических исследований. Полученный сплав имеет уровень длительной прочности сравнимый со сплавом II-го поколения – ЖС32, при отсутствии в химическом составе редкого и дорогостоящего элемента – Re, и при плотности 8.87 г/см^3.**

Ключевые слова **– никелевые жаропрочные сплавы, длительная прочность, кратковременная прочность, термическая обработка, фазовый состав.**

I. ВВЕДЕНИЕ

Ведущим направлением, обеспечивающим значительное повышение эксплуатационных параметров и надежности современных ГТД, является создание и совершенствование новых жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) для монокристаллического литья, используемых при изготовлении особо ответственных деталей газовых турбин.

ЖНС оказались эффективными материалами, поэтому за сравнительно короткое время были разработаны пять поколений сплавов, повышение жаропрочности которых достигнуто введением в химический состав тугоплавких элементов W, Ta, Nb, Hf, а в последние годы Re и Ru, что сильно повлияло на себестоимость деталей. Легирующие элементы, используемые в разных поколениях сплавов, представлены в таблице 1.

Таблица 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Поколение	Легирующие элементы (ЛЭ)
I	Al, Ti, Cr, Mo, W, Ta, Nb
II	ЛЭ I-го поколения + *Re 2-4 %*
III	ЛЭ I-го поколения + *Re 5-6 %*
IV	ЛЭ III-го поколения + *Ru 1-2 %*
V	ЛЭ III-го поколения + *Ru 2-6 %*

При этом резко возросли характеристики жаропрочности. Для сплава первого поколения длительная прочность при 1000°С и 100 ч, составляет $\sigma_{100}^{1000} \approx 200\,МПа$, то тот же показатель для III-го поколения составляет $\approx 300\,МПа$.

Одним из первых отечественных ренийсодержащих сплавов II-го поколения является сплав ЖС32, имеющий в своем составе 4% Re и значение $\sigma_{100}^{1000} \approx 245\,МПа$, который нашел применение во многих современных ГТД и является одним из самых востребованных материалов авиационного двигателестроения.

Однако, стоимость рения, годовая добыча которого 30–35 т/год, в разы увеличивает себестоимость сплава. В конце 2014 г. цена рения составляла

4500$/кг, что превосходит цену за тантал в 4 раза и стоимость вольфрама в 130 раз. Таким образом сплав, установивший в своё время рекорд жаропрочности, оказался весьма дорогим, стоимость шихты составляет 17.8 млн.руб/т, в то время как сплав I-го поколения, не содержащего Re, в 8 раз меньше – 2.2 млн.руб/т.

Поскольку ЖС32 в настоящее время широко используется в промышленности, важной научной и практической задачей является создание сплава с эквивалентным уровнем жаропрочности, но не содержащего в своём составе дорогостоящего элемента –Re.

Работы в этом направлении велись и раньше, так сплав ЖС-40[1], не содержащий Re, имел $\sigma_{100}^{1000} \approx 240\,МПа$, это меньше, чем у сплава ЖС32, что и не позволило осуществить его замену. Экспериментальный сплав СЛЖС-1 [2], [3] на момент создания имел наивысшую жаропрочность среди безрениевых сплавов – $\sigma_{100}^{1000} \approx 255\,МПа$, однако высокий удельный вес - 9.03 г/см^3 не позволил использовать его на практике.

Подобные задачи решаются и за рубежом, так на 12-м международном симпозиуме “Superalloys 2012” фирма Cannon-Muskegon представила новый безрениевый сплав для монокристаллического литья CMSX-7, предел длительной прочности которого составляет $\sigma_{100}^{1000} \approx 227\,МПа$ и плотность 8.8 г/см^3 [4].

Учитывая высокую экономическую значимость решения и актуальность поставленной задачи, были проведены работы направленные на создание нового перспективного сплава для монокристаллических лопаток турбин

II. Материалы и методы

На основе метода компьютерного моделирования литейных жаропрочных никелевых сплавов, разработанного на ОАО «НПО «Сатурн» совместно с РГАТУ имени П. А. Соловьева [3], [5]-[9], рассчитан оптимальный химический состав сплава, обеспечивающий требуемый уровень свойств, к которым относятся:

1. Прочностные характеристики;
2. Термодинамические параметры;
3. Структурные факторы;
4. Концентрационные параметры.

