Непосредственное руководство научными исследованиями в вузе осуществляет проректор по научной работе (заместитель начальника института, академии по научной работе), на факультете (в институте) – декан (директор) или его заместитель по научной работе, на кафедре – заведующий кафедрой. Для управления НИР структурных подразделений вузов создаются специальные органы – научно-исследовательские части, сектора, отделы. Так, в КнАГТУ организация научно-производственной деятельности возложена на Управление научной и исследовательской деятельностью (УНИД).

В соответствии с Федеральным законом РФ от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике» научные работники вправе создавать на добровольной основе общественные объединения (в том числе научные, научно-технические и научно-просветительские общества, общественные академии наук) в порядке, предусмотренном законодательством об общественных объединениях.

Полномочия органов государственной власти субъектов РФ в области формирования и реализации государственной научно-технической политики определены Федеральным законом от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике». Согласно ст. 12 Закона к ведению органов государственной власти субъектов РФ относится: участие в выработке и реализации государственной научно-технической политики; определение приоритетных направлений развития науки и техники в субъектах РФ; формирование научных и научно-технических программ и проектов субъектов РФ; финансирование научной и научно-технической деятельности за счет средств бюджетов субъектов РФ; формирование органов управления в сфере научной и научно-технической деятельности субъектов РФ и межрегиональных органов; управление государственными организациями регионального значения, в том числе их создание, реорганизация и ликвидация; контроль за деятельностью государственных научных организаций федерального значения по вопросам, относящимся к полномочиям органов государственной власти субъектов РФ; формирование межрегиональных и региональных фондов научного, научно-технического и технологического развития; осуществление иных полномочий, не отнесенных федеральными законами к ведению органов государственной власти субъектов РФ.

На уровне субъектов РФ управление в сфере науки непосредственно организуют министерства, управления и другие структурные подразделения местных органов власти. Так, в Хабаровском крае эта функция возложена на Министерство образования и науки Хабаровского края.

5.2. Исследование состава материалов 114
5.3. Методы определения механических свойств 116
5.4. Технологические испытания 171
5.5. Методы оценки сваримаемости 171
5.6. Коррозионные испытания 173
5.7. Методы определения остаточных напряжений 173
5.8. Физические методы испытаний 174
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 174
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 175
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ТИПЫ, ФОРМА И РАЗМЕРЫ ОБРАЗЦОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА И СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПО ГОСТ 6996-69 178
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ СТАНДАРТЫ ПО СВАРКЕ (ПЕРЕЧЕНЬ) 183
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. КЛАССИФИКАТОР МКИ ПО СВАРКЕ 190

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

П. В. Бахматов, В. И. Муравьев

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СВАРКЕ

Утверждено в качестве учебного пособия
Ученым советом Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Комсомольск-на-Амуре
2012

ными органами исполнительной власти, являются договоры (контракты) на создание, передачу и использование научной и (или) научно-технической продукции, оказание научных, научно-технических, инжиниринговых услуг, а также другие договоры. Правительство РФ и органы исполнительной власти субъектов РФ, учредившие государственные научные организации, вправе устанавливать для них обязательный государственный заказ на выполнение научных исследований и экспериментальных разработок.

Согласно ст. 114 Конституции РФ Правительство России обеспечивает проведение единой государственной политики в области науки. Федеральный закон от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике» определил функциональные обязанности и права Правительства, в частности право устанавливать обязательный государственный заказ на научные исследования для удовлетворения им научных организаций, ограничивать и лицензировать отдельные виды деятельности, вводить в необходимых случаях режим секретности, а также обязанность обеспечивать создание федеральных информационных фондов и систем в области науки и техники, организовать использование федерального бюджета в части расходов на научные исследования и проведение экспериментальных разработок.

В ведении Правительства РФ находятся Российский фонд фундаментальных исследований и Российский гуманитарный научный фонд. В уставах этих фондов указано, что они являются некоммерческими организациями в форме федеральных учреждений. Они проводят отбор на конкурсной основе проектов научных исследований, поддерживаемых этими фондами, по изданию научных трудов, организации научных мероприятий (конференций, семинаров и т.п.), развитию экспериментальной базы научных исследований. Фонды финансируют отобранные проекты и мероприятия, контролируют использование выделенных средств, поддерживают международное сотрудничество в области научных исследований.

Федеральным органом исполнительной власти, проводящим государственную политику и осуществляющим управление в сфере науки и технологий гражданского назначения, а также координирующим деятельность в этой сфере иных федеральных органов исполнительной власти, является Министерство образования и науки РФ.

Министерство формирует и обеспечивает единую государственную научно-техническую политику, определяет приоритетные направления развития науки и техники, организует работу по решению важнейших межотраслевых научно-технических проблем, разрабатывает федеральные научно-технические программы и содействует в их реализации, координирует деятельность федеральных органов исполнительной власти в сфере

УДК 621.791.01(07)
ББК 34.641-1я7
Б302

Рецензенты:
Кафедра «Литейное производство и технология металлов»
ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет»,
зав. кафедрой заслуженный деятель науки РФ,
д-р техн. наук, профессор Ри Хосен;
В. В. Черномас, д-р техн. наук, профессор,
зав. лабораторией новых технологий в металлургии
Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН

Бахматов, П. В.
Б302 Металлология научных исследований в сварке : учеб. пособие / П. В. Бахматов, В. И. Муравьев. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2012. – 199 с.
ISBN 978-5-7765-0879-0

В пособии рассмотрена методика исследования, включающая планирование и проведение эксперимента, математическую обработку и графическое представление результатов. Описаны методы измерения параметров сварочных процессов, сварных соединений и их регистрации. Представлено описание современных образцов измерительно-регистрирующей аппаратуры и датчиков, применимых в сварочном производстве.

Пособие предназначено для студентов специальности 150202 – Оборудование и технология сварочного производства, бакалавров и магистров по направлениям 150400 – Технологические машины и оборудование, 150600 – Материаловедение и технология материалов, 150900 – Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств, изучающих курс «Металлология научных исследований». Книга может быть использована при выполнении исследовательских курсовых и дипломных проектов и может быть полезна для специалистов, занимающихся созданием и анализом различных конструкционных и сварочных материалов, металловедов, инженерно-технических работников, связанных с исследованием процессов, происходящих при сварке, разработкой технологии сварки и оборудования в различных областях техники.

ISBN 978-5-7765-0879-0

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», 2012

УДК 621.791.01(07)
ББК 34.641-1я7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…… 5
1. ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ…… 5
1.1. Наука и научное исследование…… 5
1.2. Организация научно-исследовательской работы в РФ…….. 12
2. ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ, ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ……..... 27
2.1. Сбор научной информации по сварке…….. 27
2.2. Задачи экспериментального исследования……..…….. 32
2.3. Ошибки при измерениях и их оценка……. 35
2.4. Методические основы планирования эксперимента……..….. 37
2.5. Статистическое моделирование…….. 39
2.6. Особенности планирования и проведения исследования по оптимизации процесса…… 42
2.7. Принятие решений перед планированием эксперимента…… 47
2.8. Пример статистического моделирования процесса..……..... 55
2.9. Графическое представление результатов экспериментального исследования……. 59
3. ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ..…….. 62
3.1. Общие положения……..……. 62
3.2. Единицы физических величин в международной системе единиц (СИ)…….. 62
3.3. Параметры, датчики измерений…….. 64
3.4. Измерительно-регистрирующие приборы…… 65
3.5. Измерение сварочных токов и напряжений…….. 66
3.6. Измерение времени сварки……. 70
3.7. Измерение расходов сварочных материалов……. 70
3.8. Измерение давлений и усилий……..….. 71
3.9. Измерение температуры…….. 72
3.10. Измерение перемещений и деформаций…….. 74
4. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ……..…. 75
4.1. Сварочные источники тепла…….. 76
4.2. Тепловые процессы…….. 77
4.3. Металлургические процессы……... 78
4.4. Превращения и термодеформационные процессы……... 78
5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ…….. 81
5.1. Методы выявления структуры сварных швов……... 82

научно-технической информации, разрабатывает и осуществляет меры по сохранению и развитию научно-технического потенциала России.

Другим федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим исполнительные, контрольные, разрешительные, регулирующие и организационные функции в области охраны промышленной собственности (изобретения, промышленные образцы и др.), правовой охраны для ЭВМ, баз данных и топологий интегральных микросхем, является Российское агентство по патентам и товарным знакам. Агентство принимает к рассмотрению заявки на выдачу патентов, свидетельств на объекты промышленной собственности, проводит экспертизу этих заявок, осуществляет государственную регистрацию объектов промышленной собственности, выдает охранные документы и выполняет другие функции.

Федеральные органы исполнительной власти в сферах науки и образования работают во взаимодействии с Российской академией наук, отраслевыми академиями наук, сотрудничают с образовательными учреждениями высшего профессионального образования, общественными научными объединениями.

Высшим научным учреждением страны является Российская академия наук (РАН). РАН проводит фундаментальные и прикладные научные исследования по важнейшим проблемам естественных, гуманитарных и технических наук, принимает участие в координации фундаментальных научно-исследовательских работ, выполняемых научными организациями и высшими учебными заведениями, финансируемыми из федерального бюджета.

На протяжении почти трех столетий существования Академии наук менялись её задачи, статус и структура. Сейчас Академия построена по научно-отраслевому и территориальному принципу и включает 9 отделений РАН (по областям науки) и 3 региональных отделения РАН: Сибирское, Уральское и Дальневосточное, а также 14 региональных научных центров РАН. Дальневосточное отделение включает Приморский, Амурский, Сахалинский, Камчатский, Северо-Восточный и Хабаровский научные центры. В состав РАН входят многочисленные институты, в том числе Институт материаловедения (г. Хабаровск) и Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН (г. Комсомольск-на-Амуре).

Высшим органом управления РАН является общее собрание, которое избирает ее руководство – президента, вице-президентов, членов Президиума. Всей деятельностью Академии в период между сессиями общего собрания руководит президент РАН.

Всего в Академии (по состоянию на июль 2008 г.) насчитывается 470 научных учреждений, более 55 тыс. научных сотрудников, в том числе не более 522 академиков и 822 членов-корреспондентов.

Членами Академии могут быть физические и юридические лица. Физические лица, как правило, должны иметь ученую степень кандидата или доктора наук.

Задачами Академии являются: консолидация научных кадров; организация взаимного сотрудничества между членами академии в научной деятельности; содействие в организации и проведении прикладных и фундаментальных научно-исследовательских работ; материальная поддержка и поощрение представителей российской науки, создание условий для развития творческих способностей молодых ученых и др.

Помимо РАН функционируют отраслевые академии наук: Российская академия архитектуры и строительных наук, Российская академия медицинских наук, Российская академия образования, Российская академия сельскохозяйственных наук, Российская академия художества. Эти академии имеют государственный статус: они учреждаются федеральными органами исполнительной власти, финансируются из федерального бюджета.

Отраслевые академии наук являются самоуправляемыми организациями, проводят фундаментальные и прикладные научные исследования в соответствующих областях науки и техники и участвуют в координации этих научных исследований. Отраслевые академии наук имеют региональные центры.

Постановлением Правительства РФ от 11 июля 1994 г. РАЕН НИИ присвоен статус государственного научного центра РФ и утверждены положения об условиях государственного обеспечения этих центров. На центры возложены: функции проведения в соответствии с утвержденными программами фундаментальных, поисковых и прикладных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ; участие в разработке и реализации федеральных целевых программ; подготовка и переподготовка научных кадров; участие в выполнении обязательств, предусмотренных межгосударственными соглашениями, договорами и другими документами о научно-техническом сотрудничестве.

Большой объем научных исследований в стране выполняется высшими учебными заведениями (университетами, академиями, институтами).

Согласно ст. 8 Федерального закона РФ от 22 августа 1996 г. «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», одной из задач вуза является развитие наук и искусств посредством научных исследований и творческой деятельности научно-педагогических работников и обучающихся, использование полученных результатов в образовательном процессе. Для реализации этой задачи в вузах организуются научные подразделения – научно-исследовательские и проектные институты, лаборатории, конструкторские бюро и иные организации, деятельность которых связана с образованием.

1.2. Организация научно-исследовательской работы в РФ

1.2.1. Управление в сфере науки

Законодательную основу регулирования отношений между субъектами научной и научно-технической деятельности, органами власти и потребителями научной и научно-технической продукции образует Федеральный закон от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике».

Под руководством Президента РФ разработаны «Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу». Важнейшими направлениями государственной политики в области развития науки и технологий являются:

- развитие фундаментальной науки, важнейших прикладных исследований и разработок;
- совершенствование государственного регулирования в области развития науки и технологий;
- формирование национальной инновационной системы;
- повышение эффективности использования результатов научной и научно-технической деятельности;
- сохранение и развитие кадрового потенциала научно-технического комплекса;
- интеграция науки и образования;
- развитие международного научно-технического сотрудничества.

В Российской Федерации управление научной и (или) научно-технической деятельностью осуществляется на основе сочетания принципов государственного регулирования и самоуправления.

Органы государственной власти, учреждающие государственные научные организации, утверждают их уставы, осуществляют контроль за эффективным использованием и сохранностью предоставленного им имущества и другие функции в пределах своих полномочий. В соответствии со ст. 7 Закона от 23 августа 1996 г. органы государственной власти России и субъектов РФ, научные организации и организации научного обслуживания и социальной сферы в пределах своих полномочий определяют приоритетные направления развития науки и техники, обеспечивают формирование системы научных организаций, межотраслевую координацию научной и (или) научно-технической деятельности, разработку и реализацию научных и научно-технических программ и проектов, развитие форм интеграции науки и производства, реализацию достижений науки и техники.

Основной правовой формой отношений между научной организацией, заказчиком и иными потребителями научной и (или) научно-технической продукции, в том числе министерствами и иными федераль-

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях совершенствования российского законодательства, увеличения научной и технической информации, быстрого обновления знаний серьезное значение приобретает подготовка высококвалифицированных специалистов-сварщиков, имеющих высокую профессиональную и теоретическую подготовку, способных к самостоятельной творческой работе. В связи с этим учебные планы вузов, осуществляющих подготовку инженеров-сварщиков, предусматривают выполнение студентами курсовых и выпускных квалификационных работ. Различные формы учебно-исследовательской работы студентов (подготовка рефератов, сообщений, докладов, проведение исследований во время производственной практики и т.д.) включаются в учебный процесс, проводятся в учебное время. Во внеучебное время студенты работают в проблемных группах, научных кружках, участвуют в работе научно-практических конференций, оказывают помощь преподавателям в реализации научных направлений кафедры и выполняют другие виды научно-исследовательской работы. Все это должно помочь студентам глубоко усвоить различные дисциплины, выработать способность творчески мыслить, научиться самостоятельно выполнять хотя бы небольшие научно-исследовательские работы, анализировать и обобщать полученную в ходе экспериментального исследования информацию.

1. ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Наука и научное исследование

1.1.1. Понятие науки и классификация наук

Понятие «наука» имеет несколько основных значений [1]. Во-первых, под наукой понимается сфера человеческой деятельности, направленной на выработку и систематизацию новых знаний о природе, обществе, мышлении и познании окружающего мира. Во-вторых, наука выступает как результат этой деятельности – система полученных научных знаний. В-третьих, наука понимается как одна из форм общественного сознания, социальный институт. В последнем значении она представляет собой систему взаимосвязей между научными организациями и членами научного сообщества, а также включает системы научной информации, норм и ценностей науки и т.п.

Непосредственные цели науки – получение знаний об объективном и о субъективном мире, постижение объективной истины.

математика, военное дело, архивное дело. Кроме того, он дал классификацию так называемых «стыковых» наук:

- промежуточные науки, возникшие на границе двух существующих наук (например, математическая логика, физическая химия);
- скрещенные науки, которые образовались путем соединения принципов и методов двух отдаленных друг от друга наук (например, геофизика, экономическая география);
- комплексные науки, которые образовались путем скрещивания ряда теоретических наук (например, океанология, кибернетика, науковедение).

В статистических сборниках обычно выделяют следующие секторы науки: академический, отраслевой, вузовский и заводской.

1.1.2. Научное исследование

Формой существования и развития науки является научное исследование. В ст. 2 Федерального закона РФ от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике» дано следующее понятие: научная (научно-исследовательская) деятельность – это деятельность, направленная на получение и применение новых знаний. Научное исследование – это деятельность, направленная на всестороннее изучение объекта, процесса или явления, их структуры и связей, а также получение и внедрение в практику полезных для человека результатов. Его объектом являются материальная или идеальная система, а предметом – структура системы, взаимодействие ее элементов, различные свойства, закономерности развития и т.д.

Научные исследования классифицируются по различным основаниям [2, 3].

По источнику финансирования различают научные исследования: бюджетные, хозяйственные и нефинансируемые. Бюджетные исследования финансируются из средств бюджета РФ или бюджетов субъектов РФ. Хозяйственные исследования финансируются организациями-заказчиками по хозяйственным договорам. Нефинансируемые исследования могут выполняться по инициативе ученого, индивидуальному плану преподавателя.

В нормативных правовых актах о науке (ФЗ от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике») научные исследования делят по целевому назначению на фундаментальные, прикладные и поисковые разработки.

Фундаментальные научные исследования – это экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей природной среды.

Прикладные научные исследования – это исследования, направленные преимущественно на применение новых знаний для достижения практических целей и решения конкретных задач. Иными словами, они направлены на решение проблем использования научных знаний, полученных в результате фундаментальных исследований, в практической деятельности людей.

Поисковыми называют научные исследования, направленные на определение перспективности работы на темой, отыскание путей решения научных задач.

Разработкой называют научные исследования, которое направлено на внедрение в практику результатов конкретных фундаментальных и прикладных исследований.

По длительности научные исследования можно разделить на долгосрочные, краткосрочные и экспресс-исследования.

В зависимости от форм и методов исследования некоторые авторы выделяют экспериментальное, методическое, описательное, экспериментально-аналитическое, историко-биографическое исследования и исследования смешанного типа.

1.1.3. Понятие метода и методологии научных исследований

Метод научного исследования – это способ познания объективной действительности. Способ представляет собой определенную последовательность действий, приемов, операций [4].

В зависимости от содержания изучаемых объектов различают методы естествознания и методы социально-гуманитарного исследования.

Методы исследования классифицируют по отраслям науки: математические, биологические, медицинские, социально-экономические, правовые и т.д.

В зависимости от уровня познания выделяют методы эмпирического, теоретического и метатеоретического уровней.

К методам эмпирического уровня относят наблюдение, описание, сравнение, счет, измерение, анкетный опрос, собеседование, тестирование, эксперимент, моделирование и т.д.

К методам теоретического уровня причисляют аксиоматический, гипотетико-дедуктивный), формализацию, абстрагирование, общелогические методы (анализ, синтез, индукцию, дедукцию, аналогию) и др.

Методами метатеоретического уровня являются диалектический, метафизический, герменевтический и др. Некоторые ученые к этому уровню относят метод системного анализа, а другие его включают в число общелогических методов.

В зависимости от сферы применения и степени общности различают методы: всеобщие (философские), действующие во всех науках и на всех этапах познания; общенаучные, которые могут применяться в гуманитарных, естественных и технических науках; частные – для родственных наук; специальные – для конкретной науки, области научного познания.

От рассматриваемого понятия метода следует отграничивать понятия техники, процедуры и методики научного исследования.

Под техникой исследования понимают совокупность специальных приемов для использования того или иного метода, а под процедурой исследования – определенную последовательность действий, способ организации исследования.

Методика – это совокупность способов и приемов познания. Например, под методикой исследований в сварке понимают систему способов, приемов, средств сбора, обработки, анализа и оценки информации о явлениях, происходящих в процессе получения неразъемного соединения, её причинах и условиях, влияния источника нагрева и других физико-химических явлениях.

Любое научное исследование осуществляется определенными приемами и способами, по определенным правилам. Учение о системе этих приемов, способов и правил называют методологией. Впрочем, понятие «методология» в литературе употребляется в двух значениях:

1) совокупность методов, применяемых в какой-либо сфере деятельности (науке, политике и т.д.);

2) учение о научном методе познания.

Каждая наука имеет свою методологию. Существуют следующие уровни методологии:

1) всеобщая методология, которая является универсальной по отношению ко всем наукам и в содержание которой входят философские и общенаучные методы познания;

2) частная методология научных исследований для группы родственных технических наук, которую образуют философские, общенаучные и частные методы познания, например, физико-химических явлений при сварке;

3) методология научных исследований конкретной науки, в содержание которой включаются философские, общенаучные, частные и специальные методы познания.

1.1.4. Этапы научно-исследовательской работы

Для успеха научного исследования его необходимо правильно организовать, спланировать и выполнять в определенной последовательности. Эти планы и последовательность действий зависят от вида, объекта и це-

лей научного исследования. Так, если оно проводится на технические темы, то вначале разрабатывается основной предплановый документ – технико-экономическое обоснование, а затем осуществляются теоретические и экспериментальные исследования, составляется научно-технический отчет и результаты работы внедряются в производство [5].

Применительно к работам студентов можно наметить следующие последовательные этапы их выполнения:

- подготовительный;
- проведение теоретических и эмпирических исследований;
- работа над рукописью и её оформление;
- внедрение результатов научного исследования.

Представляется необходимым сначала дать общую характеристику каждому этапу научно-исследовательской работы, а затем более подробно рассмотреть те из них, которые имеют важное значение для выполнения научных исследований студентами.

Подготовительный этап включает: выбор темы; обоснование необходимости проведения исследования по ней; определение гипотез, целей и задач исследования; разработку плана или программы научного исследования; подготовку средств исследования (инструментария).

Вначале формулируется тема научного исследования и обосновываются причины её разработки. Путем предварительного ознакомления с литературой и материалами ранее проведенных исследований выясняется, в какой мере вопросы темы изучены и каковы полученные результаты. Особое внимание следует уделить вопросам, на которые ответов вообще нет либо они недостаточны. Составляется список нормативных документов отечественной и зарубежной литературы. Разрабатывается методика исследования. Подготавливаются средства НИР.

Исследовательский этап состоит из систематического изучения литературы по теме, статистических сведений и архивных материалов; проведения теоретических и эмпирических исследований, проведения эксперимента; обработки, обобщения и анализа полученных данных; объяснения новых научных фактов, аргументирования и формулирования положений, выводов и практических рекомендаций и предложений.

Третий этап включает: определение композиции (построения, внутренней структуры) работы; уточнение заглавия, названий глав и параграфов; подготовку черновой рукописи и её редактирование; оформление текста, в том числе списка использованной литературы и приложений.