Расчетная длительная прочность опытного сплава при 1000°С находится на уровне ренийсодержащего промышленного сплава ЖС32.

Химический состав опытного сплава и ЖС-32 представлен в таблице 2, расчетные характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 2. Химический состав опытного сплава и ЖС32

Сплав	C	Cr+Al	W+Ta+Mo	Nb	Co	Re	Другие	Ni
Опытный	<0.02	9.6 11.6	17.6 20.6	0.5 1.2	10.25 11.25	-	0.01Hf	бал.
ЖС32	<0.15	9.9 11.9	12.0 15.2	1.4 1.8	8.0 10.0	3.5 4.5	0.015B	бал

Таблица 3. Рассчётные структурно-физические свойства опытного сплава и ЖС32

Сплав	$V\gamma'$, %	σ_{100}^{1000}, МПа	$M(\bar{d})$	$M(\bar{d})_{крит}$	d, г/см^3	мисфит
Опытный	69	230	0,888	0,924	8,85	0,245
ЖС-32	61	245	0,893	0,894	8,81	0,483

По полученным значениям расчетных данных можно говорить о том, что термодинамические параметры (температура начала растворения γ'-фазы – $T_{н.р.}$, температура полного растворения γ'-фазы – $T_{п.р.}$, температура солидус – $T_{солидус}$) нового сплава близки к характеристикам сплава ЖС32 (Таблица 4).

Таблица 4. Физико-химические свойства опытного сплава и ЖС32

Сплав	Тн.р., °С	Тп.р., °С	Тсолидус, °С
Опытный (расчёт)	869	1284	1316
ЖС32 (расчёт)	841	1279	1310
ЖС32 (паспорт)	850	1276	1310

Для подтверждения адекватности выполненного расчёта была выплавлена партия (10 кг) сплава, отлиты монокристаллические заготовки образцов с кристаллографическим направлением [001] с отклонением не более 10° на установке ВИП НК мощностью 450 кВт. С использованием теоретических зависимостей «состав – температуры фазовых превращений» рассчитан и проведен режим термической обработки в вакуумной печи TAV 60/60/90, а также изготовлены образцы для испытания механических свойств при комнатной температуре в соответствии с АМТУ 293-62 и на длительную прочность при 1000°С по ГОСТ 9651-84. Для проверки адекватности зависимости «состав – структура» проведены металлографические исследования с использованием РЭМ FEI Inspect S50 с рентгено-флюоресцентным спектроанализатором EDAX.

III. Результаты

Анализ характеристик, полученных при кратковременных испытаниях (рис. 1) показывает, что предел прочности и текучести опытного состава ниже, чем у сплава ЖС32, на 11,5 % и 5,2%, соответственно. Относительное удлинение образца из

опытного сплава меньше, чем у ЖС32 на 14,3 %, сужение же на 43,4 % больше.

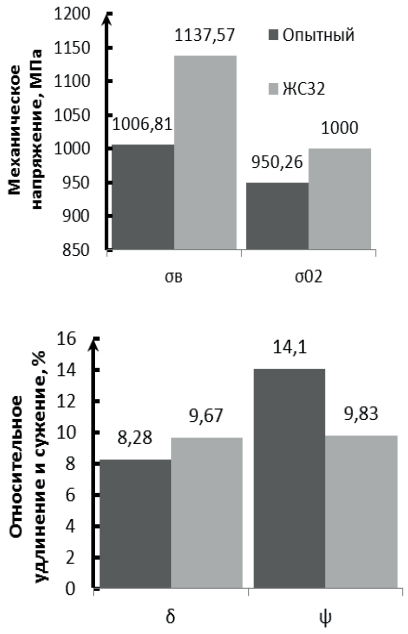


Рис. 1. Механические характеристики опытного сплава и ЖС32 при комнатной температуре.

Испытания на длительную прочность проведены при одноосном нагружении при температуре 1000°С, растягивающая сила была ориентирована в направлении <001>. Результаты испытаний (рис. 2) обработаны в параметрических координатах Ларсона-Миллера, что позволяет обоснованно спрогнозировать срок службы материала в зависимости от времени и температуры с помощью корреляционного подхода по формуле (1)

$$P = T \times [20 + \log(\tau)] \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где P – параметр Ларсона-Миллера;
T – температура испытания, °К;
τ – время до разрушения, ч.

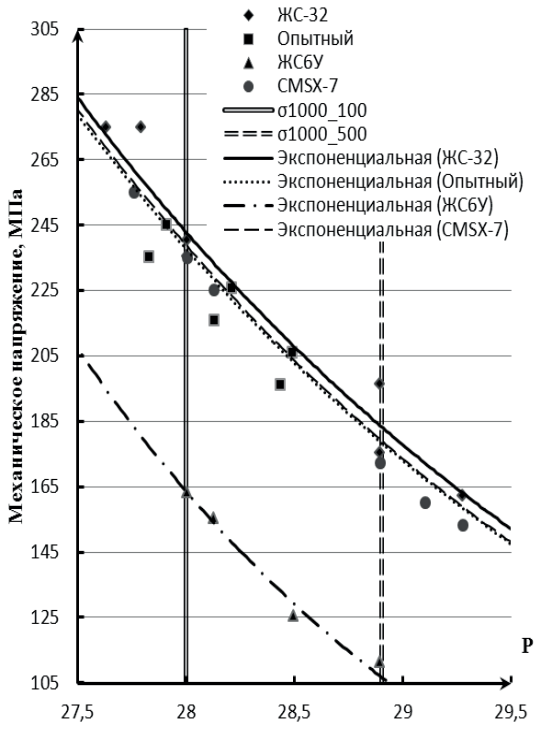
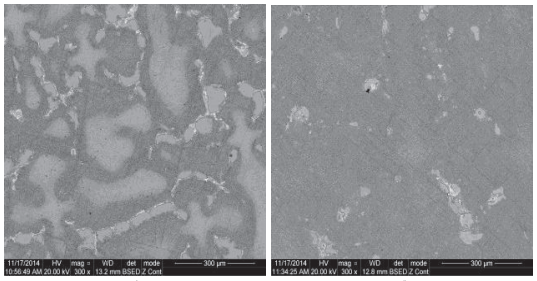


Рис.2. Анализ результатов испытаний на длительную прочность.

Микроструткурные исследования выявили, что в литом неравновесном состоянии в γ/γ'-матрице содержится незначительное количество – 1.1% σ-фазы (светлая, выделяется в основном по границам эвтектической γ'-фазы, см. рис. 3), 5.8% эвтектической γ'-фазы на основе Ni_3Al с незначительным содержанием Ni_5Al_3. После термической обработки количество нежелательных σ и $\gamma'_{эвт}$ -фаз снизилось до 0.41% и 1.85%, соответственно.

На всех образцах, прошедших высокотемпературные испытания наблюдается регулярная «рафт»-структура, характерная для ЖНС, подвергавшихся постоянному напряжению при высоких температурах, пластинчатых ТПУ-фаз в микроструктуре не выявлено, что подтверждает высокую структурно-фазовую стабильность и оптимальный баланс легирования.



а) б)

Рис. 3. – Микроструктура опытного сплава
а) Литое состояние, х300; б) После термической обработки, х300.

IV. Обсуждения

V. Механические характеристики при комнатной температуре

Учитывая, что рабочая температура турбинной лопатки в процессе эксплуатации находится в интервале 950 -1050°С, некоторое снижение прочностных характеристики сплава при низких температурах не критично, поэтому основное внимание при конструировании экспериментального сплава уделялось характеристикам жаропрочности.