Четвертый этап состоит из внедрения результатов исследования в практику и авторского сопровождения внедряемых разработок. Научные исследования не всегда завершаются этим этапом, но иногда научные работы студентов (например, дипломные работы) рекомендуются для внедрения в практическую деятельность промышленных предприятий и в учебный процесс.

Задачи науки:

- собирание, описание, анализ, обобщение и объяснение фактов;
- обнаружение законов движения природы, общества, мышления и познания;
- систематизация полученных знаний;
- объяснение сущности явлений и процессов;
- прогнозирование событий, явлений и процессов;
- установление направлений и форм практического использования полученных знаний.

Структура (система) науки может быть представлена по-разному в зависимости от оснований деления составляющих ее элементов. Так, В. П. Кохановский по одному из оснований деления различает: а) науку, которая наряду с истинным включает неистинные результаты (религиозные, магические представления, определенные противоречия и парадоксы, личные пристрастия, антипатии, ошибки и т.д.); б) твердое ядро науки – достоверный, истинный пласт знаний; в) историю науки; г) социологию науки.

Науку можно рассматривать как систему, состоящую из теории; методологии, методики и техники исследований; практики внедрения полученных результатов.

Если науку рассматривать с точки зрения взаимодействия субъекта и объекта познания, то она включает в себя следующие элементы:

1) объект (предмет) – то, что изучает конкретная наука, на что направлено научное познание;

2) субъект – конкретный исследователь, научный работник, специалист научной организации, организация;

3) научную деятельность субъектов, применяющих определенные приемы, операции, методы для постижения объективной истины и обнаружения законов действительности.

Классификация наук

Наибольшую известность получила классификация наук, данная Ф. Энгельсом в «Диалектике природы». Исходя из развития движущейся материи от низшего к высшему, он выделил механику, физику, химию, биологию, социальные науки. На этом же принципе субординации форм движения материи основана классификация наук Б. М. Кедрова. Он различал шесть основных форм движения материи: субатомно-физическую, химическую, молекулярно-физическую, геологическую, биологическую и социальную.

В настоящее время в зависимости от сферы, предмета и метода познания различают науки: о природе – естественные; об обществе – гуманитарные и социальные; о мышлении и познании – логика, гносеология, эпистемология и др.

В Классификаторе направлений и специальностей высшего профессионального образования с перечнем магистерских программ (специализаций), разработанных научно-методическими советами – отделениями УМО по направлениям образования, выделены:

1) естественные науки и математика (механика, физика, химия, биология, почвоведение, география, гидрометеорология, геология, экология и др.);

2) гуманитарные и социально-экономические науки (культурология, теология, филология, философия, лингвистика, журналистика, книговедение, история, политология, психология, социальная работа, социология, регионоведение, менеджмент, экономика, физическая культура, коммерция, агроэкономика, статистика, искусство, юриспруденция и др.);

3) технические науки (строительство, полиграфия, телекоммуникации, металлургия, горное дело, электроника и микроэлектроника, геодезия, радиотехника, архитектура и др.);

4) сельскохозяйственные науки (агрономия, зоотехника, ветеринария, агроинженерия, лесное дело, рыболовство и др.).

Обратим внимание на то, что в этом Классификаторе технические и сельскохозяйственные науки выделены в отдельные группы, а математика не отнесена к естественным наукам.

В Номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Министерством образования и науки РФ 25 февраля 2009 г., указаны следующие отрасли науки: геолого-минералогические, географические, технические, физико-математические, биологические, сельскохозяйственные, фармацевтические, экономические, химические, психологические, медицинские, ветеринарные, социологические, политические, юридические, педагогические, филологические, искусствоведение, исторические, культурология, философские, архитектура.

Существуют и другие классификации наук. Например, в зависимости от связи с практикой науки делят на фундаментальные (теоретические), которые выясняют основные законы объективного и субъективного мира и прямо не ориентированы на практику, и прикладные, которые направлены на решение технических, производственных, социально-технических проблем.

Оригинальную классификацию наук предложил Л. Г. Джахая. Разделив науки о природе, обществе и познании на теоретические и прикладные, он внутри этой классификации выделил философию, основные науки и отпочковавшиеся от них частные науки. Например, к основным теоретическим наукам об обществе он отнес историю, политэкономию, правоведение, этику, искусствоведение, языкознание. Эти науки имеют более дробное деление, например: история делится на этнографию, археологию и всемирную историю. Государствоведению как основной прикладной науке корреспондируют политика, управленческое дело, судопроизводство, кри-

Чтобы на конспектирование затратить меньше времени, прибегают к различного рода сокращениям: стандартным (гос., ж.д., обл. и т.д.), аббревиатурам (например, СТП, ЭЛС, СПВЭ и пр.), знакам-символам (например, к математическим: =, >, <, + и др.), указывают начальную букву слова (энциклопедический метод) либо вводят свои знаки.

Выписки из книг должны быть точными. Если требуется без искажений передать мысль автора, то прибегают к дословным выпискам-цитатам. В случае использования студентом в своей научной работе этих выписок необходимо точно записать источник заимствования, т.е. дать его библиографическое описание по ГОСТ 7.1-2003 и указать номера страниц, с которых они сделаны [9].

Если нет необходимости в тщательной проработке публикации, то можно составить ее план или реферат. Планом книги является ее оглавление. При реферировании в малом по объему тексте кратко излагаются основные положения и выводы, содержащиеся в публикации.

Некоторые читатели при работе с книгой делают всякого рода пометки на полях и выделения в тексте, обращая внимание на важные или спорные положения, выводы и аргументы. Однако «черкать» можно только свою книгу, а не библиотечную. Поэтому, работая с библиотечным изданием, прибегают к закладкам с надписями, которые помогают быстро найти нужную информацию [10, 11].

Одним из способов сбора информации являются вырезки из газет и журналов. На каждой вырезке необходимо указать источник (название газеты или журнала, год, номер, дату выпуска), чтобы впоследствии можно было сделать ссылку на использованную публикацию. Для систематизации вырезок можно составить картотеку, список или просто разложить их по тематическим папкам.

2.2. Задачи экспериментального исследования

Задачи, решаемые при экспериментальном исследовании процессов сварки, можно условно разделить на три группы: 1) определение сущности физико-химических явлений при сварке; 2) статистическое выявление количественной связи конечного параметра процесса с исходным; 3) оптимизация процесса.

1) Наиболее сложными являются задачи, связанные с исследованием механизма и физико-химической сущности явлений, протекающих в исследуемом объекте. Постановка опытов в этом случае производится после полного теоретического анализа процессов и явлений на основе литературных данных и результатов математического моделирования совокупности процессов и явлений в объекте исследования. Необходимость экспериментального исследования возникает в том случае, если отсутствуют литературных данных и результатов математического моделирования совокупности процессов и явлений в объекте исследования. Необходимость экспериментального исследования возникает в том случае, если отсутствуют литературных данных и результатов математического моделирования совокупности процессов и явлений в объекте исследования. Необходимость экспериментального исследования возникает в том случае, если отсутствуют лите-

1.2.2. Ученые степени и ученые звания

Субъектами научной и (или) научно-технической деятельности в Российской Федерации являются физические и юридические лица. В Федеральном законе от 23 августа 1996 г. «О науке и государственной научно-технической политике» физические лица разделены на три группы: научные работники (исследователи), специалисты научной организации (инженерно-технические работники) и работники сферы научного обслуживания. К научным работникам относятся граждане, обладающие необходимой квалификацией и профессионально занимающиеся научной и (или) научно-технической деятельностью. Специалистами научной организации являются граждане, имеющие среднее профессиональное или высшее профессиональное образование и способствующие получению научного и (или) научно-технического результата или его реализации. Работники сферы научного обслуживания – это граждане, обеспечивающие создание необходимых условий для научной и (или) научно-технической деятельности в научной организации.

Субъектами научной деятельности в системе высшего и послевузовского профессионального образования являются научно-технические, научные и инженерно-технические работники, докторанты, аспиранты, соискатели, а также студенты и слушатели. К научно-техническим работникам относятся лица, занимающие должности директора института, декана факультета, заведующего кафедрой, профессора, доцента, старшего преподавателя и ассистента.

Должности профессора и доцента следует отличать от сходных по названию ученых званий. Работник может замещать одну из этих должностей, имея неадекватное ей ученое звание либо не обладая каким-либо ученым званием.

Согласно ст. 22 Федерального закона от 22 августа 1996 г. «О высшем и послевузовском образовании» в Российской Федерации установлены ученые звания профессора и доцента.

В адресованном Председателю Правительства РФ М.М. Касьянову Парламентском запросе «О практике необоснованного присвоения ученого звания академика» отмечалась практика необоснованного присвоения ученого звания академика членам общественных академий наук и содержалась просьба принять меры по ее прекращению. Однако такого ученого звания в России не существует. Единый реестр ученых степеней и ученых званий, утвержденный постановлением Правительства РФ от 30 января 2002 г., установил следующие ученые звания для научно-технических и научных работников:

- профессора по кафедре образовательного учреждения высшего профессионального и дополнительного профессионального образования;

сти старшего научного сотрудника, главного научного сотрудника, заведующего (начальника) научно-исследовательским отделом (отделением, сектором), ученого секретаря, заместителя директора, директора в научных организациях, научных подразделениях вузов и учреждениях повышения квалификации и соответствующим требованиям п. 17 Положения от 29 марта 2002 г.

Доцент, как минимум, должен иметь ученую степень кандидата наук. Она присуждается диссертационным советом по результатам публичной защиты диссертации соискателем, имеющим высшее профессиональное образование.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющее существенное значение для соответствующей отрасли знаний, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки, имеющие существенное значение для экономики или обеспечения обороноспособности страны (п. 8 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

Вместе с тем при наличии условий, обозначенных в пп. 13-16 Положения о порядке присвоения ученых званий, ученое звание доцента может быть присвоено без защиты диссертации, в виде исключения, лицам, имеющим высшее образование, работникам искусств, специалистам физической культуры и спорта, высококвалифицированным специалистам, лучшим международное или всероссийское признание в конкретной области знаний.

1.2.3. Подготовка научных и научно-педагогических кадров

В ст. 21 Федерального закона от 22 августа 1996 г. «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» сказано, что подготовка научно-педагогических работников осуществляется в аспирантуре и докторантуре вузов, научных учреждений или организаций, а также путем прикрепления к указанным учреждениям или организациям соискателей для подготовки и защиты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук или доктора наук либо путем перевода педагогических работников на должности научных работников для подготовки диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. Однако в настоящее время подготовка научно-педагогических кадров осуществляется еще и в магистратуре, поскольку согласно Положению о магистерской подготовке (магистратуре) в системе многоуровневого высшего образования Российской Федерации, утвержденному постановлением Госкомвуза от 10 августа 1993 г., подготовка магистров ориентирована на научно-исследовательскую и научно-педагогическую деятельность.

источников рекомендуется начинать с его тщательного изучения. Предметный и авторский указатели, составленные по материалам прошедшего года, помогают быстрее сориентироваться и найти верный путь в море информации.

Обзорное издание – это информационное издание, содержащее публикацию одного или нескольких обзоров, включающих результаты анализа и обобщения представленных в источниках сведений.

Издания могут быть неперiодическими, периодическими и продолжающимися.

Неперiодическое издание выходит однократно, и его продолжение заранее не предусмотрено. Это книги, брошюры, листовки. Книга - книжное издание объемом свыше 48 страниц. Брошюра – книжное издание объемом свыше 48 страниц, но не более 48 страниц. Текстовое листовое издание объемом от одной до четырех страниц называется листовкой.

Периодическое издание выходит через определенные промежутки времени, постоянным для каждого года числом номеров (выпусков), не подлежащими по содержанию, однотипно оформленными, нумерованными и (или) датированными выпусками, имеющими единаковое заглавие. Это газеты, журналы, бюллетени, вестники.

Газета – периодическое газетное издание, выходящее через кратные промежутки времени, содержащее официальные материалы, оперативную информацию и статьи по актуальным общественно-политическим, научным, производственным и другим вопросам, а также литературные произведения и рекламу.

Журнал – это периодическое текстовое издание, содержащее статьи или рефераты по различным общественно-политическим, научным, производственным и другим вопросам, иллюстрированное постоянным заголовком, официально утвержденное в качестве данного вида издания. В России выпускаются следующие журналы по сварке и родственным технологиям: «Сварочное производство», «Техническая диагностика», «Сварка и диагностика», «Контроль. Диагностика», «Автоматическая сварка», «Сварка в России», «Сварщик в Сибири», «Авиационная промышленность», «Затовительное производство», «Известия ВУЗов», «Заводская лаборатория» и др. Наш университет выпускает журнал «Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета». Сер. Науки о природе и технике», где также публикуются статьи профессорско-преподавательского состава кафедры «Технологии сварочного производства».

Выделены и вестники могут быть периодическими или продолжающимися изданиями. Продолжающиеся издания выходят через неопределенные промежутки времени, по мере накопления материала, не повто-

- доцента по кафедре образовательного учреждения высшего профессионального и дополнительного профессионального образования;

- профессора по специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников;

- доцента по специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников.

Положение о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней и присвоении научным работникам ученых званий, утвержденное постановлением Правительства РФ от 24 октября 1994 г., предусматривало присвоение ученого звания старшего научного сотрудника по специальности. В настоящее время это Положение утратило силу. Присвоенное ранее ученое звание старшего научного сотрудника теперь соответствует ученому званию доцента по специальности.

Согласно п. 6 Положения о порядке присвоения ученых званий, утвержденного постановлением Правительства РФ от 29 марта 2002 г., ученое звание профессора по кафедре может быть присвоено докторам наук, замещающим по трудовому договору должности профессора, заведующего кафедрой, декана факультета, руководителя филиала или института, проректора, ректора вуза или учреждения повышения квалификации, если они имеют опубликованные учебно-методические и научные работы, читают курс лекций на высоком профессиональном уровне, а также на момент представления аттестационных документов:

а) успешно работают в указанных должностях в течение года;

б) имеют стаж научно-педагогической работы не менее десяти лет, из них не менее пяти лет педагогической работы в вузах или учреждениях повышения квалификации;

в) являются авторами (соавторами) учебника (учебного пособия) или не менее трех учебно-методических работ, опубликованных за последние три года;

г) являются авторами (соавторами) монографии (главы в монографии) или не менее трех научных работ, опубликованных за последние три года;

д) подготовили в качестве научных руководителей или научных консультантов, как правило, не менее двух учеников, которым присуждены ученые степени.

Ученое звание профессора по специальности может быть присвоено докторам наук, замещающим по трудовому договору должности ведущего научного сотрудника, главного научного сотрудника, заведующего (начальника) научно-исследовательским отделом (отделением, сектором, лабораторией), ученого секретаря, заместителя директора, директора в научных организациях, научных подразделениях вузов или учреждений повышения квалификации и соответствующим требованиям п. 11 Положения.

Одно из основных условий присвоения ученого звания профессора – наличие у работника ученой степени доктора наук. В соответствии с Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 30 января 2002 г., ученая степень доктора наук присуждается президиумом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования РФ на основании ходатайства диссертационного совета, принятого по результатам публичной защиты диссертации соискателем, имеющим ученую степень кандидата наук. Диссертация на соискание ученой степени доктора наук представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение, либо решена крупная научная проблема, имеющая важное социально-культурное или хозяйственное значение, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности.

Однако ученое звание профессора по кафедре может быть присвоено без защиты докторской диссертации кандидатам наук (в виде исключения), работникам искусств, специалистам физической культуры и спорта, крупным специалистам, получившим международное или всероссийское признание в конкретной отрасли знаний, если их деятельность соответствует требованиям пп. 6-10 Положения о порядке присвоения ученых званий.

Ученое звание доцента по кафедре может быть присвоено докторам и кандидатам наук, замещающим по трудовому договору должности доцента, профессора, заведующего кафедрой, декана факультета, руководителя филиала или института, проректора, ректора вуза или учреждения повышения квалификации, если они имеют опубликованные учебно-методические и научные работы, читают курс лекций или ведут занятия на высоком профессиональном уровне, а также на момент представления аттестационных документов:

а) успешно работают в указанных должностях в течение года;

б) имеют стаж научно-педагогической работы не менее пяти лет, из них не менее трех лет педагогической работы в вузах или учреждениях повышения квалификации;

в) являются авторами (соавторами) учебника (учебного пособия) или не менее двух учебно-методических работ, опубликованных за последние три года;

г) являются авторами (соавторами) монографии (главы в монографии) или не менее двух научных работ, опубликованных за последние три года.

Ученое звание доцента по специальности может быть присвоено докторам, кандидатам наук, замещающим по трудовому договору должно-

ряющимися по содержанию, однотипно оформленными и (или) датированными выпусками, имеющими общее заглавие.

Бюллетень (вестник) – это периодическое или продолжающееся издание, выпускаемое оперативно, содержащее краткие официальные материалы по вопросам, входящим в круг ведения выпускающей его организации.

Кроме того, необходимо использовать нормативную (ГОСТ – государственный стандарт, СНиП – санитарные нормы и правила, ОСТ – отраслевой стандарт, РД – руководящий документ, ПБ – правила безопасности) и патентную документацию. Эту информацию можно соответственно найти в отделе менеджмента качества ФГБОУ ВПО «КнАГТУ».

Основные стандарты, используемые при создании сварных соединений и конструкций, приведены в прил. 2, патентный поиск производят в соответствии с международным классификатором изобретений (МКИ) (прил. 3).

Изучение литературы начинается с подбора и составления списка (картотеки) нормативных правовых актов, учебников, учебных пособий, монографий, журнальных и газетных статей, опубликованной юридической практики. Необходимо просмотреть в библиотеках систематические, алфавитные и предметные каталоги, каталоги авторефератов диссертаций, журнальных и газетных статей [6].

В алфавитном каталоге названия книг (карточки) расположены в алфавитном порядке, который определяется по первому слову библиографического описания издания (фамилии автора или названию издания, автор которого не указан).

В систематическом каталоге карточки расположены по отдельным отраслям знаний в порядке, определяемом библиографической классификацией. Разновидностью такого каталога является каталог новых поступлений, в котором содержатся названия книг, поступивших в библиотеку в течение последних месяцев.

В предметном каталоге названия книг размещены по определенным предметам (темам) исследования, отраженным в рубриках. Сами рубрики и названия книг в этом каталоге следуют друг за другом в алфавитном порядке.

Для подбора литературы полезно воспользоваться библиографическими и реферативными изданиями. Необходимо просмотреть сварочные журналы, в частности последние номера за тот или иной год, в которых даны указатели материалов, опубликованных в журнале за год. Можно просмотреть постраничные ссылки на использованную литературу в монографиях, учебных пособиях и журнальных статьях. Нельзя упускать из вида сборники научных трудов вузов и научно-исследовательских учреждений, тезисы и материалы научно-практических конференций. Ценную информацию, особенно при изучении спорных вопросов темы, студент может получить из рецензий на работы ученых и преподавателей. Наконец, неко-

торые учебники, учебные пособия, учебные программы, планы семинаров и практических занятий по дисциплине, к которой имеет отношение выбранная студентом тема исследования, содержат списки нормативных актов, основной и дополнительной литературы [7, 8].

Изучение специальной литературы (монографий, учебников, учебных пособий, сборников научных трудов и др.) рекомендуется проводить в определенной последовательности. Сначала следует ознакомиться с книгой в общих чертах. Необходимость этого этапа определяется тем, что вовсе не обязательно тратить время на прочтение каждой книги, возможно, вам понадобится лишь отдельная ее часть или даже просто конкретная информация. В этих целях может оказаться достаточным прочитать справочный аппарат издания, который включает: выходные сведения (заглавие, автор, издающая организация, год издания, аннотация, выпускные данные и т.д.); оглавление или содержание; библиографические ссылки и списки; предисловие, вступительную статью, послесловие или заключение. Такое ознакомление с книгой поможет установить, целесообразно ли дальнейшее ее изучение.

Существует два способа чтения книги: беглый просмотр ее содержания и тщательная проработка текста.

Путем беглого просмотра можно ознакомиться с книгой в общих чертах. В результате такого «поискового» чтения может оказаться, что в ней содержится нужная информация и требуется скрупулезно ее изучить.

Тщательная проработка текста заключается не только в полном его прочтении, но и в усвоении, осмыслении, детальном анализе прочитанного. При чтении юридической литературы важно уточнить все те понятия и термины, которые могут быть неправильно или неоднозначно истолкованы. Для этого необходимо обратиться к словарям, справочникам и нормативным правовым актам, в которых может быть дано их толкование. Вместе с тем в тексте следует выделить основные положения и выводы автора и доказательства, их обосновывающие.

Если изучается нужная, интересная публикация и требуется тщательная проработка текста, то при отсутствии возможности его скопировать составляется конспект. Он представляет собой сжатое изложение существенных положений и выводов автора без излишних подробностей. Кратко и точно записываются определения, новые сведения, точки зрения автора публикации по спорным вопросам, приведенные им аргументы, цифровые данные, а также все то, что может быть использовано для научной работы. При этом рекомендуется в конспекте указывать номера страниц издания, на которых содержится необходимая вам информация, чтобы впоследствии при написании курсовой и дипломной работы, доклада или статьи можно было сделать ссылку на использованный источник.

Виды научных и учебных изданий

Научным считается издание, содержащее результаты теоретических и (или) экспериментальных исследований, а также научно подготовленные к публикации памятники культуры и исторические документы. Научные издания делятся на следующие виды: монография, автореферат диссертации, препринт, сборник научных трудов, материалы научной конференции, тезисы докладов научной конференции, научно-популярное издание.

Учебное издание – это издание, содержащее систематизированные сведения научного или прикладного характера, изложенные в форме, удобной для преподавания и изучения, и рассчитанное на учащихся разного возраста и степени обучения. Виды учебных изданий: учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие и др.

Справочно-информационные издания

Справочное издание – издание, содержащее краткие сведения научного или прикладного характера, расположенные в порядке, удобном для их быстрого отыскания, не предназначенное для сплошного чтения. Это – словари, энциклопедии, справочники специалиста и др.

Информационное издание – издание, содержащее систематизированные сведения о документах (опубликованных, неопубликованных, непубликуемых) либо результат анализа и обобщения сведений, представленных в первоисточниках, выпускаемое организацией, осуществляющей научно-информационную деятельность, в том числе органами НТИ. Эти издания могут быть библиографическими, реферативными, обзорными.

Библиографическое издание – это информационное издание, содержащее упорядоченную совокупность библиографических записей (описаний).