VI. Жаропрочность при 1000°С

Для сравнения длительной прочности опытного сплава с другими отечественными и зарубежными сплавами I-го и II-го поколей можно воспользоваться коэффициентом преимущества по формуле (2), который характеризует соотношение аналогичных величин для двух сплавов:

$$K_i^{Опытный} = {}^{Опытный}\sigma_\tau^T / {}^i\sigma_\tau^T, \qquad (2)$$

где ${}^{Опытный}\sigma_\tau^T$ – длительная прочность опытного сплава при температуре T и длительности τ, ${}^i\sigma_\tau^T$ – длительная прочность i-го сплава (ЖС6У/ЖС32/CMSX-7) при температуре T и длительности τ.

Таким образом получается, что длительная прочность (1000°С, 100 ч) опытного сплава на 42% выше, чем у ЖС6У, на 4% ниже чем у ЖС32 и на 2% ниже чем у CMSX-7.

VII. Микроструктура

Снижение количества нежелательных фаз до минимальных показателей в процессе термической обработки подтверждает эффективность выбранного по термодинамическим параметрам режима.

Выводы

Разработан безрениевый сплав, технология получения монокристаллических отливок и режим термической обработки.

Механические испытания образцов подтвердили полученные расчётные эксплуатационные характеристики. Экспериментальный сплав не только не уступает по уровню жаропрочности зарубежному аналогу CMSX-7, но и монокристаллическому сплаву II-го поколения, содержащего 4% Re – ЖС32. При этом стоимость опытного сплава и сравнительных аналогов, рассчитанная на основе цен шихтовых материалов и текущего курса доллара к рублю на январь 2015 г., наиболее предпочтительна с точки зрения затрат на производство - опытный сплав втрое дешевле ЖС32, на 20% – CMSX-7 и всего 3 раза дороже ЖС6У.

Литература

[1] Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С.Т. Кишкина, М.: Наука, 2006, 272 с.
[2] А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин «Тенденции разработки и применения Ni-суперсплавов для лопаток ГТД в современных и перспективных силовых установках авиационного назначения», технология легких сплавов, 2011, № 4, с. 11 – 17
[3] А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, И.А. Лещенко, Р.Ю. Старков «Моделирование и разработка новых жаропрочных сплавов», ч. 2, «Двигатель», 2013, № 6(90), с. 5 – 8.
[4] Wahl J.B., Harris K.. New single crystal superalloys, CMSX-7 and CMSX-8// Superalloys – 2012, TMS, 2012, P. 179 – 188.
[5] А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин, И.А. Лещенко, Р.Ю. Старков «Моделирование и разработка новых жаропрочных сплавов», ч. 1, «Двигатель», 2013, № 5(89), с. 24 – 28.
[6] А.А. Шатульский, Н.А. Зайцев, Д.В. Данилов, И.И. Хрящев «Влияние многослойного структурно-стабильного жаростойкого покрытия на свойства монокристаллических жаропрочных сплавов» [текст], Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева, –2013, – № 3 (26), – С. 8-17.
[7] Логунов, А.В. Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе Часть – I [Текст] / Д.В. Данилов, А.В. Логунов, Ю.Н. Шмотин // Технология металлов. – 2014. – №5. – С.11-19
[8] Логунов, А.В. Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе Часть – II [Текст] / Д.В. Данилов, А.В Логунов, Ю.Н. Шмотин // Технология металлов. – 2014. – №6. – С. 3-10.
[9] Логунов, А.В. Методологические основы автоматизированного проектирования жаропрочных сплавов на никелевой основе Часть – III [Текст] / Д.В. Данилов, А.В Логунов, Ю.Н. Шмотин // Технология металлов. – 2014. – №7. – С. 3-11.

Стадии формирования углеродных нанотрубок при механоактивации продуктов пиролиза растительного сырья

В.П. Рева, А.Э. Филатенков, Ю.Н. Мансуров

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, РОССИЯ, 690091, reva.vp@dvfu.ru

Реферат **- представлено исследование стадий формирования многослойных углеродных нанотрубок в процессе механоактивации аморфного углерода, полученного пиролизом из растительного сырья. Показано, что длительная механоактивация углеродной композиции в варио-планетарной мельнице (более 36ч) приводит к образованию агрегатов и потере термической устойчивости нанотрубок.**

Key words **- пиролиз, аморфный углерод, механоактивация, углеродные нанотрубки, вакуумный отжиг, термическая устойчивость.**

I. Введение

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают рядом уникальных свойств, поэтому создаваемые на их основе материалы находят применение в качестве структурных модификаторов конструкционных материалов, аккумуляторов водорода, элементов радиоэлектроники, добавок в смазочные материалы, лаки и краски, эффективных адсорбентов, газораспределительных слоев топливных элементов и многого другого. Перспективно использование углеродных нанотрубок в тонком химическом синтезе, биологии и медицине [1]. На данный момент последовательно развивается направление использования углеродных нанотрубок для получения композитов с улучшенными механическими и электрофизическими свойствами. В последнее время появляется все больше разработок по армированию нанотрубками технической керамики, что приводит к повышению упругости, прочности, а также устойчивости к коррозии и термостойкости [2].

Ранее были проведены исследования свойств многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ), сформированных в процессе механической активации аморфного углерода, полученного из растительного сырья, в варио - планетарной мельнице в течение 1-27ч [3], [4]. Однако вопрос о максимально возможном выходе МУНТ при фиксированных режимах механоактивации аморфного углерода оставался не выясненным.

Работу проводили с целью исследование влияния продолжительности механоактивации аморфного углерода на содержание МУНТ в конечном продукте, для дальнейшего их применения в качестве модификаторов композитных материалов.

II. Материалы и методы

Углеродные нанотрубки были сформированы с применением пиролитической и механохимической технологии [5]. В качестве исходного материала использовали мхи сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum*) и сфагнум магелланикум (*Sphagnum magellanicum)*, побеги кукурузы сорта «Катерина СВ», бамбук колючий *(Bambusa blumeana schultes)*, хлопчатник сорта «Приозерный-4», а также стебли бамии **(Abelmoschus esculentus)** сорта «Зеленый бархат».

Получение модификации углерода с аморфной структурой выполнялось при температуре 950 ºС. Для химической отмывки аморфного углерода от минеральных примесей применяли смесь растворов кислот: HNO_3 (25 %) и HCl (25 %) при температуре 100ºС. Обработку проводили в аналитическом автоклаве фирмы «Wiegand International GmbH» (Германия) в течение 50 мин. Затем аморфный углерод отделяли от смеси растворов кислот на керамическом фильтре фирмы «Keramtech» (Чехия) и промывали дистиллированной водой в ультразвуковой мойке «Elmasonic S 30» (Германия) в течение 30 мин до достижения нейтрального pH. Далее осуществляли обезвоживание в центрифуге фирмы «Sigma Laborzetrifugen» (Германия) и последующую сушку в течение 60 мин при температуре 125-130 °С в сушильном шкафу «Binder».

Далее углеродная модификация подвергалась обработке в варио - планетарной мельнице Pulverisette - 4 фирмы «Fritsch» (Германия). Механореактор варио - планетарной мельницы представлял собой герметический контейнер из коррозионностойкой стали с вставкой из твердого сплава ВК-6, размалывающими телами являлись шары из твердого сплава ВК - 6 диаметром 16 мм. При выполнении экспериментов применялся следующий режим: число оборотов главного диска 400 мин$^{-1}$, число оборотов сателлитов – 800 мин$^{-1}$, интенсивность (отношение массы исходных материалов к массе размалывающих шаров) 1:50.

Исследование удельной поверхности выполняли на анализаторе удельной поверхности серии Сорбтометр – М, ЗАО «КАТАКОН», (Россия, г. Новосибирск), значение удельной поверхности устанавливали по термодесорбции азота.

Рентгеновский энергодисперсионный микроанализ выполняли на электронно-сканирующем микроскопе EVO-50XVP фирмы «Carl Zeiss», совмещенном с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром INCA Energy-350 (Англия).