Реферативное издание – это информационное издание, содержащее упорядоченную совокупность библиографических записей, включающих рефераты. К ним относятся реферативные журналы, реферативные сборники, информационные листки и экспресс-информация. Отдельный выпуск реферативного журнала (РЖ) «Металлургия. Сварка» выходит один раз в месяц, каждый номер содержит около 700 публикаций (рефератов статей, книг и т.п.), из них 18-20 % патентных описаний. В июньском и декабрьском номерах помещаются полугодовые нумерационные патентные указатели по странам. Кроме того, декабрьский номер имеет годовые авторский и предметный указатели, которые помогают читателю быстро найти справку о материале, опубликованном в истекшем году.

В пределах каждого номера материал расположен в тематическом порядке в соответствии с принятой публикацией. Рубрикация выпуска РЖ «Металлургия. Сварка» включает около 900 названий и приводится в № 1 каждого выпуска за текущий год.

РЖ «Металлургия. Сварка» является крупнейшим информационным изданием в области сварки. Поэтому поиск необходимых литературных

В аспирантуру вузов, научных учреждений или организаций на конкурсной основе принимаются лица, имеющие высшее профессиональное образование.

Специалист по специальности 150202 – Оборудование и технология сварочного производства, магистр по направлению 150400 – Технологические машины и оборудование могут продолжить свое обучению в аспирантуре по следующим научным специальностям, реализующимся в ФГБОУ ВПО «КнАГТУ»:

01.00.00 – Физико-математические науки

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

05.00.00 – Технические науки

05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

05.02.08 – Технология машиностроения

05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

05.16.04 – Литейное производство

05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

05.17.16 – Технология и переработка полимеров и композитов

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

05.26.01 – Охрана труда (по отраслям)

Согласно Положению о подготовке научно-педагогических и научных кадров в системе послевузовского профессионального образования в Российской Федерации, утвержденному приказом Минобразования России от 27 марта 1998 г., поступающие в аспирантуру сдают конкурсные вступительные экзамены по специальной дисциплине, философии, иностранному языку, определяемому вузом или научной организацией и необходимому аспиранту для выполнения диссертационного исследования. Лица, сдавшие полностью или частично кандидатские экзамены, при поступлении в аспирантуру освобождаются от соответствующих вступительных экзаменов.

Приемная комиссия по результатам вступительных экзаменов принимает решение по каждому претенденту, обеспечивая зачисление на конкурсной основе лиц, наиболее подготовленных к научной и педагогической работе. Зачисление в аспирантуру производится приказом руководителя вуза (научного учреждения, организации).

1.2.4. Научно-исследовательская работа студентов

В ст. 16 Федерального закона от 22 августа 1996 г. «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» закреплены многочисленные права студентов вузов, в том числе и право, принимать участие во всех видах научно-исследовательских работ, конференциях, симпозиумах, а также представлять свои работы для публикации, в частности в изданиях высшего учебного заведения. Здесь же записано, что студенты вузов обязаны овладеть знаниями, выполнять в установленные сроки все виды заданий, предусмотренных учебным планом и образовательными программами высшего профессионального образования. В законе не предусмотрена обязанность студентов заниматься научно-исследовательской работой. Тем не менее, они должны выполнять те виды заданий, которые содержат элементы научного исследования и включены в учебный план или планы занятий по дисциплине. К их числу относятся рефераты, доклад, курсовая работа, дипломная работа, магистерская диссертация.

В соответствии с Типовым положением об образовательном учреждении высшего профессионального образования (высшем учебном заведении) Российской Федерации, утвержденным постановлением Правительства РФ от 5 апреля 2001 г., учебные занятия проводятся как в виде лекций, семинаров, практических занятий, консультаций, так и в виде научно-исследовательской работы, курсовой работы, квалификационной работы (дипломного проекта или дипломной работы, магистерской диссертации).

Чтобы выполнить вышеперечисленные работы, студенту необходимо уметь: выбрать тему и разработать план исследования; определить оптимальные методы исследования; отыскивать научную информацию и работать с литературой; собирать, анализировать и обобщать научные факты; теоретически проработать исследуемую тему, аргументировать выводы, обосновывать предложения и рекомендации; оформить результаты научной работы.

Некоторые виды НИР студент не обязан выполнять, например, его нельзя заставить заниматься в научном кружке, выступить с докладом на конференции или принять участие в конкурсе на лучшую студенческую научную работу. Однако ему следует помнить, что задачи, которые стоят перед совершенными сварочными производствами, настолько сложны, что их решение требует исследовательских навыков. Сама профессия инженера-сварщика носит поисковый, исследовательский характер.

В Государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования по специальности 150202 – Оборудование и технология сварочного производства сказано, что инженер-сварщик должен:

- иметь навыки творческой работы с научно-технической литературой и обобщения собранных данных для формирования представлений о цели и путях решения поставленной задачи исследования;
- адаптироваться к изменяющимся условиям и задачам, возникающим перед специалистом в его деятельности;
- владеть методикой и техникой эксперимента, включая подбор экспериментального оборудования, планирования эксперимента и использования вычислительной техники;
- иметь навыки в подготовке и проведении эксперимента, обработки и научного обобщения результатов экспериментов;
- иметь углубленные знания отдельных вопросов сварочного производства.

Поэтому современный инженер-сварщик должен видеть не только необходимой суммой практических задач, но и определенными умениями творческого решения практических задач. Все эти умения приобретаются в вузе путем активного участия студентов в научно-исследовательской работе.

Понятие «научно-исследовательская работа студентов» (НИРС) включает в себя два элемента: обучение студентов элементам исследовательского труда, привитие им навыков этого труда; собственно научные исследования, проводимые студентами под руководством профессоров и преподавателей.

НИРС является продолжением и углублением учебного процесса, одним из важных и эффективных средств повышения качества подготовки специалистов с высшим образованием.

Целями научной работы студентов выступают переход от усвоения готовых знаний к овладению методами получения новых знаний, приобретение навыков самостоятельного анализа с использованием научных методик.

Основные задачи научной работы студентов: развитие творческого и аналитического мышления, расширение научного кругозора; привитие устойчивых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы; повышение качества уровня изучаемых дисциплин; выработка умения применять теоретические знания и современные методы научных исследований в творческой деятельности.

Научная работа студентов подразделяется на учебно-исследовательскую, включаемую в учебный процесс и проводимую в учебное время (УИРС), и научно-исследовательскую, выполняемую во внеучебное время (НИРС).

Учебно-исследовательская работа выполняется студентами по учебным планам под руководством профессоров и преподавателей. Формы этой работы: реферирование научных изданий, подготовка обзоров по вопросам литературы; выступление с научными докладами и сообщениями на семинарах; написание курсовых работ, содержащих элементы научного

исследования; проведение научных исследований при выполнении дипломных работ; выполнение научно-исследовательских работ в период учебной практики и стажировки.

Научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеучебное время, включает: работу в научных кружках и проблемных группах, создаваемых при кафедрах; участие в научно-исследовательских работах по кафедральным темам; выступления с докладами и сообщениями на научно-теоретических и научно-практических конференциях, проводимых в вузе; участие во внутривузовских, межвузовских, региональных и всероссийских олимпиадах и конкурсах на лучшую научную работу; подготовка публикаций по результатам проведенных исследований; разработка и изготовление схем, таблиц, слайдов, фильмов, наглядных пособий для учебного процесса; изучение и обобщение передового опыта сварочного производства; переводы технических текстов (монографий, статей и др.).

Формами реализации УИРС и НИРС выступают: реферат, доклад, сообщение на конференции или заседании научного кружка, конкурсная работа, публикация, наглядные пособия для учебного процесса, курсовая работа, дипломная работа, магистерская диссертация и др.

Основная форма организации НИРС – студенческий научный кружок при кафедре. Главным содержанием деятельности кружка является выполнение во внеучебное время научных исследований по определенной тематике.

Научным руководителем кружка назначается преподаватель кафедры. Он руководит исследовательской работой студентов, обеспечивает подготовку ими научных докладов и сообщений, организует их заслушивание и обсуждение на заседании кружка, представление лучших студенческих работ на конкурсы и конференции, привлекает к работе со студентами профессоров и преподавателей кафедры, организует встречи членов кружка с практическими работниками.

На первом заседании кружка избирается староста, а в некоторых вузах еще и секретарь кружка, которые организуют его заседания и ведут документацию.

Работа кружка учитывается в журнале, который имеет следующие разделы: список членов кружка, учет посещаемости заседаний, план работы на учебный год, протоколы заседаний.

Другая форма организации НИРС – проблемно-исследовательские группы из трех-пяти студентов, которыми руководят профессора, доценты и другие работники кафедры. Все они работают по одной и той же теме. Это дает возможность объединенными усилиями в короткий срок эффективнее выполнить трудоемкое исследование.

среднего заработка, а также на один свободный от работы день в неделю с оплатой его в размере 50 % получаемой зарплаты.

Аспиранты пользуются бесплатно оборудованием, лабораториями, учебно-методическими кабинетами, библиотеками, а также имеют право на командировки.

Специалисты могут сдать кандидатские экзамены и подготовить диссертацию вне аспирантуры на правах соискателя. Для этого соискатель прикрепляется к вузу (научному учреждению, организации), имеющему аспирантуру по соответствующей специальности. Прикрепление для подготовки и сдачи кандидатских экзаменов может проводиться на срок не более двух лет, а для подготовки кандидатской диссертации – на срок не более трех лет. Порядок подготовки кандидатских диссертаций в форме соискательства установлен Положением о подготовке научно-педагогических и научных кадров в системе послевузовского профессионального образования в Российской Федерации.

Лица, имеющие ученую степень кандидата наук, для подготовки докторских диссертаций могут поступить в докторантуру, перевестись на должность научного сотрудника либо прикрепиться к вузу (научному учреждению, организации), имеющему докторантуру по соответствующей научной специальности.

Подготовка докторантов осуществляется по очной форме. В срок до трех лет докторант обязан выполнить план подготовки диссертации и представить ее на кафедру (в отдел, лабораторию, сектор, совет) для получения соответствующего заключения. С целью оказания помощи в проведении исследований ему может быть назначен научный консультант из числа докторов наук.

Сотрудники вузов могут переводиться на должности научных сотрудников сроком до двух лет. В период пребывания в этой должности научный сотрудник обязан завершить работу над докторской диссертацией и представить ее на кафедру. По истечении года он должен предъявить ученому совету вуза отчет о работе над диссертацией, по результатам которого совет принимает решение с рекомендацией о продлении его пребывания в должности научного сотрудника на следующий годичный срок или о возвращении на прежнее место работы.

Прикрепление соискателей для подготовки докторской диссертации может проводиться на срок не более четырех лет. Соискатели представляют на утверждение кафедры (отдела, сектора, лаборатории) согласованный с научным консультантом план подготовки диссертации. Они периодически отчитываются и ежегодно аттестуются кафедрой вуза или отделом (сектором, лабораторией) научного учреждения.

Обучение в аспирантуре может осуществляться по очной форме не более трех лет, по заочной форме – четырех лет.

За время обучения аспирант обязан: полностью выполнить индивидуальный план; сдать кандидатские экзамены по философии, иностранному языку и специальной дисциплине; завершить работу над диссертацией и представить ее на кафедру (в совет, отдел, лабораторию, сектор).

Согласно Государственному образовательному стандарту подготовки профессионального образования по отрасли 050000 «Технические науки», в основной образовательной программе подготовки аспиранта должны предусматриваться следующие компоненты: образовательно-профессиональные дисциплины, факультативные дисциплины, педагогическая практика, научно-исследовательская работа, итоговая государственная аттестация, защита диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. Всего на научно-исследовательскую работу, включая подготовку и защиту диссертации, отводится 120 недель (6480 ч).

Научно-исследовательская часть программы подготовки аспиранта должна:

- соответствовать основной проблематике научной специальности, по которой защищается кандидатская диссертация;
- обладать актуальностью, научной новизной, практической значимостью;
- использовать современные теоретические, методические и технологические достижения отечественной и зарубежной науки и практики;
- использовать современную методику научных исследований;
- использовать современные методы обработки и интерпретации исходных данных с применением компьютерных технологий;
- содержать теоретические (методические, практические) разделы, согласованные с научными положениями, защищаемыми в кандидатской диссертации.

Каждому аспиранту утверждается тема диссертации и научный руководитель из числа докторов наук или профессоров. В отдельных случаях по решению ученого совета вуза или научно-технического совета научного учреждения, организации научным руководителем может быть назначен кандидат наук, как правило, имеющий ученое звание доцента (старшего научного сотрудника).

Аспиранты, обучающиеся в очной аспирантуре за счет средств бюджета, обеспечиваются государственной стипендией. Иногородним предоставляется общежитие. Аспиранты очного обучения пользуются ежегодно каникулами продолжительностью два месяца. Аспиранты, обучающиеся по заочной форме, имеют право на ежегодные дополнительные отпуска по месту работы продолжительностью 30 календарных дней с сохранением

2. ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ, ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

2.1. Сбор научной информации по сварке

Под источником информации понимается документ, содержащий какие-либо сведения. К документам относят различного рода издания, являющиеся основным источником научной информации. Издание – это комплект, предназначенный для распространения содержащейся в нем информации, прошедший редакционно-издательскую обработку, полученный печатанием или тиснением, полиграфически самостоятельно оформленный, имеющий выходные сведения.

Источниками научной информации служат неопубликованные документы: диссертации, депонированные рукописи, отчеты о научно-исследовательских работах и опытно-конструкторских разработках, научные переводы, обзорно-аналитические материалы. В отличие от изданий эти документы не рассчитаны на широкое и многократное использование, находятся в виде рукописей либо тиражируются в небольшом количестве экземпляров средствами машинописи или ЭВМ.

Все документальные источники научной информации делятся на первичные и вторичные. Первичные документы содержат исходную информацию, непосредственные результаты научных исследований (монографии, сборники научных трудов, авторефераты диссертаций и т.д.), а вторичные документы являются результатом аналитической и логической переработки первичных документов (справочные, информационные, библиографические и другие тому подобные издания).

Издания классифицируют по различным основаниям: по целевому назначению (официальное, научное, учебное, справочное и др.); степени аналитико-синтетической переработки информации (информационное, библиографическое, реферативное, обзорное); материальной конструкции (книжное, журнальное, листовое, газетное и т.п.); знаковой природе информации (текстовое, нотное, картографическое, изоиздание); объему (книга, брошюра, листовка); периодичности (непериодическое, сериальное, периодическое, продолжающееся); составу основного текста (монография, сборник); структуре (серия, однотомное, многотомное, собрание сочинений, избранные сочинения).

Нас, в первую очередь, интересуют издания, из которых может быть почерпнута необходимая для научно-исследовательской работы информация. Это научные, учебные, справочные и информационные издания.

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2},$$

где x_i – результат i-го измерения, i = 1, 2,…, n; $\bar{\chi}$ – среднее арифметическое значение результатов измерений,

$$\bar{\chi} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\chi_i.$$

Возникновение ошибки при измерении является случайным, и точность измерений следует описывать вероятностной величиной – **доверительным интервалом β**, внутри которого с **доверительной вероятностью ρ_o** располагается истинное значение измеряемой величины. Ширина доверительного интервала определяется доверительной вероятностью ρ_o, числом проведенных измерений n и среднеквадратичным отклонением S:

$$\beta = \frac{S}{\sqrt{n}}t(\rho_o, n),$$

где $t(\rho_o,n)$ – табличное значение **коэффициента Стьюдента** (табл. 2.1).

В некоторых исследованиях в качестве выходного значения изучаемого объекта используется значение рассеяния одного из параметров этого объекта (например, размер брака, стабильность механических свойств металла и т.д.), т.е. дисперсия параметра. Необходимо установить, является ли изменение дисперсии при изменении входной величины случайным или нет.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении дисперсий следует рассмотреть отношение большей эмпирической дисперсии к меньшей:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F \geq F(\rho_o, n_1, n_2), \qquad (2.1)$$

где $F(\rho_o,n_1,n_2)$ – критерий Фишера (табл. 2.2).

Таблица 2.1

Табличное значение коэффициента Стьюдента

Число степеней свободы $f = n - 1$	Доверительная вероятность ρ_o				
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98
1	2	3,1	6,3	13	32
2	1,3	1,9	2,9	4,8	7,0
3	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5
4	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7
5	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4
6	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1
7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0

Чтобы переходить от кодированных координат к натуральным и наоборот, соответственно используются соотношения:

$$\tilde{x}_i = (x_i - x_{oi})/\Delta x_i,$$

$$x_i = x_{oi} + \Delta x_i \tilde{x}_i,$$

где $\tilde{x}_i$ – кодированное значение фактора (выбирается из табл. 2.5); x_i и x_{oi} – натуральные значения фактора, соответственно текущее и на нулевом уровне (ток, А, напряжение, В, и т.п.); Δx_i – шаг варьирования i-го фактора.

После проведения первой серии опытов (в вершинах исходного симплекса) результаты их сравнивают между собой и выбирают опыт (вершина симплекса), где результат наихудший. Затем вычисляют координаты точки, симметричной наихудшей вершине симплекса относительно противолежащей грани. Координаты новой вершины по правилу отражения определяются по формуле

$$x_{i,N+1} = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} x_{ij} - x_i^*, \qquad (2.6)$$

где N – число проведенных опытов; $x_{i,N+1}$ – координата новой точки по оси x_i; k – количество факторов; x_i^* – координата отбрасываемой вершины; $\sum x_{ij}$ – сумма координат (по оси x_i) остальных факторов за исключением x^*.

Новая точка, координаты которой вычисляются по формуле (2.6), совместно с оставшимися образует новый симплекс с координатами 3, 2, 4 (рис. 2.4). В новой точке ставится опыт, вновь сопоставляются результаты опытов во всех вершинах нового симплекса (симплекс 2-3-4, см. рис. 2.4), опять выявляется худшая точка, которая заменяется ее зеркальным отражением относительно центра противолежащей грани и т.д.

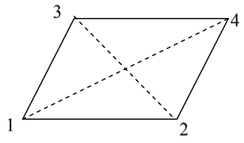


Рис. 2.4. Правило отражения двухфакторного симплекса: 1 – точка с наихудшим параметром оптимизации

Процесс отбрасывания наихудших вершин и построения новых симплексов повторяется, в результате чего происходит последовательное перемещение к оптимуму (рис. 2.5).

Достигнув почти стационарной области, близкой к оптимуму, симплексы начинают вращаться вокруг наилучшей точки, зацикливаясь (рис. 2.6). Это служит сигналом, что круговое восхождение в область оптимума можно считать законченным. Кроме зацикливания критерием конца работы служит достижение теоретически предельного или заданного значения какого-либо параметра (прочности сварного соединения, геометрических размеров шва и т.д.).

вить линейным уравнением (в рассматриваемой области), то в многомерном случае, несомненно, будет существенная кривизна. Обратное утверждение, к сожалению, не очевидно. Итак, выбор экспериментальной области факторного пространства связан с тщательным анализом априорной информации. Поясним наши рассуждения примером [17].

Пример 1. Изучалось ионообменное разделение смесей группы редкоземельных элементов растворами аминополиуксусной кислоты. Параметр оптимизации — содержание неодима в выходном растворе (элюате) в процентах. Рассматривалось всего два фактора: концентрация элюанта (выходного раствора), % вес (x_1) и pH элюанта (x_2). Как построить область определения факторов? Начнем с x_1. Известно, что при $x_1 > 3$ работать нельзя, так как это предел растворимости данного вещества при нормальной температуре. Значит, верхний предел $x_1 = 3$. С нижним пределом дело обстоит сложнее, здесь нельзя указать четкую границу. Известно только, что чем ниже концентрация, тем дольше идет процесс. При $x_1 = 0{,}5$ время протекания процесса находится в разумных пределах. Это и определяет нижнюю границу. Ради большой выгоды ее можно будет сдвинуть, тогда как изменить верхнюю границу практически нельзя.

Для выбора области определения использовались теоретические представления о процессе, из которых следует, что разделение происходит благодаря одновременному присутствию в системе двух соединений: моно- и дикомплексов. Специальные предварительные опыты показали, что при $pH < 3$ кислота находится в недиссоциированном состоянии, а при $pH > 8$ оба соединения разрушаются. Следовательно, x_2 может изменяться от 3 до 8. Если факторы совместимы (а в данном случае это так), то их совместная область определения тоже задана. Это показывает, как непросто решается этот важный вопрос.

Но это только начало. Теперь в области определения надо найти локальную подобласть для планирования эксперимента. Процедура выбора этой подобласти включает два этапа: выбор основного уровня и выбор интервалов варьирования.

Выбор основного уровня (рис. 2.9). Наилучшим условиям, определенным из анализа априорной информации, соответствует комбинация (или несколько комбинаций) уровней факторов. Каждая комбинация является многомерной точкой в факторном пространстве. Ее можно рассматривать как исходную точку для построения плана эксперимента. Назовем ее основным (нулевым) уровнем. Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно нулевого уровня.

В разных случаях мы располагаем различными сведениями об области наилучших условий. Если имеются сведения о координатах одной наилучшей точки и нет информации о границах определения факторов, то ос-

тальные данные, позволяющие построить математическую модель объекта. Вид используемых для этого математических зависимостей между параметрами процесса может быть предположительно установлен с позиции физико-химической сущности процессов в объекте, причем часто оказывается возможным предположить несколько различных механизмов протекания процесса, описывающих различными математическими выражениями и называемых гипотезами. Задачей экспериментального исследования является отбор гипотезы, при использовании которой результат математического моделирования совпадает с экспериментальными данными [12].

Постановка задачи экспериментального исследования при изучении физико-химической сущности явлений включает: а) анализ литературных данных; б) составление математического описания явлений в объекте; в) выявление неизвестных закономерностей; г) выражение гипотез о физико-химической сущности и математической форме неизвестных взаимосвязей, необходимых для получения математической модели процесса; д) предсказание следствий, вытекающих из результата использования в математической модели изучаемого объекта каждой из выдвинутых гипотез. Задача экспериментального исследования сводится к опытной проверке этих следствий.