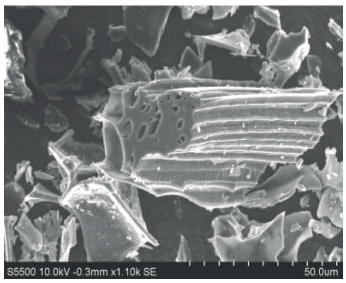
Строение МУНТ исследовали на электронном сканирующем микроскопе высокого разрешения Hitachi S5500 (Япония) с приставкой для просвечивающей микроскопии.

Для подготовки углеродных композитов к вакуумному отжигу (разделения на фракции) применяли толуол каменноугольный ГОСТ 9880-76. Углеродную массу (0.4г) смешивали с 50 мл толуола и отфильтровывали на тонкодисперсном биологическом фильтре, затем просушивали при температуре 60 ºС в сушильном шкафу «Binder». Для удаления аморфного углерода проводили трехступенчатый вакуумный отжиг при температурах 220 - 870 ºС в лабораторной вакуумной печи с графитовым электродом серии System VII фирмы Centorr Vacuum Industries» (США). Первая ступень – 220 ºС, вторая ступень – 550 ºС, третья ступень – 870 ºС.

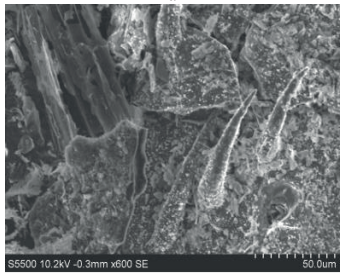
III. Результаты и обсуждения

На начальном этапе исследования из растительного сырья при температуре пиролиза 950 ºС были получены углеродные модификации с аморфной структурой.

Морфология аморфного углерода во всех случаях представлена оригинальной структурой, характерной для конкретного вида растительного сырья (рис.1).



а

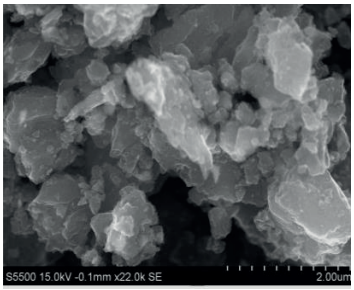


б

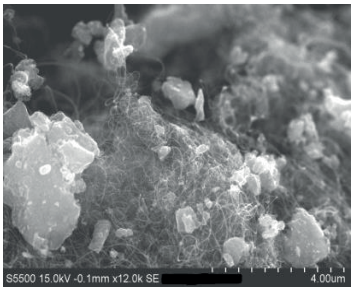
Рис. 1. Морфология аморфного углерода после пиролиза при 950 ºС (СЭМ): а – бамбук; б – кукуруза; а – ×1100; б – ×600

Для выяснения стадийности формирования УНТ были проведены исследования по механоактивации углеродных модификаций, полученных из растительного сырья. Время механообработки составляло от 1 до 46 ч.

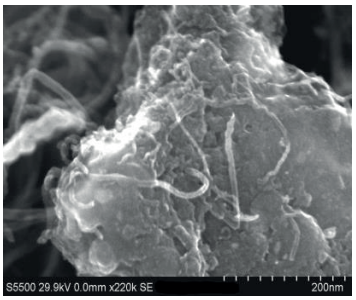
Представлено (рис.2) изменение структуры аморфного углерода, полученного пиролизом из сфагнума бурого, в процессе его механической обработки в планетарной мельнице. Как видно (рис.2а), в течение 1-6ч механоактивации образование УНТ методами электронной микроскопии не фиксируется, аморфный углерод сохраняет свою пластинчатую форму. После 8ч обработки (рис.2б) наблюдается процесс формирования нановолокнистой структуры, который реализуется в массиве углеродной частицы (рис.2в), при этом образуются углеродные нанотрубки диаметром 10 - 20 нм. После 10 ч механоактивации весь объем обрабатываемого материала состоит из углеродных нанотрубок диаметром от 10 до 70 нм (рис.2г). Следует отметить, что при использовании аморфного углерода, полученного пиролизом из кукурузы и сфагнума магелланикума, отдельные частицы размером до 3мкм наблюдаются вплоть до 16ч обработки, а при использовании аморфного углерода из хлопчатника, бамбука и бамии – до 27ч обработки.