2) При статическом выявлении количественной связи между конечным и исходными параметрами изучаемого процесса или объекта обычно не ставится цель вскрыть сущность явлений, протекающих в этом процессе или объекте. Задачи этого типа возникают, например, при разработке инженерных методик расчета режимов сварки, прочностных свойств конструкции, способов управления и регулирования сварочными процессами и т.п. Математическая форма связи между конечным и исходными параметрами процесса может быть различной и взята произвольно вплоть до того, что зависимости, получаемые на основе опытных данных, являются приближенными, а диапазон значений входных параметров. Анализ литературных данных и математическое моделирование изучаемого объекта при таких исследованиях не обязательны, но полезны, так как позволяют частично установить связь между некоторыми параметрами процесса и тем самым сократить объем экспериментального исследования. Постановка задач этой группы состоит из следующих этапов: а) анализ литературных данных; б) составления математического описания неизвестных взаимосвязей между параметрами процесса; в) выявления известных связей и выбора формы математического описания этих связей между параметрами процесса. Экспериментальное исследование сводится к определению коэффициентов, связывающих па-

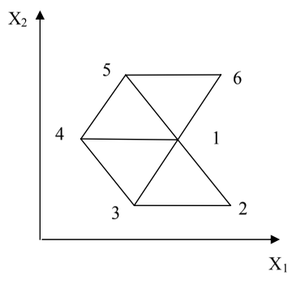


Рис. 2.5. Схема движения симплекса

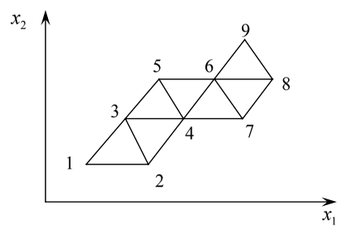


Рис. 2.6. Схема зацикливания

На практике часто приходится сталкиваться с некоторыми обстоятельствами, препятствующими нормальной реализации программы действий. К ним относятся ошибки эксперимента и ограничения на отклик и факторы. Поэтому используется ряд правил:

1) Примерно через $2(k + 1)$ шагов повторять опыты во всех старых точках. Для двух-трех факторов это правило обычно не играет существенной роли, но в случае большого числа факторов начинает сказываться устаревание информации.

2) При зацикливании повторить опыты. Формальный признак зацикливания – сохранение одной точки на протяжении $(k + 1)$ шага (рис. 2.7). Для определения, ошибочен ли этот высокий результат, надо повторить опыт. Если ошибки нет, то достигнут оптимум, а если ошибка есть, то необходимо проверить несколько предыдущих симплексов.

3) При возникновении колебаний отразить худшую вершину, если не считать ее наихудшей (см. рис. 2.7). Это же правило применяется в условиях ограничения на фактор, когда расчетная величина фактора попадает в область ограничений (рис. 2.8).

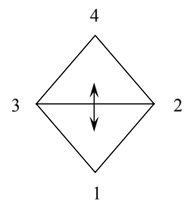


Рис. 2.7. Схема колебаний

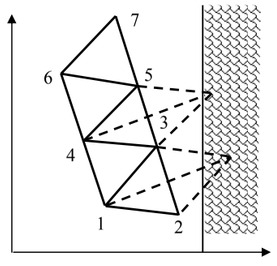


Рис. 2.8. Движение симплекса в условиях

2.3. Ошибки при измерениях и их оценка

При измерении любой величины никогда не получают ее истинного значения, то есть результат измерения дает лишь приближенное значение. Отклонения результатов измерений от истинного значения называют ошибками измерений или погрешностями измерений. Ошибка измерения обычно неизвестна, как неизвестно и истинное значение измеряемой величины. Одной из основных задач математической обработки результатов экспериментов является оценка истинного значения измеряемой величины по полученным результатам [13].

Все ошибки принято разделять на два класса: систематические и случайные. Систематические ошибки порождаются причинами, действующими регулярно, в определенном направлении. Они могут быть обусловлены неправильным выбором метода измерений, неправильной установкой прибора, его дефектами. Случайными ошибками называются те, которые появляются нерегулярно, причины возникновения которых неизвестны и которые невозможно учесть заранее. При последовательных измерениях постоянной величины эта ошибка приводит к получению различных числовых значений. Для того чтобы уменьшить появляющиеся инструментальные ошибки, приборы следует проверять перед опытом, иногда в течении опыта и обязательно после опыта. Одним из способов уменьшения ошибок является калибровка, которая представляет собой проверку прибора во всем диапазоне измеряемых величин с помощью известного эталона. Случайную ошибку можно рассматривать как результат суммарного действия различных факторов. Случайные ошибки являются неустранимыми, их нельзя исключить из каждого результата измерений. Следовательно, именно эти ошибки будут оказывать основное влияние на измерения. Поэтому целесообразно учитывать влияние случайных ошибок, что позволит определять значения измеряемой величины со значительной большей точностью.

Точность данной измерительной системы удобно выражать одним некоторым числом или показателем точности. Рассмотрим несколько таких показателей, каждый из которых указывает, с какой точностью прибор может измерять требуемую величину.

Среднее квадратичное отклонение σ (или дисперсия σ^2) является наиболее часто используемой на практике характеристикой рассеивания. Чем больше среднеквадратическое отклонение и дисперсия, тем больше рассеяны значения случайной величины около среднего значения. Обычно на практике число повторных измерений бывает малым. В этих случаях величина σ оценивается приближенно, т.е. вместо нее применяют эмпирический стандарт (среднее квадратичное отклонение или квадратную ошибку) S:

раметры, и к проверке соответствия математической формы связи опытным данным в заданном диапазоне значений параметров.

3) Задачи по оптимизации процесса заключаются в определении оптимального соотношения между входными параметрами процесса, обеспечивающего максимальное или минимальное значение выходного параметра. К таким задачам относятся, например, определение условий наилучшей стабильности горения дуги, значений режимов сварки, обеспечивающих наивысшую пластичность сварного шва, характеристик оборудования, при которых брак минимален и т.д. Этот тип задач полностью включает в себя соответствующую задачу второй группы, так как оптимальное соответствие между исходными параметрами процесса может быть определено только после установления количественной связи между выходными и входными параметрами процесса.

При экспериментальном определении оптимального значения параметров связи между ними исследуют с целью выявления направления, в котором нужно изменять параметры процесса для улучшения его показателей. Последовательное изменение исходных параметров позволяет найти оптимальное соотношение между ними. При этом необходимо учитывать ограничения, налагаемые на диапазон изменения исходных параметров и связанные с возможностями оборудования, вероятностью нарушения условий нормального хода процесса или оптимального соотношения исходных параметров для получения других важных показателей процесса. Постановка задачи на экспериментальную оптимизацию процесса включает требования, предъявляемые к постановке задач по определению количественной связи между параметрами процесса, критерий оптимальности процесса и ограничения, налагаемые на исходные параметры и соотношения между ними.

Таким образом, задача всякого экспериментального исследования сводится к выявлению и математическому описанию зависимости одного или нескольких конечных (выходных) параметров процесса от исходных (входных). Выбранная форма математического описания этой неизвестной зависимости является базой для дальнейшего планирования эксперимента, так как она определяет минимальное количество опытов, необходимых для вычисления экспериментальных коэффициентов зависимости, а также качественный характер измерений при проведении опытов. При постановке задач экспериментального исследования всегда оговаривают значение или диапазон значений параметров процесса. Но для проведения эксперимента этого недостаточно. Необходимо также обеспечить высокую достоверность полученной зависимости. Для этого при планировании и анализе результатов эксперимента необходимо учитывать величину ошибок, возникающих при установке и измерении параметров процесса, а также проводить специальные серии опытов для выявления таких ошибок.

2.7. Принятие решений перед планированием эксперимента

Прежде чем приступить к планированию, попытаемся дать ответы на некоторые вопросы. Прежде всего, как выбрать локальную область факторного пространства, где ее выбирать и какого размера она должна быть? Это важный этап принятия неформализованных решений, предшествующих построению плана первой серии эксперимента.

Здесь мы впервые сталкиваемся с проблемой принятия решений при планировании эксперимента. Поэтому уместны несколько слов об особенностях этих этапов решения задачи [16]. Весь процесс исследования можно считать состоящим из последовательности этапов, часть из которых полностью формализована, а часть требует «интуитивных» решений. Причем по мере развития теории формальные этапы будут играть все большую роль, но до конца не вытеснят неформализованные этапы. В силу этого не ожидается создание «логарифмической линейки» по планированию эксперимента и надо тратить время на его изучение.

При выборе области эксперимента, прежде всего, надо оценить границы областей определения факторов. При этом должны учитываться ограничения нескольких типов. Первый тип – принципиальные ограничения для значений факторов, которые не могут быть нарушены ни при каких обстоятельствах. Например, если фактор – температура, то нижним пределом будет абсолютный нуль.

Второй тип – ограничения, связанные с экономическими соображениями, например, со стоимостью сырья, дефицитностью отдельных компонентов, временем ведения процессов.

Третий тип ограничений, с которым чаще всего приходится иметь дело, определяется конкретными условиями проведения процесса, например существующей аппаратурой, технологией, организацией. В реакторе, изготовленном из некоторого материала, температуру нельзя поднять выше температуры плавления этого материала или выше рабочей температуры данного катализатора.

Оптимизация обычно начинается в условиях, когда объект уже подвергался некоторым исследованиям. Информацию, содержащуюся в результатах предыдущих исследований, будем называть априорной (т.е. полученной до начала эксперимента). Мы можем использовать априорную информацию для получения представления о параметре оптимизации, о факторах, о наилучших условиях ведения процесса и характере поверхности отклика, т.е. о том, как сильно меняется параметр оптимизации при небольших изменениях значений факторов, а также о кривизне поверхности. Для этого можно использовать графики (или таблицы) однофакторных экспериментов, осуществлявшихся в предыдущих исследованиях или описанных в литературе. Если однофакторную зависимость нельзя предста-

Последовательный симплекс-метод

Суть последовательного симплекс-метода (ПСМ) заключается в следующем. После определения факторов, влияющих на процесс, выбирают их начальные значения и интервал варьирования. Затем определяют значения факторов для первой серии опытов. Если факторов k, то серия содержит $(k + 1)$ опыт. Точки, в которых ставятся опыты, образуют симплекс.

Симплексом называется выпуклая геометрическая фигура (многогранник), образованная множеством $(k + 1)$ независимых вершин в k-мерном пространстве. Так, на плоскости симплекс образуется любыми тремя точками, не лежащими на одной прямой (треугольник), в трехмерном пространстве – любыми четырьмя точками, не лежащими в одной плоскости (любая треугольная пирамида) (рис. 2.3).

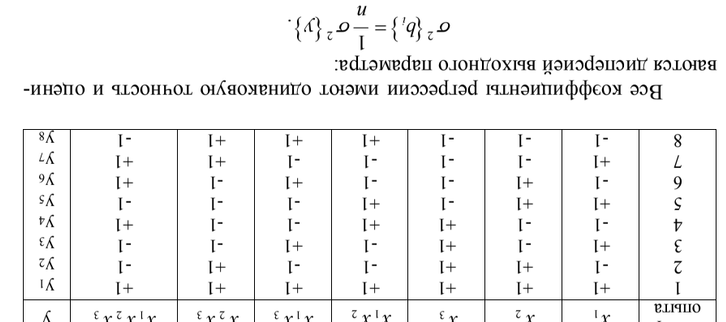


Рис 2.3. Схемы исходных симплексов: а – двухфакторного, в натуральных координатах; б – двухфакторного, в кодированных координатах; в – трехфакторного

Симплекс называют регулярным, если все расстояния между вершинами равны (равносторонний треугольник, тетраэдр и т.д.). При ПСМ обычно используют регулярные симплексы, так как при этом упрощаются расчеты.

На первом этапе симплекс-планирования выбирают план, записанный в кодированных координатах. При двух факторах x_1 и x_2 обычно используется симплекс со следующими координатами (табл. 2.5):

Таблица 2.5

План симплекса при двух факторах

Номер точки	x_1	x_2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	0	0,73

Таблица 2.2

Значение критерия Фишера

Число степеней свободы $f = n_1 - 1 = n_2 - 1$	Доверительная вероятность ρ_o		
	0,8	0,95	0,975
1	9,5	161	648
2	4	19	39
3	2,9	9,3	15
4	2,5	6,4	9,6
5	2,2	5,0	7,2
6	2,1	4,3	5,8
12	1,7	2,7	3,3

Если условие (2.1) выполняется, то расхождение дисперсий следует считать неслучайным с вероятностью ρ_o. Значение критерия Фишера определяется числом опытов n_1 и n_2 при вычислении дисперсий с разными уровнями входной величины и доверительной вероятностью ρ_o [14].

2.4. Методические основы планирования эксперимента

При планировании эксперимента необходимо обеспечить получение достоверной информации для определения взаимосвязи между параметрами изучаемого объекта при минимальном количестве опытов. Этого можно достигнуть, следуя при планировании определенным правилам, учитывающим вероятностный характер результатов измерения и наличие внешних помех, воздействующих на изучаемый объект [15].

Результат измерения является достаточно достоверным только в случае его частой повторяемости при многократных измерениях. При воздействии на изучаемый объект неизменяющейся при проведении опытов помехи в результат измерения вносится систематическая ошибка. Такие ошибки могут быть устранены, если эксперимент спланирован так, что воздействие всех возможных помех станет случайным, т.е. при **рандомизации эксперимента**. Это достигается, например, набором в случайной последовательности образцов металла из различных партий, проведением опытов в различное время суток, использованием в опытах различных машин и приборов.

Достоверность результатов эксперимента повышается с увеличением числа опытов, но при этом возрастают материальные затраты и трудоемкость исследования. Статистически значимый результат должно обеспечивать минимальное число опытов. Статистические оценки точности измерений могут быть получены только после выполнения опытов. Поэтому оптимальной является **стратегия последовательного эксперимента**, при которой после каждого очередного опыта или серий опытов производится

предположим, что исследуется связь выходного параметра у с тремя входными параметрами x_1, x_2, x_3. В этом случае для нахождения коэффициентов регрессии необходимо провести четыре опыта по плану, называемому **матрицей планирования** (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	План			Результат эксперимента
	x_1	x_2	x_3	
1	-1	-1	+1	y_1
2	+1	-1	-1	y_2
3	-1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	y_4

В соответствии с матрицей планирования эксперименты выполняются следующим образом: в первом опыте параметры x_1 и x_2 устанавливаются на нижнем уровне, а параметр x_3 – на верхнем; во втором опыте параметры x_2 и x_3 устанавливаются на нижнем уровне, а x_1 – на верхнем и т.д. Геометрически такой план эксперимента задается координатами трех равноудаленных друг от друга вершин куба (рис. 2.1), образованного уровнями входных параметров, или, как их принято называть, координатами вершин правильных симплексов. Данный план является насыщенным, поскольку все степени свободы использованы для оценки коэффициентов регрессии. Коэффициенты регрессии при использовании подобных планов экспериментов могут быть рассчитаны по следующей формуле

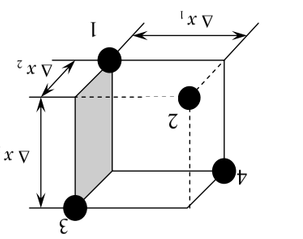


Рис. 2.1. Выбор уровней параметров x_1, x_2, x_3 при проведении опытов для определения коэффициентов линейной регрессии

$$b_i = \frac{1}{n\Delta x_i}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} y_j, \qquad (2.3)$$

где i – номер входного параметра и соответствующего ему коэффициента регрессии; j – номер опыта; n – число опытов; x_{ij} – уровень параметра x_i в j-м опыте («+1» или «-1»); Δx_i – отклонение параметра x_i от исходного значения.

Таблица 2.4

Пример плана полного факторного эксперимента для случая трех входных параметров

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	y_3
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	y_4
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_5
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_6
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_7
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	y_8

Все коэффициенты регрессии имеют одинаковую точность и оценки дисперсий выходного параметра:

$$\sigma^2\{b_i\} = \frac{1}{n}\sigma^2\{y\}.$$

Для оценки точности дисперсии воспроизведения выходного параметра проводят дополнительные опыты при постоянном значении входных параметров.

Проверку значимости каждого коэффициента уравнения регрессии осуществляют путем построения доверительного интервала. Коэффициент значим, если произведение его абсолютного значения на шаг варьирования входного параметра больше доверительного интервала входного параметра:

$$2\Delta x_i b_i > \beta\{y\}.$$

Слагаемые уравнения регрессии с незначимыми коэффициентами следует исключить из уравнения (2.2).

Коэффициент в формуле (2.2) определяется среднеарифметическим значением выходного параметра всех опытов, коэффициентами и исходным значением параметров:

$$b_o = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_j - \sum_{i=1}^{m} b_i x_i. \qquad (2.4)$$

Если стоит задача выявления возможного взаимодействия входных параметров, то в уравнение регрессии входят слагаемые, содержащие произведения взаимодействующих параметров, например,

$$y = b_o + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2.$$

Очевидно, что после введения фиктивного параметра $x_3 = x_1x_2$ исследование сводится к рассмотренному случаю (2.2). Для учета всех возможных взаимодействий между входными параметрами необходимо осуществить ***полный факторный эксперимент***, пример плана которого для случая трех входных параметров приведен в табл. 2.4.

При построении статистической модели исследуемого объекта первоначально используют простейшую линейную форму уравнения регрессии, которая не всегда соответствует истинной взаимосвязи между выходными и входными параметрами объекта. Соответствие формы уравнения регрессии исследуемому объекту проверяют по дисперсии адекватности

$$\sigma^2_{ad} = \frac{1}{\kappa - 1}\sum_{j=1}^{\kappa}(y_{jм} - y_{jo})^2,$$

где $y_{jм}$ и y_{jo} – значения выходного параметра, рассчитанные по статической модели и полученные при дополнительных опытах; κ – число дополнительных опытов, проведенных с целью проверки соответствия формы уравнения регрессии исследуемому объекту.

Опыты по определению дисперсии адекватности следует проводить при различных значениях входных параметров.

Для проверки адекватности модели удобен известный в статике F-критерий Фишера:

$$F = \sigma^2_{ad} / \sigma^2\{y\}. \qquad (2.5)$$

Значение F, рассчитанное по формуле (2.5), сравнивают с табличным значением (см. табл. 2.2), зависящим от числа опытов при определении дисперсии адекватности и доверительной вероятности. Если вычисленное значение F-критерия не превышает табличного, то с доверительной вероятностью модель можно считать адекватной, т.е. соответствующей истинной взаимосвязи параметров объекта. При превышении табличного значения следует перейти к модели в виде полинома более высокой степени – уравнению регрессии второго порядка.

2.6. Особенности планирования и проведения исследования по оптимизации процесса

Задачей исследования с целью оптимизации процесса является определение таких значений входных параметров, при которых выходной параметр процесса имеет максимальное или минимальное значение. С целью уменьшения количества опытов исследование осуществляют в определенной последовательности [15].

Метод «крутого восхождения»

В области первоначального значения входных параметров проводят серию опытов, необходимую для получения линейного уравнения регрессии. После нахождения адекватного линейного уравнения регрессии изменяют входные параметры в направлении градиента этого уравнения в области оптимума, т.е. пропорционально соответствующим коэффициентам

2.5. Статистическое моделирование

Разнообразные исследовательские задачи, возникающие как при выявлении физико-химических явлений в изучаемом процессе, так и при решении инженерных проблем, при постановке эксперимента, сводятся к задаче получения статистической модели, которая представляет собой математическую зависимость между выходными и входными параметрами изучаемого процесса или объекта.

Теоретической основой решения задачи статистического моделирования является следующее положение. Предполагается, что механизм явлений и процессов, протекающих в объекте, можно описать системой дифференциальных уравнений, но из-за слабой изученности и сложности объекта это осуществить невозможно. Система дифференциальных уравнений имеет решение, которое можно разложить в ряд Тейлора по переменным параметрам.

Разложение представляет собой степенной полином, коэффициенты которого являются коэффициентами ряда Тейлора, т.е. значениями частных производных в точке, вокруг которой разлагается неизвестная функция, являющаяся решением неизвестных дифференциальных уравнений. Таким образом, поиск связи между выходным и входными параметрами исследуемого объекта, которую называют **уравнением регрессии**, следует осуществлять в виде степенного многочлена. Наиболее часто используется многочлен первой степени, являющийся самой простой формрй статистической модели объекта:

$$y = b_o + b_1x_1 + b_2x_2 + ... + b_mx_m, \qquad (2.2)$$

где y – выходной параметр объекта; $x_1,...,x_m$ – входные параметры; $b_o,...,b_m$ – коэффициенты многочлена, определяемые на основе экспериментальных данных статистическим анализом.

Точность статистической модели повышается при переходе к многочленам более высокой степени, что позволяет учитывать большее количество членов разложения Тейлора.

Обработка экспериментальных данных сводится к отысканию коэффициентов многочлена. Значения выходного y и входных x_i параметров объекта известны из опытных данных, поэтому многочлен содержит $m + 1$ неизвестных коэффициентов $b_o,...,b_m$. Для их нахождения необходимо иметь $m + 1$ уравнений вида (2.2) и нужно проделать не менее $m = 1$ опытов. То есть необходимо решить систему $m + 1$ линейных алгебраических уравнений, что при большом числе m входных параметров является сложной задачей. Уменьшить общий объем вычислений и упростить сам эксперимент можно, варьируя каждый входной параметр x_i только на двух уровнях. Обозначим эти уровни знаками «-1» (нижний) и «+1» (верхний) и

анализ результатов. Опыты прекращают при получении статистически значимого результата.

Количественную зависимость выходного параметра изучаемого объекта от входных параметров можно выразить, например, в виде:

$$y = b_o + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i,$$

где y – выходной параметр; x_i – выходные параметры.

По опытным данным нужно определить коэффициенты b_i. Эту задачу можно решить различными методами, например, варьируя каждый входной параметр по очереди. Если для определения каждого коэффициента b_i сделано n повторных опытов и если параметры изменены только на двух уровнях, то дисперсия, оценивающая точность коэффициентов b_i:

$$\sigma^2\{b_i\} = \sigma^2\{y\}/2n$$

не зависит от общего количества входных параметров, воздействие которых исследуется, а значения коэффициентов b_i определяются всего двумя усредненными измерениями, задающими значение дисперсии коэффициента b_i.

По другой методике все параметры можно варьировать совместно так, что оказывается возможным оценить воздействие каждого входного параметра на выходной параметр объекта по всей совокупности опытов. В этом случае необходимо проделать $m + 1$ опытов. Как и по ранее рассмотренной методике, такая серия опытов может быть повторена $2n$ раз. Дисперсия, оценивающая точность определения коэффициента b_i, в этом случае

$$\sigma^2_2\{b_i\} = \sigma^2\{y\}/\left[(m+1)2n\right]$$

так как значение каждого коэффициента b_i вычисляется по $(m + 1)2n$ опытам.