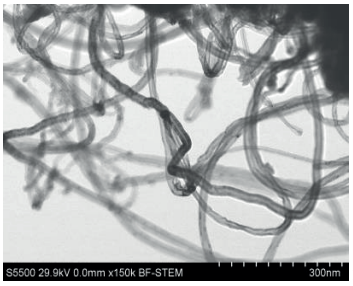
а



б



в



г

Рис. 2. Модификация углерода из сфагнума бурого после пиролиза при 950 ºС и механоактивации в течение, ч: а – 6; б, в – 8; г –10;
а – ×22000; б – ×12000; в – ×220000; г – ×150000; а, б, в – СЭМ изображение; г – ПЭМ изображение.

Дальнейшее увеличение продолжительности механообработки, вплоть до 27ч, приводит только к повышению дефектности углеродных нанотрубок с частичным образованием структур типа «бамбук» и «вложенные наноконусы». УНТ, сформированные посредством механоактивации аморфного углерода имеют довольно высокую удельную поверхность ($S_{уд}$ = 400 – 510 м^2/г) и низкую зольность (~1.5 мас. %).

Ранее было установлено, что объем нанотрубок, сформированных в процессе механоактивации аморфного углерода, линейно зависит от продолжительности механообработки (1-27ч) углеродного композита в варио-планетарной мельнице [3]. Для определения содержания нанотрубок в объеме углеродного композита, проводился трехступенчатый вакуумный отжиг последнего, способствующий удалению из него аморфного углерода. Известно, что углеродные нанотрубки обладают термической устойчивостью при высокотемпературном вакуумном отжиге до температуры 1900 ºС и выше, при этом после термовакуумной обработки не происходит изменения морфологии нанотрубок, что позволяет эффективно рафинировать УНТ и получать продукт с чистотой не менее 99.9 мас. % [6].

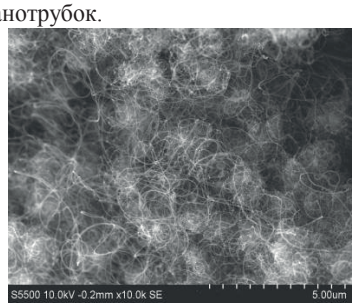
Как видно (таблица), значительное количество углеродных нанотрубок формируется уже через 4ч

механоактивации аморфного углерода, хотя методами электронной микроскопии они не выявляются вплоть до 8ч обработки. Это обусловлено формированием УНТ в объеме частиц аморфного углерода. Максимальное количество углеродных нанотрубок наблюдается для всех исследованных модификаций аморфного углерода при времени механоактивации 36ч. При этом, наибольшее содержание УНТ выявлено после вакуумного отжига углеродной композиции, полученной в результате механоактивации продуктов пиролиза сфагнума бурого, что в два раза превышает значения, полученные при аналогичной обработке другого сфагнового мха – магелланикума.

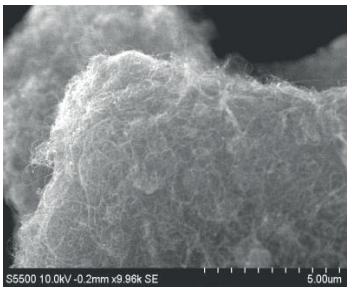
ТАБЛИЦА. СОДЕРЖАНИЕ НАНОТРУБОК, % (МАС.) В УГЛЕРОДНОМ КОМПОЗИТЕ ПОСЛЕ ВАКУУМНОГО ОТЖИГА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

Исходное сырье	Время механоактивации, ч						
	4	7	10	16	27	36	46
Сфагнум бурый	8.28	18.98	43.71	52.67	74.87	79.48	11.49
Кукуруза	6.42	11.52	24.45	34.06	42.75	50.0	8.55
Магелланикум	13.42	23.98	25.4	27.54	33.42	37.26	8.26
Хлопчатник	4.14	8.45	21.84	24.25	26.55	28.72	7.12
Бамбук колючий	1.95	4.12	8.82	12.14	15.91	18.31	5.22
Бамия	2.16	6.28	7.31	8.5	10.77	12.42	6.21

Представлена сканирующая электронная микроскопия углеродных нанотрубок, сформированных в результате механоактивации аморфного углерода, полученного из сфагнума бурого после 36 и 46 ч механической активации (рис. 3). В данном случае углеродные композиции не подвергались вакуумному отжигу. Как видно, нанотрубки, сформированные в результате механической обработки в течение 36ч, обособлены друг от друга и образования скоплений, агрегатов в массиве углеродного материала не наблюдается (рис. 3а). Увеличение времени механической активации до 46ч приводит к образованию войлокоподобных агрегатов размером 20–100мкм, состоящих из углеродных нанотрубок и аморфного углерода (рис. 3 б). Агрегаты формируются, очевидно, за счет электростатического взаимодействия углеродных нанотрубок.



а



б

Рис. 3. Структура углеродных нанотрубок (СЭМ).
Время механоактивации: а – 36ч; б – 46ч; а – ×10000; б – ×9960

Если данный углеродный нанокомпозит с целью удаления аморфного углерода подвергнуть вакуумному отжигу, то наблюдается многократное снижение содержания нанотрубок в продуктах отжига (таблица).

Выводы

Длительная механическая активация аморфного углерода, полученного пиролизом растительного сырья, приводит к образованию нанокомпозитных агрегатов «УНТ + аморфный углерод», что в дальнейшем, при проведении вакуумного отжига способствует потере термической устойчивости углеродных нанотрубок, входящих в состав агрегата. Данное обстоятельство необходимо учитывать при оптимизации технологий производства и рафинирования углеродных нанотрубок, сформированных из продуктов переработки растительного сырья, а также при использовании МУНТ в качестве модификаторов композитных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применение / П.Н Дьячков. – М.: БИНОМ, 2006. – 293с.

[2] Жариков, Е.В. Композиционный материал на основе корунда, армированного углеродными нанотрубками / Е.В. Жариков, К.С. Зараменских, Н.А. Попова [и др.] // Стекло и керамика. – 2011. – № 3– С.12–16.

[3] Онищенко, Д.В. Кинетика формирования многостенных нанотрубок из мха / Д.В. Онищенко, В.П. Рева, В.В. Чаков [и др.] //Химия твердого топлива. – 2013. – № 4. – С. 46–51.

[4] Онищенко, Д.В. Сорбционная активность углеродных нанотрубок, сформированных из сфагнума бурого в процессе механоактивации /Д.В. Онищенко, В.П Рева, Б.А. Воронов // Журнал аналитической химии. – 2014. – Т. 69. –№ 5.– С. 451–455.

[5] Пат. 2509053 РФ, МПК C 01 B 31/02; B 82 B3/00. Способ получения углеродного материала / Онищенко Д.В., Рева В.П., Чаков В.В.; опубл. 10.03.2014, Бюл. №7.

[6] Балаклиенко, Ю.М. Рафинирование углеродных нанотрубок и нановолокон в вакуумных электропечах сопротивления / Ю.М. Балаклиенко, Э.Н. Мармер, С.А. Новожилов // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – N 10(30). – С.89–92.

Научное издание

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

Пленарные доклады

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННЫХ И КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Международная научно-техническая конференция

ДОСТИЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ – В ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Международная молодёжная школа-семинар

(Комсомольск-на-Амуре, 12 – 16 мая 2015 г.)

Материалы и доклады

Статьи публикуются в авторской редакции

Компьютерная вёрстка О. В. Башков, А. А. Попкова, Д. Г. Колыхалов

Подписано в печать 30.04.2015.
Формат 60 × 84 1/8. Бумага 80 г/м^2. Ризограф EZ 570e.
Усл. печ. л. 24,41. Уч.-изд. л. 21,84. Тираж 60 экз. Заказ 27053.

Полиграфическая лаборатория
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.