Сравнение дисперсий σ^1_2 и σ^2_2 показывает, что второй метод обеспечивает при том же количестве опытов большую точность, что статистически значимый результат исследования можно получить при той же точности измерения выходной величины и меньшем количестве опытов путем более рационального плана эксперимента, предусматривающего использование при оценке воздействия каждого параметра результатов всех опытов. Этот подход получил название **композиции многофакторного эксперимента.**

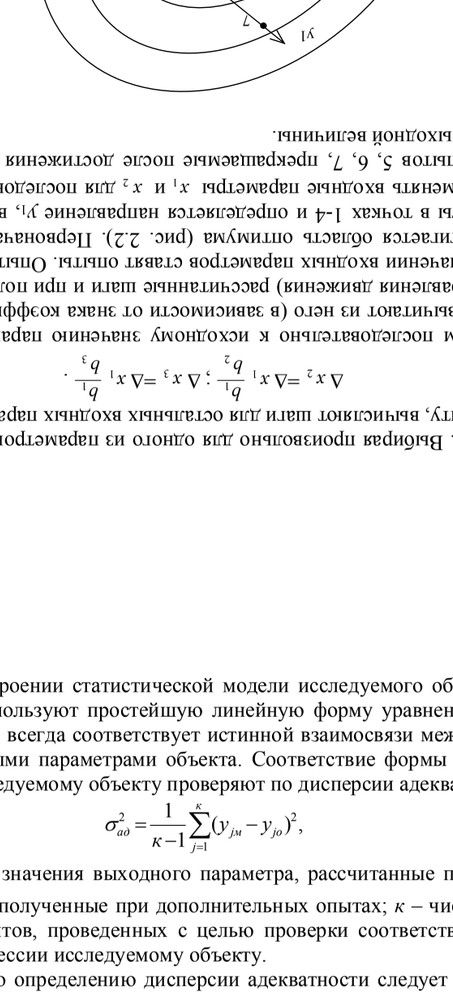


Рис. 2.2. Последовательность проведения опытов по поиску максимума выходного параметра

В этой области выполняются опыты в точках 8-11 по определению нового направления y_2. Если какие-то ограничения не позволяют изменять некоторые параметры, то их фиксируют на достигнутом уровне, продолжая изменение других параметров.

После достижения области оптимума либо удовлетворяются результатом, либо ставят дополнительный эксперимент с целью получения статистической модели для последующей более точной оптимизации процесса.

Единицы твердости не подлежат изменению (как единицы условных шкал).

3.3. Параметры, датчики измерений

1) Параметры измерений. Измеряемые параметры можно условно разделить на электрические и неэлектрические. К числу основных электрических параметров, определяющих большинство режимов сварки, относятся ток и напряжение в цепи, которые могут быть постоянными, синусоидальными и несинусоидальными. Несинусоидальные характеризуются действующими и мгновенными значениями. Число неэлектрических параметров объекта исследования велико [19, 20]. Наиболее важными неэлектрическими параметрами в сварочной технике являются: температура, перемещение (деформация), усилие (вес), масса, площадь, объем и их производные во времени: скорость нагрева (охлаждения), скорость движения (деформации), расход и т.д. Следует различать статические и динамические значения измеряемых величин.

Параметры такого объекта измерений, как сварочный процесс, могут относиться к различным агрегатным состояниям вещества: твердому, жидкому, газообразному, а также плазмообразному.

Важным параметром сварочного процесса является производная не только по времени, но и в пространстве, т.е. градиент. Именно создание больших градиентов температуры для нагрева холодного металла до температур сварки вызывает, в свою очередь, градиенты других характеристик (механических напряжений, концентраций элементов или газов и т.д.).

2) Датчики измерений. Элемент измерительного устройства, преобразующий неэлектрическую величину в электрическую, называется датчиком. Он является функциональным элементом, обеспечивающим информационную связь между измеряемым объектом и измерительным устройством.

Простота, с которой могут быть усилены, зарегистрированы, измерены, преобразованы электрические сигналы, привела к тому, что в большинстве современных приборов применяются различные методы преобразования измеряемых неэлектрических величин в электрический ток или напряжение.

Различают параметрические и генераторные датчики. Если для преобразования неэлектрической величины в один из электрических параметров – сопротивление, емкость, индуктивность – требуется источник питания, то датчик является параметрическим. Если неэлектрическая величина преобразуется в ЭДС, то датчик является генераторным. Параметрические датчики по принципу действия подразделяются на датчики сопротивления (реостатные, тензосопротивления, термосопротивления), индуктивности

тается рассматривать эту точку в качестве основного уровня. Аналогичное решение принимается, если границы известны и наилучшие условия лежат внутри области.

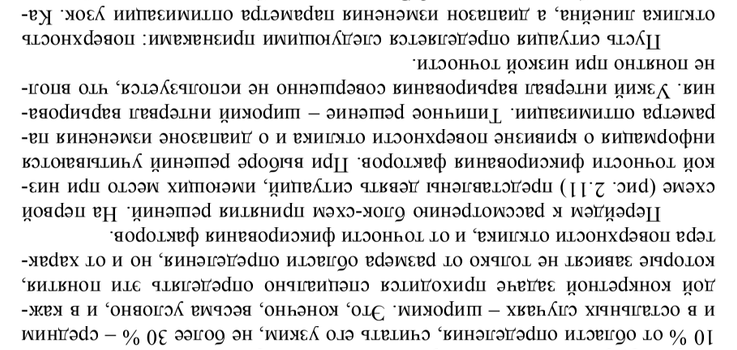


Рис. 2.9. Блок-схема принятия решений при выборе основного уровня

Положение усложняется, если эта точка лежит на границе (или весьма близко к границе) области. Тогда приходится основной уровень выбирать с некоторым сдвигом от наилучших условий.

Может случиться, что координаты наилучшей точки неизвестны, но есть сведения о некоторой подобласти, в которой процесс идет достаточно хорошо. Тогда основной уровень выбирается либо в центре, либо в случайной точке этой подобласти. Сведения о подобласти можно получить, анализируя изученные ранее подобные процессы, из теоретических соображений или из предыдущего эксперимента.

Наконец, возможен случай с несколькими эквивалентными точками, координаты которых различны. Когда отсутствуют дополнительные данные (технологического, экономического характера и т.д.), выбор произволен. Конечно, если эксперимент недорог и требует немного времени, можно приступить к построению планов экспериментов вокруг нескольких точек.

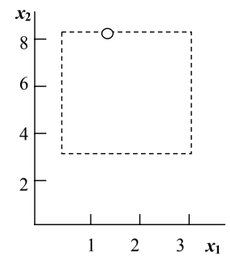


Рис. 2.10. Область определения для двух факторов

Следующий пример иллюстрирует одну из возможных ситуаций.

Пример 2. На рис. 2.10 изображена область определения для двух факторов. Кружком отмечены наилучшие условия, известные из априорной информации. Известно также, что имеется

ное изменение параметра оптимизации при равномерном изменении фактора. Мы будем различать три случая: функция отклика линейна, функция отклика существенно нелинейна и информации о кривизне отсутствует.

Наконец, полезно знать, в каких диапазонах меняются значения параметра оптимизации в разных точках пространства. Если имеется несколько наилучших точек, то всегда можно найти наиболее или наименьшее значения параметра оптимизации. Разность между этими значениями будем называть диапазоном изменения параметра оптимизации для данного множества опытов. Условимся различать широкий и узкий диапазоны. Диапазон будет узким, если он несущественно отличается от разброса значений параметра оптимизации в повторных опытах. В противном случае будем считать диапазон широким. Учтем также случай, когда информация отсутствует. Итак, для принятия решений используется априорная информация о точности дискретизации факторов, кривизне поверхности отклика и диапазоне изменения параметра оптимизации. Каждое сочетание градаций перечисленных признаков определяет ситуацию, в которой нужно принимать решение.

При принятых нами градациях возможно $3^3 = 27$ различных ситуаций. Они представлены на рис. 2.11 – 2.13 в виде кружочков, цифры в которых соответствуют порядковым номерам ситуаций.

Теперь мы приблизились к принятию решения о выборе интервалов варьирования. Для интервалов также введем градации. Будем рассматривать широкий, средний и узкий интервалы варьирования, а также случай, когда трудно принять однозначное решение. Размер интервала варьирования составляет некоторую долю от области определения фактора. Можно, например, условиться о следующем: если интервал составляет не более 10 % от области определения, считать его узким, не более 30 % – средним и в остальных случаях – широким. Это, конечно, весьма условно, и в каждой конкретной задаче приходится специально определять эти понятия, которые зависят не только от размера области определения, но и от характера поверхности отклика, и от точности дискретизации факторов.

Перейдем к рассмотрению блок-схем принятия решений. На первой схеме (рис. 2.11) представлены девять ситуаций, имеющих место при низкой точности дискретизации факторов. При высоком решений учитываются информации о кривизне поверхности отклика и о диапазоне изменения параметра оптимизации. Типичное решение – широкий интервал варьирования. Узкий интервал варьирования совершенно не используется, что вполне понятно при низкой точности.

Пусть ситуация определяется следующими признаками: поверхность отклика линейна, а диапазон изменения параметра оптимизации узок. Какое решение бы вы предпочли? Эта ситуация обозначена на нашей схеме номером 2. Признаки ситуации определяются стрелками, направленными к

ки возможности представления совокупности экспериментальных данных уравнением определенного типа: графический и табличный:

1) Графический метод проверки. Уравнение преобразуется к виду линейной зависимости между x и y. В линейную преобразованную зависимость подставляют экспериментальные значения и, если все точки расположатся по прямой, то считается, что выбранная зависимость хорошо описывает результаты эксперимента.

2) Табличный метод проверки. Этот метод наиболее удобен при лини в формуле более трех производных коэффициентов и основан на свойствах конечных разностей:

- конечные разности n-го порядка функций n-й степени являются величинами постоянными;
- конечная разность суммы функций равна сумме конечных разностей;

$$\Delta[f(x) + \phi(x)] = \Delta[f(x)] + \Delta[\phi(x)];$$

- конечная разность постоянной величины $\Delta c = 0$;
- постоянный коэффициент можно выносить за знак конечной разности: $\Delta[cf(x)] = c\Delta[f(x)]$.

После установления вида функциональной зависимости необходимо подобрать коэффициенты. Существует несколько методов подбора коэффициентов: графические методы («выравнивания» и пересечения), метод средних и наименьших сумм, метод наименьших квадратов и др.

Методом «выравнивания» коэффициенты определяются по отрезку, отсекаемому на оси ординат, и по тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс.

Метод пересечения используют при определении коэффициентов полиномиальных формул, которые входят в формулу более двух раз.

Метод средних или неувязок сумм заключается в выполнении условия:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \Delta_i = 0; \\ \Delta_i = y_i - f(x_i), \end{cases} \qquad (2.7)$$

где y_i – экспериментальные значения при соответствующих значениях x_i.

Решив систему (2.7), можно вычислить коэффициенты.

Метод наименьших квадратов более точен для определения коэффициентов. При определении коэффициентов эмпирических формул эти методом исходят из условия:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2 = \min; \\ \Delta_i = y_i - f(x_i), \end{cases}$$

где y_i – экспериментальные значения при соответствующих значениях x_i; n – число экспериментальных точек.

возможность дальнейшего улучшения параметра оптимизации, а данное значение нас не удовлетворяет. Эту точку нельзя рассматривать в качестве основного уровня. Дело в том, что она расположена на границе области определения. Требование симметрии экспериментальных точек относительно нулевого уровня привело бы в этом случае к выходу за границы области определения, чего делать также нельзя.

Выбор интервалов варьирования

Теперь наша цель состоит в том, чтобы для каждого фактора выбрать два уровня, на которых он будет варьироваться в эксперименте.

Представьте себе координатную ось, на которой откладываются значения данного фактора, для определенности – температуры. Пусть основной уровень уже выбран и равен 100 °С. Это значение изображается точкой. Тогда два интересующих нас уровня можно изобразить двумя точками, симметричными относительно первой. Будем называть один из этих уровней верхним, а второй – нижним. Обычно за верхний уровень принимается тот, который соответствует большему значению фактора, хотя это не обязательно, а для качественных факторов вообще безразлично. Интервалом варьирования факторов называется некоторое число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание – нижний. Другими словами, интервал варьирования – это расстояние на координатной оси между основным и верхним (или нижним) уровнем. Таким образом, задача выбора уровней сводится к более простой задаче выбора интервала варьирования. Заметим еще, что для упрощения записи условий эксперимента и обработки экспериментальных данных масштабы по осям выбираются так, чтобы верхний уровень соответствовал +1, нижний -1, а основной – нулю. Для факторов с непрерывной областью определения это всегда можно сделать с помощью преобразования:

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{I_j},$$

где x_j – кодированное значение фактора; $\tilde{x}_j$ – натуральное значение фактора; $\tilde{x}_{j0}$ – натуральное значение основного уровня; I_j – интервал варьирования; j – номер фактора.

Для качественных факторов, имеющих два уровня, один уровень обозначается +1, а другой – -1; порядок уровней не имеет значения.

Пусть процесс определяется четырьмя факторами. Основной уровень и интервалы варьирования выбраны следующим образом:

	$\tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	$\tilde{x}_3$	$\tilde{x}_4$
Основной уровень	3	30	1,5	15
Интервал варьирования	2	10	1	10

Таблица 3.1

Единицы СИ физических величин

Величина	Единица измерения	Сокращенные обозначения
1	*2*	*3*
Основные единицы		
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура	градус Кельвина	К
Сила света	кандела	кд
Количество вещества	моль	моль
Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	стер
Производные единицы		
Площадь	квадратный метр	$м^2$
Объем	кубический метр	$м^3$
Частота	герц	Гц
Плотность	килограмм на кубический метр	$кг/м^3$
Скорость	метр в секунду	м/с
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с
Ускорение	метр на секунду в квадрате	$м/с^2$
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	$рад/с^2$
Сила	ньютон	Н
Давление (механическое напряжение)	ньютон на квадратный метр	$Н/м^2$
Динамическая вязкость	ньютон-секунда на квадратный метр	$Н·с/м^2$
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	$м^2/с$
Работа, энергия, количество теплоты	Джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Количество электричества, электрический разряд	кулон	Кл
Электрическое напряжение, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	вольт	В
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м
Электрическое сопротивление	Ом	Ом
Электрическая емкость	фарада	Ф
Поток магнитной индукции	вебер	Вб
Индуктивность	генри	Гн
Магнитная индукция	тесла	Тл
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м
Магнитодвижущая сила	ампер	А
Световой поток	люмен	Лм
Яркость	кандела на квадратный метр	$кд/м^2$
Освещенность	люкс	Лк

3. ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Общие положения

Различают объекты измерений (исследований) и методы измерений и регистрации измеряемых величин. После сбора данных, их обработки и анализа принимают решение о точности и достаточности полученных результатов или постановке новых экспериментов [18].

Объекты измерений в сварочной технике могут быть разделены на два основных класса: сварочные процессы и сварные соединения. В равде случаев измерения и регистрацию параметров на сварном соединении проводят в ходе сварочного процесса. Как правило, такие измерения связаны с исследованиями полей температур и деформаций, кинетики аллотропических или фазовых превращений в свариваемом металле и др.

Таким образом, исследование сварочных процессов и сварных соединений связано с проведением измерений.

Измерением называется процесс сравнения измеряемой величины с величиной того же рода, принятой за единицу измерения. Результат измерения выражают числом, показывающим отношение измеряемой величины к единице измерения.

3.2. Единицы физических величин в международной системе единиц (СИ)

Результаты измерений приводятся в единицах СИ (System International), а также в десятичных кратных и дольных от них.

В табл. 3.1 приведены единицы СИ физических величин. Допускается также измерять температуру в градусах Цельсия (°С), массу – в тоннах (т), время – в минутах (мин), часах (ч) и сутках (сут), объем – в литрах (л).

На базе основных единиц получены производные единицы, имеющие специальные наименования. Так, частота измеряется в герцах (1 Гц = $1\ с^{-1}$), сила, вес – в ньютонах (1 Н = $1\ кг{\cdot}м{\cdot}с^{-2}$), давление, механическое напряжение, модуль упругости – в паскалях (1 Па = $1\ Н{\cdot}м^{-2}$). Энергия, работа и количество теплоты измеряется в джоулях (1 Дж = 1 Н·м), мощность и поток энергии – в ваттах (1 Вт = $1\ Дж{\cdot}с^{-1}$), количество электричества – в кулонах (1 Кл = 1 А·с), электрический потенциал и электрическое напряжение – в вольтах (1 В = $1\ Вт{\cdot}А^{-1} = 1\ Дж{\cdot}Кл^{-1}$), электрическое сопротивление – в Омах (1 Ом = $1\ В{\cdot}А^{-1}$).

В тепловых расчетах следует использовать следующие производные единицы: теплоемкость системы и энтропия системы – джоуль на кельвин ($Дж{\cdot}К^{-1}$), удельная теплота – ватт на метр-кельвин ($Вт/(м{\cdot}К)$), удельная теплота и удельная энергия – джоуль на килограмм (Дж/кг).

Остановимся на первом факторе. Отметим на координатной оси три уровня нижний, основной и верхний.

Натуральные значения	1	3	5	$\tilde{x}_1$
Кодированные значения	-1	0	+1	x_1

Нужно найти кодированное значение для $\tilde{x}_1 = 2{,}0$. Это значение лежит между 1,0 и 3,0, т. е. между -1 и 0 в кодированном масштабе. Так как в натуральном масштабе 2,0 лежит посередине между 1,0 и 3,0, то ему соответствует -0,5 в кодированном масштабе. (Для $\tilde{x}_1 = 2{,}5$ будет $\tilde{x}_1 = -0{,}25$, для $\tilde{x}_1 = 1{,}5$ будет $\tilde{x}_1 = -0{,}75$ и т.д.).

На выбор интервалов варьирования накладывают естественные ограничения сверху и снизу. Интервал варьирования не может быть меньше той ошибки, с которой экспериментатор фиксирует уровень фактора. Иначе верхний и нижний уровни окажутся неразличимыми. С другой стороны, интервал не может быть настолько большим, чтобы верхний или нижний уровни оказались за пределами области определения. Внутри этих ограничений обычно еще остается значительная неопределенность выбора, которая устраняется с помощью интуитивных решений.

Обратите внимание, что при решении задачи оптимизации мы стремимся выбрать для первой серии экспериментов такую подобласть, которая давала бы возможность для шагового движения к оптимуму. В задачах же интерполяции интервал варьирования охватывает всю описываемую область.

Выбор интервалов варьирования – задача трудная, так как она связана с неформализованным этапом планирования эксперимента. Возникает вопрос, какая априорная информация может быть полезна на данном этапе? Это – сведения о точности, с которой экспериментатор фиксирует значения факторов, о кривизне поверхности отклика и о диапазоне изменения параметра оптимизации. Обычно эта информация является ориентировочной (в некоторых случаях она может оказаться просто ошибочной), но это единственная разумная основа, на которой можно начинать планировать эксперимент. В ходе эксперимента ее часто приходится корректировать.

Точность фиксирования факторов определяется точностью приборов и стабильностью уровня в ходе опыта. Для упрощения принятия решений мы вводим приближенную классификацию, полагая, что есть низкая, средняя и высокая точности.

Источником сведений о кривизне поверхности отклика могут служить уже упоминавшиеся графики однофакторных зависимостей, а также теоретические соображения. Из графиков сведения о кривизне можно получить визуально. Некоторое представление о кривизне дает анализ табличных данных, т.к. наличию кривизны соответствует непропорциональ-

зоны тепловыделения при точечной контактной сварке нарастают пропорционально квадрату толщины листов:

$$V = 2\delta\frac{\pi d_z^2}{4} \approx 8\pi\delta^2; C_v = VC\gamma = 8\pi\delta C\gamma,$$

где $C\gamma$ – удельная теплоемкость металла.

Размеры литого ядра определяются температурой в зоне тепловыделения в момент выключения тока, которая пропорциональна теплосодержанию металла этой зоны. Теплосодержание Q металла между электродами машины в процессе сварки изменяется по экспоненциальному закону:

$$Q = P\frac{\delta^2}{\alpha}\left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha t}{\delta^2}\right)\right],$$

где P – мощность; α – температуропроводность металла.

Мощность, выделяемая током I в деталях, зависит от сопротивления R, на величину которого оказывает влияние усилие F сжатия электродов:

$$P = I^2 R \approx I^2\left(\frac{2\rho}{\pi} + \frac{k}{F}\right),$$

где ρ – удельное электросопротивление металла деталей; k – коэффициент, зависящий от состояния поверхности деталей.

Для получения литого ядра нормальных размеров необходимо нагреть металл в зоне сварки до некоторой средней температуры $T_o = Q/C_\gamma$. Для этого необходимо, чтобы через детали протекал ток I в течение времени t:

$$I^2 = \frac{8\pi C_\gamma T_o \alpha}{\left(\frac{2\rho}{\pi} + \frac{k}{F}\right)\left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha t}{\delta^2}\right)\right]}.$$

Эта зависимость показывает, что относительные размеры литого ядра связаны с током квадратичной зависимостью, с длительностью импульса тока и с толщиной листов – экспоненциальной, а с усилием сжатия электродов – гиперболической.

2) Экспериментальное исследование. При решении данной задачи необходимо иметь в виду, что теоретическое соотношение получено без учета многих явлений и что в этом соотношении содержится ряд параметров, численные значения которых неизвестны.

При проведении опытов необходимо обеспечить постоянное значение проплавления деталей, которое следует рассматривать как выходной параметр процесса, чего можно добиться при заданных значениях толщины деталей, усилия сжатия электродов и длительностью импульса тока подбором сварочного тока. Ввиду того, что при подборе режима сварки трудно добиться постоянного проплавления h, в качестве выходного параметра используют величину $y = I^2\delta/h$, учитывающую небольшое отклонение проплавления.

В соответствии с результатом теоретического анализа в качестве входных факторов процесса используют величины:

$$x_1 = \left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha t}{\delta^2}\right)\right]^{-1}; \; x_2 = F.$$

Задача экспериментального исследования сводится к определению коэффициентов уравнения регрессии:

$$y = b_o + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2,$$

форма которого удовлетворительно соответствует при принятых обозначениях y, x_1, x_2 теоретической зависимости, связывающей параметры сварочного процесса.

Экспериментальное исследование проводят в такой последовательности. Вначале ставят четыре опыта для определения коэффициентов регрессии, варьируя параметры режима сварки на двух уровнях в соответствии с планом полного двухфакторного эксперимента. Затем проводят четыре опыта для оценки воспроизводимости эксперимента и определения доверительного интервала и значимости коэффициентов регрессии при среднем значении параметров режима сварки. В конце исследования ставят четыре опыта для проверки адекватности статистической модели, варьируя толщину деталей и время сварки.

При проведении первой серии опытов вначале подбирают режим сварки, обеспечивающий при среднем значении входных параметров процесса нормальные размеры литого ядра (основной уровень). Затем в соответствии с планом двухфакторного эксперимента (табл. 2.6) длительность импульса тока и усилие сжатия электродов отклоняют на постоянную величину (переводят на верхний и нижний уровни). Для сохранения нормального проплавления значения тока корректируют в каждом опыте. Значение проплавления определяют по макрошлифам. При этом фиксируют результаты только тех опытных сварок, в которых проплавление $h = (0{,}5\text{-}0{,}7)\delta$.

По результатам опытов этой серии вычисляют коэффициенты уравнения регрессии по формулам (2.3) – (2.4):

$$b_1 = \frac{1}{4\cdot 0{,}3}(-166 - 118 + 213 + 180) = 90;$$

$$b_2 = \frac{1}{4\cdot 2}(166 - 118 + 213 - 180) = 10;$$

$$b_3 = \frac{1}{4\cdot 1{,}96}(-116 + 118 + 213 - 180) = -1{,}9;$$

$$b_o = \frac{1}{4}(166 + 118 + 213) - (90\cdot 1{,}59 + 10\cdot 4 - 1{,}9\cdot 6{,}35) = -2{,}04.$$

Графики не имеют перечисленных недостатков. Чтобы график показал истинную функциональную зависимость, необходимо правильно его построить, выбрать соотношение масштабов по осям и т.д. Выбор соотношения масштабов по осям определяется значениями ошибок переменных x и y, т.е. экспериментальная точка при выбранном масштабе должна иметь приблизительно квадратную форму (рис. 2.14).

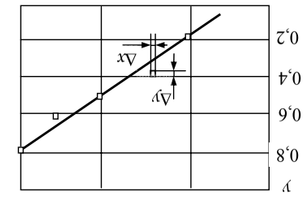


Рис. 2.14. Нанесение экспериментальных точек для построения графика $y = f(x)$ при $y = \pm 0{,}02$ и $\Delta x = 0{,}05$

По осям ординат откладывают значения изменяющихся измеряемых величин в пределах опытного исследования, по осям абсцисс – значения независимой переменной.

Имея достаточное количество точек, строят график зависимости переменных величин. Для количественной оценки и выбора лучшего варианта из нескольких используют метод наименьших квадратов, сущность которого заключается в определении среднеквадратичного отклонения экспериментальных точек от проведенной кривой или прямой по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta y_i)^2}{n}},$$

где выражение в числителе есть сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от значения этой функции на кривой при заданном значении абсциссы, n – число экспериментальных точек. Из всех вариантов построения кривой выбирают тот, при котором значение α минимально. При построении графиков важно, чтобы экспериментальные точки располагались симметрично линии графика.

Для построения графиков используют сетки в прямоугольных координатах с линейными, полулогарифмическими и логарифмическими или другими шкалами.

Полулогарифмические шкалы используют, если одна из переменных изменяется на несколько порядков, функция имеет экспоненциальный характер или наиболее интенсивное изменение характеристики наблюдается на начальном участке. Логарифмическая шкала применяется в тех же случаях, но при условии, что x и y изменяются на несколько порядков.

Графически полученную зависимость желательно представить в математическом виде. При этом необходимо решить две задачи: найти вид уравнения (тип эмпирической формулы) и определить коэффициент эмпирической формулы. Для определения типа эмпирической формулы пользуются графиками построенных функций. Существует два метода провер-

данному кружочку. Стрелка, выходящая из кружочка, указывает решение. Низкая точность фиксирования факторов приводит к отказу от выбора узкого интервала варьирования, иначе результаты могут оказаться неразличимыми. Нам известно, что поверхность линейна. Это не налагает ограничений на расширение интервалов. Кроме того, надо учитывать сведения о диапазоне изменения параметра оптимизации. Он узок, а мы стремимся получить в эксперименте различающиеся значения параметра оптимизации. Поэтому интервал следует увеличивать.

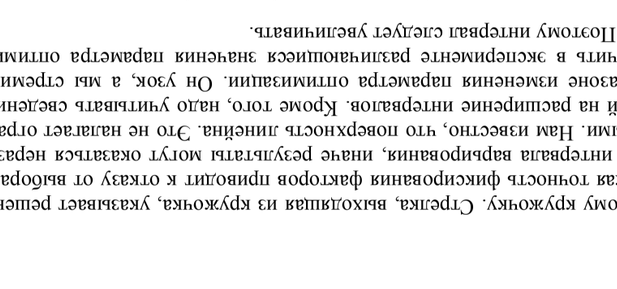


Рис. 2.11. Принятие решений при низкой точности фиксирования факторов

Вернемся снова к блок-схеме. Вы видите, что средний интервал варьирования в этой схеме выбирается дважды, причем в девятой ситуации как редко применяемая альтернатива. Здесь отсутствует информация об обоих признаках, и выбор широкого интервала представляется более естественным.

Наибольшие трудности возникают, когда поверхность отклика нелинейна. Появляется противоречие между низкой точностью фиксирования факторов и кривизной. Первая требует расширения интервала, а вторая – сужения. Решение оказывается неоднозначным. Как поступить? Приходится рассматривать дополнительные рекомендации (см. рис. 2.11). Прежде всего, нужно выяснить, нельзя ли увеличить точность эксперимента либо за счет инженерных решений, либо за счет увеличения числа повторных опытов. Если это возможно, то решения принимаются на основе блок-схемы (рис. 2.12) для средней точности фиксирования факторов. Если это невозможно, то для принятия решения нет достаточных оснований, и оно становится интуитивным.

Уравнение регрессии в виде $I^2 = 0{,}67(90x_1 + 10x_2 - 1{,}9x_1x_2 - 2{,}04)$ позволяет вычислить значение тока, усилия сжатия электродов и длительности импульса тока.

Таблица 2.6

План двухфакторного эксперимента

Параметры		t	F	x_1	x_2	x_1x_2
Размерность		с	кН	-	кН	$А^2$/кН
Основной уровень (0)		0,4	4	1,59	4	6,35
Верхний уровень (+1)		0,3	6	1,89	6	3,78
Нижний уровень (-1)		0,6	2	1,29	2	7,72
Шаг варьирования		-	-	±0,3	±2	±1,96
Номер опыта	План эксперимента			Результат		
	x_1	x_2	x_1x_2	I, кА	2h, мм	y, $кА^2$
1	-1	+1	-1	9,35	2,1	166
2	-1	-1	+1	8,23	2,3	118
3	+1	+1	+1	11,3	2,4	213
4	+1	-1	-1	9,96	2,2	180

Для оценки статистической значимости коэффициентов регрессии проводят серию опытов на основном уровне входных параметров. Результаты этого эксперимента и статистические характеристики, вычисленные по этим результатам, приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты эксперимента и статистические характеристики

Номер опыта		Результаты опытов		
		I, кА	2h, мм	y, $кА^2$
1		10	2,4	16,7
2		9,5	2,0	180
3		9,8	2,2	175
4		9,9	2,4	163
Среднее значение		9,8	2,25	171,25
Расчетное значение		9,71	2,25	169,25
Дисперсия	воспроизведения	0,047	0,037	59
	адекватности	0,058	0,037	66
Доверительный интервал/шаг		0,35/0,3	0,3/2	12,3/1,96
Отношение дисперсий		1,24	1,0	1,12

Сравнением доверительного интервала с коэффициентами регрессии устанавливается, что коэффициенты b_1 и b_2 являются значимыми при доверительной вероятности $P_o = 0{,}95$. Коэффициент b_3 статистически незначим, так как его значение меньше отношения доверительного интервала к шагу варьирования. Сравнение дисперсий адекватности и воспроизведения с табличным значением критерия Фишера показывает, что при постоянной толщине деталей принятая форма статистической модели соответствует

Это, несомненно, широкие интервалы варьирования. Отметим еще, что для x_2 основной уровень выбран вблизи границы области определения. Поэтому рекомендация о выборе широкого интервала варьирования приводит к совпадению верхнего уровня с этой границей. Так, на практике осуществляется выбор интервалов варьирования.

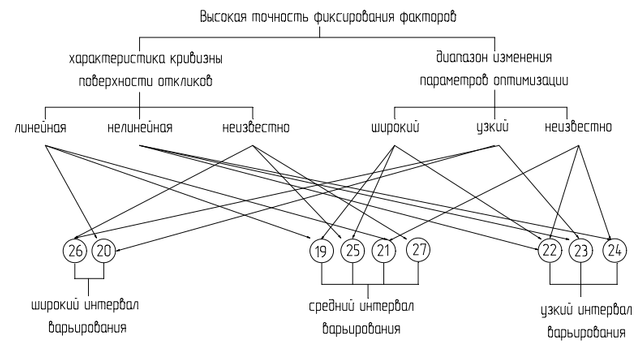


Рис. 2.13. Принятие решений при высокой точности фиксирования факторов

Итак, вооружившись умением выбирать основной уровень и интервалы варьирования факторов, мы готовы приступить к построению плана проведения эксперимента.

2.8. Пример статистического моделирования процесса

Задача. Математически описать зависимость между параметрами режима точечной сварки. Целью исследования является получение расчетной формулы, связывающей значение и длительность импульса сварочного тока, усилие сжатия электродов и толщину свариваемых точечной контактной сваркой листов из малоуглеродистой стали, обеспечивающих стандартные размеры литого ядра.

1) Теоретический анализ задачи. Целью анализа является выявление приблизительного вида искомой взаимосвязи для упрощения экспериментального исследования. Рассмотрим соотношения между отдельными параметрами сварочного процесса.

Стандартные размеры литого ядра определяются толщиной свариваемых листов. При приблизительно одинаковой толщине нормальными считаются: проплавление деталей, равное 2/3 их толщины, и диаметр литого ядра $d_я$, равный $4\sqrt{\delta}$, где δ – толщина листа. Объем V и теплоемкость C_v

Эта блок-схема, как и последующие, служит весьма грубым приближением к действительности. На практике учитывается еще масса обстоятельств. Например, решения, принимаемые по каждому фактору в отдельности, корректируются при рассмотрении совокупности факторов.

На рис. 2.12 изображена блок-схема для случая средней точности фиксирования факторов.

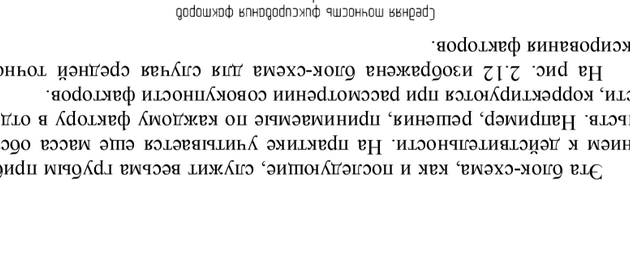


Рис. 2.12. Принятие решений при средней точности фиксирования факторов

Характерен выбор среднего интервала варьирования. Лишь в случае нелинейной поверхности и широкого диапазона рекомендуется узкий интервал варьирования. При сочетаниях линейной поверхности с узким диапазоном и отсутствием информации о диапазоне выбирается широкий интервал варьирования.

Наконец, на рис. 2.13 построена блок-схема для случая высокой точности фиксирования факторов. Сочетание высокой точности с нелинейностью поверхности всегда приводит к выбору узкого интервала. Довольно часто выбирается средний интервал и лишь в двух случаях – широкий. В обеих последних блок-схемах отсутствуют неоднозначные решения.

Пример 3. Давайте продолжим рассмотрение примера 1. Вы помните, что область определения факторов была выбрана следующим образом: для x_1 от 0,5 до 3, для x_2 от 3 до 8. Основной уровень: $x_1 = 1{,}5$, $x_2 = 7{,}0$.

Экспериментатор имел такую априорную информацию: точность фиксирования факторов средняя, поверхность отклика линейна, диапазон изменения параметра оптимизации довольно узок. Этот случай соответствует ситуации 11 блок-схемы (см. рис. 2.12). Принимаемое решение – широкий интервал варьирования. Экспериментатор выбрал такие интервалы: $I_1 = 0{,}5$, $I_2 = 1{,}0$, что составляет 20 % от области определения факторов.

истинной взаимосвязи между амплитудой, длительностью импульса тока и усилием сжатия электродов. Для оценки адекватности статистической модели при варьировании толщины детали проводят третью серию опытных сварок. Толщину детали и длительность импульса тока изменяют по плану полного факторного эксперимента. Значение сварочного тока, необходимое для получения нормального проплавления детали, рассчитывают по полученной эмпирической зависимости для каждого опыта и устанавливают на регуляторе машины. Адекватность оценивают по средневзвешенному отклонению проплавления детали от расчетного значения и сравнением этого отклонения с дисперсией воспроизведения (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Данные для оценки адекватности модели

Номер опыта	Задано		Измерено			Вычислено
	F, кН	δ, мм	t, с	I, кА	2h, мм	y, $кА^2$	y, $кА^2$
1	2,4	1,4	0,24	8,9	2,1	150	144
2	2,4	1,4	0,5	7,7	2,3	103	115
3	5,0	2,6	0,4	12,2	2,4	248	246
4	5,0	2,6	0,8	9,7	2,1	179	164
Дисперсия адекватности							102

Получennая эмпирическая взаимосвязь между током, временем сварки, усилием сжатия электродов и толщиной детали в исследованном диапазоне варьирования указанных параметров при точечной сварке малоуглеродистой стали является достаточно точной для практического использования.

В результате исследования получена эмпирическая формула, позволяющая определить сварочный ток при заданных усилии сжатия электродов машины, длительности импульса тока и толщине свариваемых листов:

$$I = 0{,}82\sqrt{\frac{90}{1-\exp\left(\frac{0{,}1t}{\delta^2}\right)}} + 10F.$$

Эта формула применима для расчета режимов сварки листов из малоуглеродистой стали толщиной 1-3 мм.

2.9. Графическое представление результатов экспериментального исследования

По результатам эксперимента после их обработки составляют таблицу. Различают таблицы записи и изображения. Табличное изображение экспериментальных данных имеет ряд недостатков, связанных в основном с отсутствием наглядности имеющихся максимумов и минимумов, точек перегиба, периодичности и др.

руют структуру. Для комплексных исследований термодеформационных процессов используют промышленные серийные установки типа ИМАШ, АЛА-ТОО (ИМАШ-20-75), методики ИМЕТ-1 и ИМЕТ-4, а также оригинальные методики, разработанные в различных организациях.

Методика ИМЕТ-1 пригодна для оценки влияния термического цикла сварки на структуру и свойства образца исследуемого металла. Пользуясь ею, можно построить диаграммы анизотермического распада аустенита. Установки ИМАШ и АЛА-ТОО позволяют одновременно нагревать и деформировать образцы, наблюдаемые в вакуумном микроскопе. При этом получают характеристики сопротивления металла деформированию при различных температурах и постоянной скорости деформирования. Однако следует отметить, что сопротивление металлов деформированию при сварке зависит как от времени действия температуры и деформации, так и от протекания процессов ползучести и релаксации, упрочнения и разупрочнения, рекристаллизации, термического и деформационного старения, а также фазовых превращений. Поэтому целесообразно воспроизведение полного термодеформационного цикла сварки. Наиболее совершенной для этого является экспериментальная установка, в которой трубчатый образец нагревается и деформируется по циклам, программируемым на АВМ МН-7 м, деформация измеряется бесконтактным индуктивным датчиком, температура – термопарой.

При сварке технологических проб можно получить количественную или качественную оценку. Такой метод значительно проще и не требуют специального оборудования.

Известно значительное количество методик оценки стойкости сварных швов против образования горячих трещин [29].

Горячие трещины. Стойкость сварных соединений против образования горячих трещин в ходе сварочного процесса определяется двумя методами сварки: с принудительным деформированием шва и с помощью технологических проб, имитирующих сварные соединения и реальные условия технологии сварки.

Холодные трещины. Холодные трещины являются наиболее опасными дефектами сварных соединений, так как они зачастую обнаруживаются через некоторое время после окончания сварочного процесса. Тенденции к созданию новых высокопрочных сталей вызывают повышенный интерес к проблеме холодного трещинообразования. Стойкость сварных соединений против образования холодных трещин определяют количественными методами оценки и с помощью технологических проб.

В СССР были разработаны методы ЛТП МВТУ, ИМЕТ-4, за рубежом – CTS-проба с регулируемым теплоотводом.

В последнее время получил широкое распространение метод вставок (Имплант-тест), разработанный во Франции. Метод вставок в отличие от

(индуктивные, магнитоупругие, магнитные и др.) и прочие генераторные датчики.

По принципу действия они подразделяются на термоэлектрические, индукционные, пьезоэлектрические, полупроводниковые, эмиссионные и другие датчики.

Одним из требований к датчикам является обеспечение линейной зависимости выходного сигнала от измеряемой величины. Нелинейность датчика может быть устранена введением дополнительного функционального преобразователя с нелинейными элементами, который частично или полностью компенсирует нелинейность характеристики датчика.

3.4. Измерительно-регистрирующие приборы

Сигналы датчиков чаще всего не могут быть измерены непосредственно. В этих случаях сигналы подаются на усилительно-преобразующие устройства.

Точность экспериментальных данных в значительной степени зависит от правильности выбора измерительной и регистрирующей аппаратуры. К измерительным устройствам, используемым в сварочной технике, относят: приборы непосредственной оценки (амперметры, вольтметры, омметры, частотомеры, фазометры, ваттметры и др.), приборы сравнения (потенциометры, мосты и т.д.). Для расширения пределов измерения используют измерительные трансформаторы тока и напряжения. По способу преобразования электромагнитной энергии, подводимой к прибору, в механическую энергию перемещения подвижной части электромеханические приборы разделяются на магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические и др.

Наибольший интерес при исследованиях представляют измерительно-регистрирующие устройства, различающиеся как способом регистрации измеряемых величин, так и структурой измерительных схем. При выборе регистрирующей аппаратуры необходимо учитывать: тип измеряемых параметров объекта (статические или динамические), требуемую точность, время протекания процесса и скорость измерения регистрирующих величин, число регистрируемых величин, способ изображения результатов и длительность хранения информации.

Регистрирующая аппаратура используется для регистрации:
- медленно протекающих процессов;
- процессов среднего диапазона частот;
- быстропротекающих процессов.

Для регистрации медленно протекающих процессов (например, охлаждения сварного шва) чаще всего используют автоматические электронные потенциометры и мосты (самописцы). Регистрация производится на

2) *Контактная сварка*. Кратковременность включения контактных машин, несинусоидальность формы тока исключает возможность его измерения стандартными электроизмерительными приборами. Поэтому для измерения и регистрации сварочного тока разработана специализированная аппаратура.

При сварке на однофазных машинах переменного тока без модуляции можно ограничиться измерением действующего значения тока. Прибором, измеряющим действующее значения тока за полупериод, можно контролировать импульсы тока с модуляцией, т.е. измерять ток в наибольшем периоде.

На машинах переменного тока (с одним полупериодом), низкочастотных и конденсаторных целесообразно измерять амплитудное значение импульсов тока. Таким образом, для измерения сварочного тока необходимы два типа приборов: измерители действующих и амплитудных значений тока. Для наблюдения и записи формы импульса сварочного тока, а также его измерений необходимы соответствующие датчики. На основе эффекта Холла разработан датчик сварочного тока ДСТ-1. Эффект Холла заключается в возникновении ЭДС на гранях полупроводниковой пластинки, через которую протекает ток, в магнитном поле, вектор напряженности которого перпендикулярен к пластинке. Напряженность магнитного поля пропорциональна току, что позволяет использовать ЭДС эффекта Холла для регистрации сварочного тока. Недостатками датчика ДСТ-1 является зависимость его выходного напряжения от температуры и расположения относительно машины.

Другим типом датчика наблюдения и записи тока точечных и шовных машин на осциллографе является калиброванный шунт, устанавливаемый в первичной цепи машины. В связи с необходимостью уменьшить погрешности измерений реактивной составляющей напряжения, намагничивающегося тока холостого хода, нагрева обмоток и других существуют несколько типов датчиков [21].

Разместить шунт в машине можно лишь при увеличении размеров вторичного контура, что невыгодно. Он представляет собой обмотку, выполненную на кольцевом немагнитном сердечнике. Катушка-тороид помещается на токоведущем элементе вторичного контура. Магнитный поток, создаваемый вокруг электрода сварочным током, вызывает появление напряжения на выходе тороида, пропорционально $I_{св}$. С помощью RC – цепочки эту величину преобразуют в сигнал, пропорциональный сварочному току. Обычно величина резистора R = 500 кОм – 1 Мом, C = 1 – 2 мкФ.

Для измерения амплитудного значения сварочного тока можно использовать схему, приведенную на рис. 3.1. В качестве датчика использован тороид. Напряжение с выхода датчика через интегрирующую RC-цепочку и диод поступает на конденсатор C_2, который заряжается практи-

Важной характеристикой источника, определяющей его технологические особенности и область применения, является концентрация теплового потока, равная отношению эффективной тепловой мощности к площади пятна нагрева. Концентрация теплового потока является усредненной величиной, поэтому необходимо учитывать характер распределения теплового потока по пятну нагрева. Для экспериментального исследования таких процессов применяют медный водоохлождаемый секционированный анод, термически и электрически разделенный. Методы определения силового воздействия дуги на расплавленный металл описаны выше.

Для наиболее распространенного источника тепла – дугового разряда – важна вольтамперная характеристика (ВАХ) и его энергетические характеристики – катодное *Uк* и анодное *Uа* падения напряжения. Если снятие ВАХ не представляет затруднений, то определение значений *Uк* и *Uа* является до сих пор затруднительным. Обычно сумму значений *Uк* и *Uа* определяют графической экстраполяцией зависимости напряжения на от ее длины к длине дуги, равной нулю.

4.2. Тепловые процессы

Различают процессы нагрева электродного и основного металлов [25]. При сварке плавлением характеристиками процесса являются массовая скорость плавления электрода и коэффициент потерь на разбрызгивание, испарение и окисление (угар), связанные с кинетикой капельного плавления и переноса электродного металла. Если измерение этих характеристик не вызывает трудностей, то исследование процессов формирования и переноса капель – сложный по технике проведения эксперимент. Для этих целей используют скоростную киносъемку при открытых дугах (в защитных газах) или рентгеносъемку при сварке закрытой дугой (под флюсом или покрытым электродом). В обоих случаях полезно одновременно вести измерение и регистрацию сварочного тока и напряжения с помощью магнитоэлектрических осциллографов. Большая яркость дуги затрудняет наблюдение, и поэтому скоростную киносъемку (1000...1900 кадров/с) ведут теневым способом, подсвечивая обратную сторону дуги прожекторами или мощными лампами и используя светофильтры. Рентгенокиносъемка является единственным способом наблюдения процесса в закрытых дугах и др.

Температуру и энтальпию капель электродного металла измеряют с помощью калориметрирования и термопар.

Исследование нагрева основного металла производится известными методами измерения температуры. Результат измерения выражается кривой термического цикла сварки в точке измерений. Плавление металла приводит к образованию сварочной ванны, характеристиками которой яв-

градуированную бумажную диаграмму. Широко применяют координатные самопишущие приборы типа КСП (одноканальные или многоканальные). Одной из координат в таких приборах является время, масштаб которого определяется скоростью протяжки бумажной ленты. Наиболее удобны двухкоординатные приборы типа ПДС (потенциометр двухканальный самопишущий), которые вычерчивают графическую зависимость двух сигналов в прямоугольной системе координат. Верхний диапазон частот таких потенциометров составляет около 0,2 Гц.

Наиболее распространенными регистрирующими приборами, работающими в среднем диапазоне частот (до 200 Гц), являются магнитоэлектрические (светолучевые) осциллографы, имеющие большое число каналов и широкий диапазон масштабов развертки во времени. Результат получают в виде графика, который можно хранить длительное время. Измерительным механизмом такого осциллографа является магнитоэлектрический петлевой вибратор, имеющий постоянный магнит, в поле которого находится петля с зеркальцем. Петля вибратора при прохождении по ней измеряемого тока отклоняется и вызывает поворот зеркала, на которое направлен луч света. Модулированный таким образом луч света направляется на движущуюся светочувствительную пленку или фотобумагу.

Удобны для наблюдения как медленно, так и быстро протекающих процессов электронные осциллографы. Осциллографы работают в режиме развертки по времени или изображения процесса в фазовой области. Многолучевые осциллографы дают возможность наблюдать одновременно несколько процессов и позволяют оценивать процесс только визуально. Для регистрации же быстро протекающих процессов широко применяют электромагнитную регистрацию путем неравномерного намагничивания носителя информации – ферромагнитных материалов.

3.5. Измерение сварочных токов и напряжений

1) *Дуговая сварка.* Существует несколько способов измерения сварочного тока. Проще всего производить измерения электромагнитным прибором прямого включения. При этом для того чтобы включение измерительного прибора непосредственной оценки не влияло на работу контролируемой цепи, сопротивление амперметра должно быть значительно меньше (не менее, чем на порядок) сопротивления контролируемой цепи. Однако возможности такого способа ограничены тем, что промышленностью не выпускается электромагнитные приборы на ток более 200 А. Расширить пределы измерения тока можно способом комбинации шунта с магнитоэлектрическим милливольтметром (при сварке на постоянном токе) и трансформатора тока с амперметром электромагнитной системы (при сварке на переменном токе).

При использовании комбинации шунта с магнитоэлектрическим милливольтметром значение сварочного тока определяется как $I_{св} = U/R_ш$, где U – падение напряжение на шунте; $R_ш$ – сопротивление шунта.

При измерении тока с помощью шунта, который рассчитан на измерение определенных токов и падение напряжения которого при данном токе известно, регистрация тока не вызывает затруднений. В этом случае целесообразно подключать к шунту милливольтметр с пределом измерения как на шунте.

В некоторых случаях, например при импульсно-дуговой сварке, сварочный ток имеет сложную несимметричную форму и содержит постоянную и переменные составляющие. Однако через трансформатор тока не проходит постоянная составляющая, и поэтому использование его в комбинации с электромагнитным амперметром оказывается невозможным. Милливольтметр магнитоэлектрической системы измеряет постоянную составляющую, но не реагирует на переменную составляющую и, следовательно, не может показывать действующее значение сварочного тока. Для измерения постоянной и переменных составляющих напряжения на шунте требуется заменить магнитоэлектрический милливольтметр на электромагнитный или электродинамический милливольтметр. Вследствие низкой чувствительности вольтметры не могут работать с обычными стандартными шунтами, рассчитанными на падение напряжения в несколько десятков милливольт. Для использования электромагнитного или электродинамического вольтметра с шунтом при измерении действующего значения сварочного тока сложной несимметричной формы необходим усилитель мощности постоянного тока. Расширение пределов измерения в цепях переменного тока осуществляют с помощью трансформаторов тока.

Первичная обмотка многопредельного трансформатора тока имеет несколько секций, включаемых последовательно, благодаря чему получается несколько пределов измерения. Для еще большего расширения пределов измерения в корпусах трансформаторов тока имеется окно, через которое можно наматывать нужное число витков сварочного кабеля, создавая тем самым первичную обмотку. Нормальным для трансформаторов тока является режим, близкий к короткому замыканию, и поэтому разрыв вторичной цепи включенного трансформатора недопустим. Для измерений сварочного тока находят широкое применение многопредельные трансформаторы тока типа УТТ-5 и УТТ-6.

Измерение напряжения дуги не вызывает затруднений. Однако следует учитывать, что в режиме холостого хода источника питания напряжение в сварочной цепи в 2-4 раза превышает рабочее напряжение дуги. Одновременное измерение и регистрацию сварочного тока и напряжения дуги осуществляют с помощью магнитоэлектрических осциллографов.

ляются время пребывания металла в жидком состоянии, масса или объем, геометрические размеры, средняя температура и градиент температур у фронта затвердевания. Все эти характеристики взаимосвязаны, но каждая из них обусловливает протекание различных процессов. Массу ванны определяют путем резкого ее опрокидывания или выплескивания и взвешивания выплеска, отсасывания жидкого металла при сквозном проплавлении и др. В результате выливания или опрокидывания сварочной ванны в калориметр можно определить ее среднюю температуру. Температуру ванны и значения термических градиентов в ней измеряют также с помощью термопар.

Указанные выше характеристики сварочной ванны во многом зависят от гидродинамической обстановки в ней. Движение потоков металла в сварочной ванне определяет тепло и массоперенос в ней и в конечном итоге характер структуры шва, степень физико-химической неоднородности и форму шва, включая образование дефектов типа подрезов. Конвекцию в ванне изучают с помощью вводимых добавок типа радиоактивных элементов или тугоплавких частиц. Исследование кинетики движения металла в ванне проводят также с помощью маятникового вольфрамового зонда, погруженного одним концом в сварочную ванну, а вторым концом связанного с регистрирующим устройством типа шторки и фотодатчика.

4.3. Металлургические процессы

Небольшой объем сварочной ванны и малое время ее существования в условиях непрерывного изменения температуры и концентрации реагирующих веществ затрудняют проведение экспериментальных исследований металлургических процессов при сварке. Поэтому целесообразно создание математических моделей металлургических процессов с широким применением ЭВМ.

Результат протекания той или иной физико-химической реакции на стадии капли и в сварочной ванне с учетом газовой или шлаковой фазы оценивается методами анализа состава металла шва [23, 24].

4.4. Превращения и термодеформационные процессы

Процесс сварки сопровождается аллотропическими, фазовыми и структурными превращениями, приводящими к изменению структуры и объема изменяющихся фаз [26]. При этом процессы превращений и термодеформационные процессы тесно взаимосвязаны.

В ходе сварочного процесса можно изучать кинетику и характер аллотропического (плавление и кристаллизация) и фазовых (например, $\alpha\leftrightarrow\gamma$ – превращение в стали) превращений, а также деформаций. Совместный

характер протекания превращений и деформаций обусловливает образование сварочных трещин.

1) *Затвердевание и кристаллизация металла шва.* Исследование процессов формирования шва проводят как на свободной поверхности реальных металлов методами фото- и киносъемки, так и на моделях-аналогах, например, расплавах солей. Расплавы солей системы $NaNO_3$-KNO_3 имеют низкую температуру плавления (около 300 °С), диаграмму состояния бинарного типа, они прозрачны. Это позволяет изучать кристаллизацию сварочных ванн с помощью микроскопа, когда плавление слоя соли производят нагретым наконечником на кварцевом стекле, установленном на перемещающемся от привода предметном столике микроскопа с подсветкой снизу. Такая методика дает возможность наблюдать процесс кристаллизации при увеличении в 30...100 раз. Для исследования процессов кристаллизации также широко применяется техника металлографии.

2) *Фазовые превращения.* Свойства металлов и сплавов, испытывающих при нагреве и охлаждении фазовые превращения, определяются в значительной степени кинетикой протекания последних [27]. Измерение кинетики превращения при различных скоростях охлаждения производят для определения критических точек, по которым строят диаграммы температура – превращение – время изотермического или анизотермического превращения. Такие измерения выполняют дилатометрическими, магнитометрическими, деформометрическими, релаксометрическими и термомеханическими способами, а результат, например, дилатограмму, записывают на двухкоординатном самописце в виде зависимости: $\varepsilon_a = f(t)$. Обрабатывая дилатограмму, определяют критические точки типа A_{C1}, A_{C3}, A_{r1}, A_{r3} и т.п.

3) *Термодеформационные процессы.* Целью исследования термодеформационных процессов является определение характеристик: сопротивление деформированию металла в условиях термодеформационного цикла сварки для использования их в расчетах сварочных напряжений и деформаций [28]. Установление связи между изменением структуры и свойств в металле шва и околошовной зоны для выбора оптимальных режимов сварки и последующей обработки, а также для предотвращения образования горячих и холодных трещин.

В общем случае техника эксперимента сводится к воспроизведению термического и деформационного циклов сварки и определению свойств и структуры металла. Методики проведения эксперимента можно разделить на три группы в зависимости от условий воспроизведения термических и деформационных циклов:а) оба цикла воспроизводят в реальных условиях сварки технологических проб; б) оба цикла имитируют и в) осуществляют термический цикл в условиях сварки с дополнительной имитацией деформационного цикла. При этом измеряют температуру, деформации и фикси-

мационным циклами. Взаимодействие термического и деформационного (термодеформационного) циклов сварки, особенности сварной конструкции и превращения в свариваемом металле приводят к формированию полей временных и остаточных сварочных напряжений и деформаций, с одной стороны, и к формированию структуры металла швам зоны термического влияния – с другой.

Состав и структура формирующегося металла шва (с учетом характера металлургического цикла сварки) и зоны термического влияния, а также поля остаточных напряжений определяют свойства сварной конструкции в целом. Естественно, эти свойства изменяются в зависимости от характера эксплуатации конструкции.

Исследование указанных сварочных процессов осложняется ввиду небольших объемов вещества, участвующих в процессе, и малого времени протекания процесса в условиях непрерывного изменения температуры, концентрации компонентов и деформаций.

Техника эксперимента при исследованиях сварочных процессов чрезвычайно разнообразна, так как исследования относятся ко всем состояниям вещества. Можно различать исследования сварочных процессов и сварных соединений, разделяя эти эксперименты по времени. Например, изучение стойкости металла шва против образования горячих трещин возможно лишь в ходе сварочного процесса. Стойкость же сварного соединения против хрупкого разрушения изучается на полученном сварном соединении.

Известные экспериментальные методы исследования целесообразно сгруппировать по характеру изучаемых объектов и типу процессов: источник тепла, тепловые, металлургические и термодеформационные процессы, превращения. Такое разделение весьма условно, так как все эти процессы взаимосвязаны.

4.1. Сварочные источники тепла

Важнейшим параметром режима сварки плавлением является эффективная тепловая мощность сварочного источника тепла q, представляющая собой часть от полной мощности источника q_0 и связанная с ней эффективным КПД нагрева.

Измерения величины q производят калориметрическим методом, заключающимся в определении температуры воды в калориметре до и после погружения в нее пластины с наплавленным валиком или сварным швом. Одновременно в процессе сварки фиксируют все другие параметры нагрева.

Мощность источника нагрева для сварочной дуги, равная $q_0 = UI$, наиболее точно измеряется с помощью ваттметра.

чески до амплитудного значения тока. Электронным вольтметром В с большим входным сопротивлением измеряют изменение напряжения на конденсаторе. С помощью кнопки К конденсатор разряжается после измерений. Данный прибор может быть применен для измерений синусоидального и несинусоидального токов. Недостаток схемы – зависимость напряжения на конденсаторе от длительности измеряемого импульса тока. Для измерения амплитудного значения сварочного тока разработан ряд приборов типа АСУ-1М, КАСТ-2М, ИИСТ-ЧАМ и др.

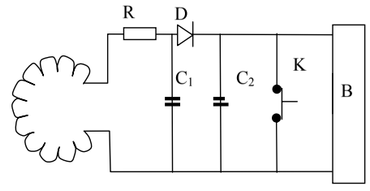


Рис. 3.1. Схема измерения амплитудного значения сварочного тока

Для измерения действующего значения сварочного тока необходимо выполнить ряд функциональных преобразований в соответствии с формулой

$$I_{cd} = \sqrt{\frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}}\left(\int_0^t k\,\frac{di_2}{dt}\,dt\right)dt}\ , \qquad (3.1)$$

где k – коэффициент, зависящий от площади сечения среднего витка катушки и числа витков на 1 см длины датчика-тороида; T – время одного периода сварки.

Реализация формулы (3.1) осуществляется прибором АСУ-1М последовательно. Сигнал тороида (скорость изменения сварочного тока di_2/dt) интегрируется и возводится в квадрат. Затем интегрируется величина квадрата напряжения за полупериод $T/2$. Результат интегрирования запоминается конденсатором, напряжение которого измеряется прибором. Извлечение квадратного корня производится путем соответствующей градуировки шкалы измерительного прибора.

В настоящее время в промышленности наибольшее применение находят приборы для измерения действующего значения сварочного тока типа АСУ-1М (универсальный), КСТ-1 и др.

вающегося из газоконтактных и объемных сил в ванне, можно определить весовым методом. Распределение возлействия газового потока аргоновой дуги по поверхности ванны можно изучать, перемещая относительно дуги водоохлаждаемый анод с отверстием, соединенным с микроманометром. Вместо микроманометров используются различные датчики давления. Распределение давления в столбе дуги можно исследовать с помощью зонда, выполненного в виде, или специального теплометрического преобразователя давления паров и газов при сварке в защитных средах.

3.9. Измерение температуры

Практически все сварочные процессы протекают с изменением температуры в зоне соединения. Сварка плавлением, кроме того, характеризуется широким спектром температур: начиная от температур окружающей среды и до температур дуги порядка 10^4 К. При сварке конденсированными источниками энергии свариваемый металл находится в твердом, жидком и газообразном состоянии. Поэтому специфика сварочных процессов определяет выбор методов и средств измерения температуры, к которым в зависимости от поставленной задачи выдвигаются различные требования.

В общем случае можно выделить три группы объектов измерения при сварке: твердые, жидкие и газообразные тела.

Измерение температуры можно проводить контактными термометрами, пирометрами излучения, термоиндикаторами и спектроскопическими методами. Контактные термометры, устанавливаемые на измеряемый объект, измеряя температуру, в большей или меньшей степени искажают его температурное поле. Пирометры излучения измеряют температуру по излучаемому им теплу и не вносят искажений в температурные поля измеряемых объектов.

Для приближенного определения температуры нагрева тела применяют термоиндикаторы, т.е. вещества, изменяющие цвет при изменении температуры. К термоиндикаторам относятся термочувствительные карандаши, краски, бумаги.

Температуру твердых и жидких металлов измеряют с помощью контактных термометров и пирометров излучения. Наиболее распространенным контактным термометром является термопара. В термопарах используется явление термоэлектричества (эффект Зеебека, 1821 г.), заключающееся в том, что в цепи двух проводников из разных металлов, соединенных по концам, которые находятся при разничных температурах, возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС). Рабочие спаи термопар помещают в точку измерения, а свободные концы остаются при комнатной температуре. Для точных измерений свободные концы помещают в сред известной контрольной температуры, например, 0 °С – вода с тающим льдом.

В зависимости от температурного диапазона измерений выбирают различные типы стандартных термопар по ГОСТ 6616-94 (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Типы термопар по ГОСТ 6616-74

Группы термопар	Наименование термопар	Химический состав	Температурный интервал измерения, °С
ТЖК	Хромель-копель	NiCr-CuNi	-200...600
ТХА	Хромель-алюмель	NiCr-NiAl	-200...1000
ТПП	Платинородий-платина	PtRh10-Pt	0...1300
ТПР	Платинородий-платинородий	PtRh30-PtRh6	300...1600
ТВР	Вольфрамрений-Вольфрамрений	WRe5-WRe20	0...2200

При кратковременных измерениях верхний предел указанного диапазона температур может быть расширен на 200...300 °С.

Рабочие спаи термопар прижимают к месту измерений, закрепляют в заготовленных отверстиях. Место и глубина расположения термопары определяются задачей измерений, наличием градиента температур в теле и т.д. При измерениях температур в сварочной ванне термопару погружают в расплав или располагают на свариваемом образце в месте, которое затем будет расплавлено.

Измерение ЭДС термопар производят по показаниям магнитоэлектрических милливольтметров или компенсационным методом. Измерение термо-ЭДС милливольтметром требует минимальных технических средств, однако погрешность измерения составляет около 2 %, что обусловлено температурной зависимостью сопротивления термопары, соединительных проводов, милливольтметра и его входным сопротивлением.

Точность измерения термо-ЭДС (около 0,5 %) достигается при измерении компенсационным методом, заключающимся во включении встречно термо-ЭДС компенсирующего напряжения через чувствительный нуль-индикатор. Так как при равенстве обеих ЭДС ток в цепи термопары равен нулю, то падение напряжения на сопротивлении провода отсутствует. В такой схеме возникает возможность производительного выбора начала отсчета. Такой принцип измерения реализуется при использовании потенциометра типа ПП-63. Замена нуль-индикатора на электронный усилитель с сервоприводом, осуществляемая в самописцах, позволяет регистрировать изменение температуры с высокой точностью. Для применения вычислений температурных хромель-алюмелевой термопарой можно использовать соотношение

$$T_{ха} = 26{,}4\ n,$$

где $T_{ха}$ – температура, °С; n – термо-ЭДС, мВ.

Для измерения и одновременной регистрации температуры, например, термических циклов при сварке, напряжение термопары подают на вход самопишущего потенциометра, имеющего развертку во времени, или на вход магнитоэлектрического осциллографа.

Измерения температур в газовых средах, преимущественно в сварочных дугах в струях горячих газов, представляют собой специальную область измерений. Температуру струи горячего газа определяют методами пирометрии: яркостной, цветовой или радиационной. Используют также термоэлектрические пирометры и зонды.

Наиболее надежным и точным способом измерения температур дуги считается спектральный способ, основанный на измерении и сравнении яркости спектральных линий различных атомов. Различают методы определения температуры по интенсивности спектральных линий молекул, атомов и ионов или по интенсивности непрерывного спектра. Разработаны методы измерения температуры по плотности частиц с помощью голографии, по рассеянию лазерного излучения и др.

3.10. Измерение перемещений и деформаций

В ходе сварочного процесса измеряют перемещения как элементов сварочных установок, так и отдельных точек свариваемого металла. В последнем случае различают перемещения отдельных точек конструкции, приводящие к искажению геометрических форм сварной конструкции (коробление), и перемещения отдельных точек в локальных зонах, расположенных в околошовной зоне, для изучения термодеформационных явлений при сварке. Измерение деформаций является составной частью расчетно-экспериментальных методов определения сварочных временных и остаточных напряжений. Все эти виды измерений сводятся к измерению больших и малых перемещений. Различают механические, электрические, рентгеновские методы измерений перемещений и деформаций, а также методы фотоупругости и Муара. В процессе сварки применяют датчики перемещений и деформаций – механические деформометры с чувствительными элементами, реагирующими на изменения индуктивности катушек, емкости конденсаторов и омического сопротивления. Отличительной особенностью измерений упругих внутренних деформаций металла под воздействием термодеформационного цикла сварки является использование дифференциального метода, заключающегося в измерении деформации формоизменения E_c и одной из ее составляющих – свободной температурной деформации E_α. Значение E_α определяют дилатометрически, т.е. в результате свободного изменения размеров образца при нагреве по тому же

Расходомер дроссельного типа построен на принципе измерения перепада давления в камере до и после дросселирующей диафрагмы с отверстием малого размера. Измеряя перепад, определяют давление по тарировочным графикам.

3.8. Измерение давлений и усилий

Измерение усилий как параметров сварочного процесса наиболее характерно для сварки давлением. В процессе сварки плавлением измерение усилий обычно связано с определением реакций свариваемого металла на термодеформационный цикл сварки. В исследованиях дуговых процессов особое место занимает измерение силового воздействия дуги на расплавленный металл сварочной ванны.

1) *Сварка давлением.* Для измерения небольших усилий можно использовать пьезоэлектрические датчики – пластинки кристалла кварца, сегнетовой соли и других материалов, на гранях которых под воздействием механических напряжений (растяжения или сжатия) возникает разность потенциалов. Описанное явление называется прямым пьезоэффектом. Обратный пьезоэффект, т.е. расширение или сжатие кристалла под действием электрического напряжения, используется при ультразвуковых методах измерения (ультразвуковой контроль).

Усилие сжатия электродов контактных машин измеряют пружинными динамометрами типа ДПС. Гидравлические динамометры, измеряющие давление жидкости в плоской емкости, сжимаемой электродами машины, находят ограниченное применение.

При переменном усилии сжатия электродов для определения момента приложения дополнительного усилия по отношению с импульсом сварочного тока и времени нарастания этого усилия производят наблюдение и регистрацию его в процессе сварки. Для этого датчик типа ДД-60 устанавливают между нижней точкой электрододержателя нижней консоли машины и местом крепления подкоса. Под действием, усилия сжатия нижняя консоль машины, прогибаясь, взаимодействует с шестерней, сидящей на оси потенциометра. Напряжение, снимаемое с потенциометра и поступающее на осциллограф, пропорционально прогибу консоли, а следовательно, и усилию сжатия электродов.

В качестве датчиков, измеряющих усилия сжатия электродов, могут применяться также тензодатчики сопротивления, которые наклеивают на нижнюю консоль машины. При этом сигнал, пропорциональный усилию сжатия, поступает на вход осциллографа.

2) *Сварка плавлением.* Измерение силового воздействия газовых потоков дуги на расплавленный металл сварочной ванны представляет научный и практический интерес. Полное силовое воздействие дуги, склады-

3.6. Измерение времени сварки

Измерение времени интервалов сварки связано с определением длительности всего цикла сварки и его интервалов, а также скоростей изменения тока, напряжения, температуры, усилия и т.д.

Измерение длительности медленно протекающих процессов производят секундомерами, электросекундомерами (типа ЭС-54 и др.). При регистрации таких процессов самописцами масштаб времени определяют по скорости перемещения бумажной ленты или пера самописца.

Для регистрации процессов средней длительности часто применяют магнитоэлектрические осциллографы, записывающие на ленту одновременно и напряжение переменного тока известной частоты. В осциллографах типа Н-102, Н-700 предусмотрено напряжение частотой 500 Гц, записываемое отдельным вибратором. При этом длительность одного периода переменного тока 1:500 = 0,002 с.

Быстро протекающие процессы исследуют на электронных осциллографах с трубкой длительного послесвечения, имеющих отметчик времени. При этом регистрируемая кривая имеет вид чередующихся черточек. Длительность отдельных участков кривой определяют числом черточек при выбранном масштабе отметчика времени.

3.7. Измерение расходов сварочных материалов

При сварке плавлением расходуются сварочные материалы: проволока, флюс, газ. Измеряют объем, масса и их производные по времени: расход, скорость плавления и т.п.

Наибольший интерес представляет измерение объемного расхода защитных газов, являющегося параметром режима сварки. К числу измерительных устройств относятся расходомеры полавкового и дроссельного типов.

Расходомер поплавкового типа, или ротаметр, состоит из стеклянной трубки с внутренним коническим каналом и поплавка. Принцип работы ротаметра основан на восприятии поплавком динамического напора проходящего снизу вверх измеряемого потока газа. При подъеме поплавка проходной зазор между ним и трубкой увеличивается, при этом перепад давления на поплавке уменьшается. Каждому положению поплавка по высоте трубки соответствует определенный расход газа (в литрах в минуту).

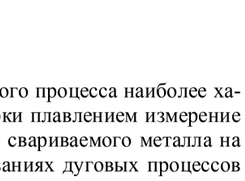


Рис. 3.2. Внешний вид ротаметра типа РМ

Наиболее распространенными типами ротаметров, применяемых в сварочной технике, являются ротаметры типа РМФ, РМ (рис. 3.2).

термическому циклу, что и при измерении E_c. Разность $E_c - E_\alpha = E$ является упругой внутренней деформацией металла.

Измерение таких перемещений, как движение элементов сварочных установок, сварочной проволоки, не представляет затруднение.

4. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Взаимодействие между основными факторами, участвующими в процессе сварки (рис. 4.1), охватывает связь между свариваемой конструкцией и свариваемым металлом с учетом технико-экономических показателей отрасли (народный – двойной контур) [22]. Сварка влияет на эту взаимосвязь так, что свойства сварного соединения изменяются по сравнению с соответствующими (или нормативным) свойствами основного металла. Выбранные с учетом технических (возможность и надежность техники сварки) и экономических (затраты на способ сварки и сварочные материалы) требований сварочный источник тепла и сварочные материалы обеспечивают протекание процесса, характеризующегося параметрами режима сварки.

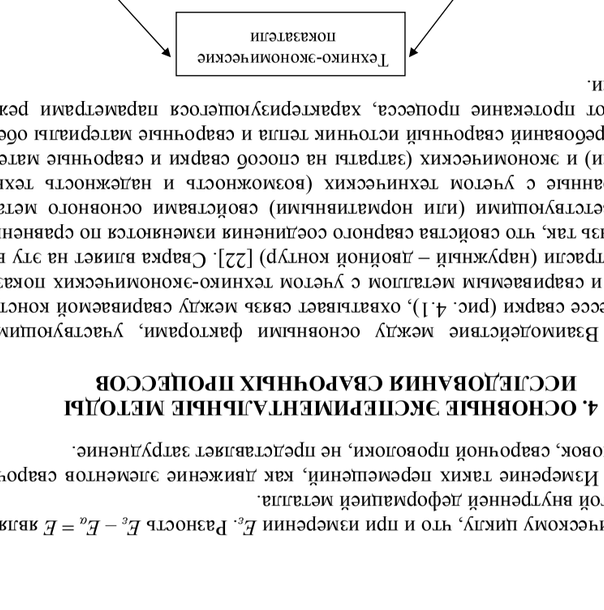


Рис. 4.1. Схема взаимодействия основных факторов при сварке

В зависимости от выбранных и установившихся параметров режима сварки осуществляется протекание основного и сопутствующих сварочных процессов, характеризующихся термическим, металлургическим и дефор-

метода ИМЕТ-4 позволяет оценить влияние металлургического цикла сварки на прочность зоны – термического влияния, где наиболее вероятно образование холодных трещин. Заключается данный метод в заварке отверстия в пластине, в которую вставлен стержень, из испытуемой стали с концентратором напряжений в виде кольцевой или винтовой нарезки. После сварки стержень подвергается растягивающей нагрузке, значение которой варьируется. По результатам испытаний строят график напряжение разрушения – время аналогично методике ИМЕТ-4, но с учетом металлургических процессов.

Расширение номенклатуры комплексно легированных сталей, используемых для сварных конструкций, обусловило появление ряда новых сварочно-технических проблем трещинообразования сварных соединений. Трещины термической обработки и релаксационные трещины при наплавке аустенитных швов на низколегированные стали, склонные к дисперсионному твердению и др. Для исследования таких процессов применяют технологические сварные пробы и намеряют характеристики металлов в условиях релаксации и длительной прочности. При этом значительно возрастает роль металлофизических методов исследования тонкой структуры сварных соединений. Применяют также новые методы исследования сварных соединений, например, фотоэмиссионную микроскопию.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваемый вопрос относится к технике испытания материалов, являющейся одной из отраслей технического материаловедения, – науки, определяющей связь свойств материала с его структурой и целенаправленным изменением этих свойств в результате воздействия на структуру. Задача сварки – получение неразъемного соединения при минимальном изменении свойств основного металла. Степень соответствия свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла является комплексной характеристикой. Оценивают эту степень соответствия при испытаниях сварных соединений (контроль качества сварки), которые позволяют определить численные показатели свойств сварных соединений. Такие испытания проводят в ходе производства сварных конструкций [30].

Задачи исследования сварных соединений состоят в установлении взаимосвязи численных показателей свойств сварных соединений с параметрами сварочных процессов и характеристиками основного металла и сварочных материалов, а также с внешними факторами (температурой, средой, типом нагружения сварной конструкции и т.п.). Такие исследование проводят на этапах НИР и ОКР по созданию новых материалов, их изготовлению, обработке (сварке) и применению, а также при анализе поломок и разрушений.

сти образца. Обычно применяют электрокорундовые круги зернистостью 200-240. Обработку желательно производить последовательно несколькими кругами.

Предварительную обработку (снятие грубодеформированного слоя) следует производить на круге с зернистостью 60, затем 100 или 120, 180 и т.д. После замены круга шлифуемую поверхность необходимо повернуть на 90°. При отсутствии плоскошлифовального станка образец можно шлифовать на механическом или ручном точиле. В этом случае образцы обрабатывают боковой поверхностью абразивного круга, прижимая их с небольшим усилием во избежание нагрева поверхности образца. В процессе шлифования образцы необходимо периодически погружать в воду. При отсутствии абразивного круга поверхность макрошлифа можно доводить на абразивных водостойких шкурках. Окончательная обработка макрошлифа осуществляется шлифовальной шкуркой марки КЗ зернистостью 240-280. Макрошлифы полировке обычно не подвергаются.

Для исследования микроструктуры, т.е. структуры с деталями, различимыми при увеличениях больших, чем в сто раз, изготовляют микрошлифы. Для микрошлифов рациональнее всего вырезать темплеты из макрошлифов. Для этого на макрошлифе определяют необходимый для изучения участок, очерчивают его и вырезают на фрезерном или обрезном станке или ножовкой.

Размеры поверхности микрошлифа для удобства обработки не должны превышать 20×20 мм. Толщина микрошлифа должна быть равной 10-15 мм. Удобнее всего пользоваться темплетами с квадратной поверхностью 100 мм^2. Последнее особенно важно, если структуру металла выявляют электролитическим способом травления, так как можно легко выдержать идентичность режимов. Кроме того, небольшие образцы значительно удобнее подвергать механической обработке. При этом выигрыш во времени при обработке малых шлифов по сравнению с крупными бывает настолько значителен, что обычно выгоднее исследуемый участок (если он имеет большие размеры) разделить на несколько и из каждого вырезать отдельный темплет. Это относится к швам, у которых поверхность наплавленного металла и околошовной зоны в поперечном сечении шва превышает 900 мм^2 (свыше 30×30 мм).

Для выявления микроструктуры применяют неглубокое травление, в результате которого глубина растравленного слоя составляет не более 10 мкм. Между тем при обычной шлифовке абразивами глубина слоя с искаженной структурой даже после тщательной обработки составляет около 50-100 мкм. Следы деформации после обработки фрезой наблюдаются на глубине до 0,2 мм.

Следы деформации могут вызвать заметное искажение структуры и привести к неправильным результатам исследования. Следует учесть, что

Наиболее активными являются ионы хлора, проникающие через пленки, которые появляются на поверхности металла при травлении.

При травлении щелочами в результате взаимодействия раствора щелочей и металлов образуются гидроокиси металлов. Образование комплексных соединений характерно для переходных металлов, к которым относятся железо, хром, никель, титан и др.

Травление многофазных сплавов во многих случаях усложнено тем, что образование нерастворимых в данном реагенте фаз тормозит процесс травления. Осадок, выпадая на травимую поверхность, пассивирует ее. Поэтому для улучшения процессов травления, особенно при глубоком травлении, поверхность образца протирают. Растворы солей, образующие растворимые соединения, способствуют интенсивному травлению всей поверхности металла (персульфат, аммиачные соединения, соли фосфорной кислоты, цианистые соединения и т.д.).

Сочетание щелочей с окислителями позволяет осуществлять избирательное травление и окрашивание различных фаз. Реагенты с окислителями распадаются со временем, поэтому растворы персульфата аммония, аммиачные смеси и растворы с перекисью водорода рекомендуется приготовлять непосредственно перед травлением.

Для глубокого травления (макротравление) примешивают наиболее активные реагенты. В некоторых случаях для повышения активности реагентов травление осуществляют при повышенных температурах.

Для выявления макроструктуры швов на малоуглеродистых низко- и среднелегированных сталях обычно применяют растворы активных кислот (азотной, серной, соляной, пикриновой), их смеси, смеси кислот с хлористыми солями и растворы солей, в частности персульфат аммония. Процесс травления ведут как при комнатной температуре, так и с подогревом до температур 70-80 °С и выше.

Смеси азотной и соляной кислот не рекомендуется применять непосредственно после составления реагента, так как может произойти точечное разъедание поверхности образца. Такие смеси необходимо выдержать минимум одни сутки. За время выдержки очень активный хлористый нитрозол успеет частично распасться и тем самым несколько уменьшит агрессивность травителя.

Микротравление, независимо от применяемого реагента и способа травления (с подогревом или в холодном состоянии), необходимо производить в специально оборудованном помещении. Неотъемлемой частью оборудования должен быть вытяжной шкаф с мощной приточно-вытяжной вентиляцией и подом, выложенным метлахской плиткой или железненным цементом. Под должен иметь сток для жидкости с отливом в отстойный колодец. Надо помнить, что активные травители могут разрушить не только поверхность травимого образца, но и металлические трубопроводы.

глубокого травления применяют 50%-ный водный раствор азотной кислоты. В процессе травления поверхность образца необходимо протирать ваткой или квачом из мягкой ветоши. Этот реактив хорошо применять для сталей, содержащих никель. Для сталей, содержащих хром, лучше применять 50%-ный водный раствор соляной кислоты.

Хорошие результаты получают при травлении в смеси кислот, состоящей из 3 частей соляной кислоты и 1 части азотной (царская водка). Такой травитель до его применения следует выдержать 1-2 сут.

Одним из лучших реактивов для травления различных сталей оказался реактив, состоящий из смеси азотной кислоты и хлорных солей. Состав реактива следующий: хлорного железа 200 г, азотной кислоты 300 мл, воды 100 мл. Без заметного ущерба для качества травления хлорное железо можно заменить хлористым аммонием или другими легкорастворимыми хлорными и хлористыми солями, включая поваренную соль.

Реактив лучше всего приготовлять в такой последовательности: развести соль в воде, затем добавлять кислоту.

Травление следует производить, смачивая поверхность образца реактивом при помощи ваты или мягкой ветоши. Продолжительность травления составляет 0,5-5 мин в зависимости от химического состава металла. После травления, так же как и в других случаях, образец необходимо промыть в проточной воде, протирая ваткой.

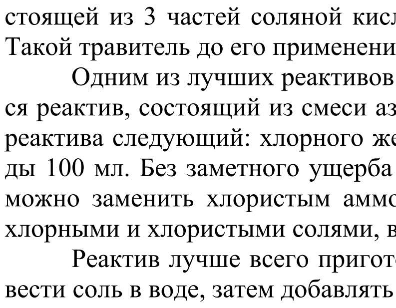


Рис. 5.2. Макроструктура наплавок различного химического состава. Травление в смеси хлористой соли и азотной кислоты

Макроструктура сварного шва, выявленная таким реактивом, показана на рис. 5.2. Этот реактив обладает большой универсальностью и стабильностью результатов травления.

Во многих случаях при изучении сварных швов литого металла возникает необходимость в исследовании характера кристаллизационных слоев. Для выявления таких слоев на малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталях применяют травление в растворах серной, хромовой или пикриновой кислоты. Травление этими кислотами основано на избирательном растворении в них ферритной составляющей. Кристаллизационные слои на некоторых участках имеют повышенное содержание примесей, поэтому растравливаются неравномерно, что и способствует их проявлению. Кристаллизационные слои можно также выявлять электролитическим травлением.

При использовании серной кислоты приготовляют ее водный 20%-ный раствор (по объему). Травят при температуре 80-100 °С в течение

Методы экспериментального исследования сварных соединений включают всю технику испытания металлов с учетом специфических вопросов оценки свариваемости (физико-химической и геометрической неоднородности сварных соединений, сварочных трещин и др.).

Конечной задачей определения численных показателей свойств сварных соединений является их применение для рационального расчета и проектирования сварных конструкций. Традиционные методы расчета сварных конструкций, основанные на данных о сопротивлении металлов пластической деформации, в настоящее время дополняются данными о сопротивлении металлов разрушению. Для этого предложены новые численные показатели K_{1c}, σ_c и др.

Таким образом, исследования сварных соединений охватывают исследования состава и структуры, механических, технологических, физических и химических свойств, а также специфических вопросов свариваемости.

5.1. Методы выявления структуры сварных швов

В металлографических исследованиях различают макро- и микроструктуру металла [31].

Макроструктура – это строение металла или сплава, видимое невооружённым глазом или при увеличении 30-40 раз. Макроструктурный анализ – один из основных методов исследования, который проводится с целью изучения макроструктуры и выявления сравнительно крупных макродефектов металлов и сплавов. Анализ макроструктуры применяется для выявления поверхностных (трещины, наружные поры и волосовины) и внутренних дефектов (усадочные рыхлости и раковины, газовые пузыри, шлаковые включения), а также дендритного строения литого металла, расположения волокон в поковках, химической и структурной неоднородности, качества сварки и для исследования макроструктуры термически обработанных изделий. Этот анализ осуществляется осмотром внешних поверхностей изделий, изломов и макрошлифов. Макрошлифом называется специальный образец (темплет), вырезанный в определенном месте деталей (заготовок) и имеющий плоскую шлифованную (иногда полированную) поверхность, которая в зависимости от цели исследования протравливается специальным реактивом. Например, травление сталей и чугунов в течение 15-45 мин в подогретом до 60-70 °С реактиве, состоящем из 50 % (по объёму) соляной кислоты и 50 % воды, позволяет выявить направления волокон в изделиях, макроструктуру сварного шва, пороки в стали и чугуне (пористость, трещины, поверхностные дефекты), а также глубину закалки в стали.

Микроструктура – строение металла или сплава, видимое при больших увеличениях с помощью микроскопа. Анализ микроструктуры

даёт возможность определить величину и расположение зёрен металла, размеры и количество мелких неметаллических включений и различных фаз в металле, проконтролировать состояние структуры поверхностного слоя изделия, выявить микродефекты (мелкие трещины и раковины и т. п.), а также некоторые дефекты кристаллического строения (дислокации и их скопления). Микроанализ был впервые применён в 1831 г. П. П. Аносовым, который указал на определенную связь между микроструктурой и свойствами металлов. С этого времени микроанализ непрерывно развивался и стал одним из основных методов исследования металлов и сплавов.

5.1.1. Приготовление макро- и микрошлифов для металлографического исследования

Для металлографического исследования структуры металлов, в частности металлов сварных швов, приготовляют шлифы.

Шлифами называют образцы изучаемого металла со специально подготовленной плоской (шлифованной, полированной) поверхностью.

Шлифы могут иметь различные размеры, конфигурацию и качество подготовки поверхности.

Для изучения макроструктуры, т.е. структуры, различимой невооруженным глазом или при малых увеличениях до 10-20 раз, изготовляют макрошлифы. Темплеты для макрошлифов следует вырезать таким образом, чтобы на них вместились все основные участки сварного шва, т.е. литой металл и зона термического влияния. Для детального исследования сварного шва следует вырезать не менее трех темплетов: из корня, середины и катета (усиления) швов. Плоскость реза должна быть перпендикулярной к направлению шва. Для удобства обработки независимо от толщины свариваемого металла толщина темплетов должна составлять 8-15 мм. Площадь поперечного сечения определяется размерами шва и зоны термического влияния.

Темплеты лучше всего вырезать на фрезерном станке или на другом металлорежущем оборудовании. Темплеты могут вырезаться также с помощью газопламенных горелок или электроискровым способом. В этом случае место реза должно быть удалено от исследуемого участка: при газовой резке на 15-40 мм (в процессе реза исследуемый участок следует охлаждать водой), при электроискровой – на 8-10 мм.

После вырезки темплетов одну из сторон необходимо подвергнуть шлифовке. Макрошлиф можно шлифовать на плоскошлифовальном станке. Во избежание деформации и перегрева поверхности образца шлифовать необходимо при обильной подаче охлаждающей жидкости с подачей около 0,01 мм за один проход абразива. Абразивный круг должен быть острым, так как в противном случае неизбежны разогрев и деформация поверхно-

Оператор должен находиться в условиях, исключающих попадание паров кислот и продуктов травления в легкие. Для этого у вытяжного шкафа нижний край стеклянной шторки (дверцы) должен находиться ниже уровня плеч. Зазор между нижним краем шторки и подом должен быть небольшим, но достаточным для того, чтобы оператор мог свободно манипулировать в шкафу обеими руками. В тех случаях, когда травление ведут при нагреве, в шкаф помещают электронагреватель со скрытой спиралью.

Сосуды для реагента лучше всего изготовлять из пластмасс или бакелитовых смол. Для травления с подогревом можно применять сосуды из специального жаропрочного стекла. Необходимо учитывать, что стеклянные сосуды не обладают достаточной прочностью, поэтому требуют аккуратного обращения. В некоторых случаях для этой цели используют металлические сосуды, покрытые эмалью или жаростойкими и кислотоупорными лаками.

Размеры сосудов для макротравления должны быть такими, чтобы в них свободно помещался образец. Расход реагентов определяется опытным путем. Практика показала, что для травления поверхности, равной 1 см^2, достаточно 1 см^3 травителя. Для микротравления расход травителя вдвое меньше.

Для раствора лучше всего брать дистиллированную воду. При применении реагентов, имеющих высокую концентрацию кислот или солей, качество воды практически не имеет значения. Приготовление реагентов так же, как и травление, необходимо осуществлять в вытяжном шкафу. Это правило относится ко всем травителям как для макро-, так и для микротравления.

При изготовлении реактивов, содержащих серную кислоту, последнюю необходимо наливать в воду или в заранее приготовленные растворы малыми порциями.

Оператор, работающий с реагентами, должен быть снабжен прорезиненным или хлорвиниловым фартуком, а также резиновыми перчатками. Для поддержания и перенесения образцов необходимо иметь щипцы с удлиненной рукояткой. Материалом для щипцов может служить нержавеющая сталь. Необходимо также иметь приспособление типа удлиненного пинцета из нержавеющей стали или из пластмассы для удержания квача.

Это приспособление необходимо, если в процессе травления поверхность образца протирают.

Во всех случаях образцы после глубокого травления необходимо промыть в чистой проточной воде, протирая их мягкой ваткой, и просушить.

Сушить образцы лучше всего в сушильном шкафу, имеющем принудительную циркуляцию воздуха, при температуре 50-80 °С. В этом случае образцы помещают на полочки из медной сетки с ячейками 2-3 мм и хорошо просушивают их струей сухого воздуха, подогретого до 40-50 °С.

Давление струи может быть небольшим, порядка 1,1-1,2 атм. В некоторых случаях образцы просушивают фильтровальной бумагой.

Если просушенный образец должен храниться длительное время, его промывают чистым спиртом, вновь просушивают и покрывают тонким слоем бесцветного прозрачного лака.

Макротравление шлифов сварных швов осуществляют для различных целей, например для выявления контуров провара, нахождения сравнительно крупных дефектов структуры (трещин, включений, участков непроваров и т.д.), определения различных зон выявления кристаллизационных слоев и т. д.

Наибольшее количество макрошлифов составляют образцы, подготовляемые для испытания на удар. Для того чтобы правильно отметить участок для надреза, необходимо четко проявить все структурные зоны шва, имеющиеся на образцах. Перед травлением образцы надо прошлифовать шлифовальной шкуркой с абразивными материалами зернистостью 280-320 или на абразивном круге такой же зернистости. Лучше всего, если образцы в процессе обработки на плоскошлифовальном станке будут доведены по размерам мелкозернистым кругом. В этом случае образцы можно травить без дополнительной подготовки.

Травление таких образцов из малоуглеродистых низко- и среднелегированных сталей обычно осуществляют в подогретом до температуры 60-80 °С 10%-ном водном растворе персульфата аммония. Такой реактив хорошо действует свежеприготовленным. В ванну загружают 5-10 образцов и выдерживают их необходимое время, после чего их одновременно вынимают, помещают в раковину с проточной водой и промывают ваткой, интенсивно стирая ваткой или тонкой ветошью образовавшийся темный налет.

Для установления режима травления предварительно травят один или два образца. Время травления обычно составляет 1-2 мин. В тех случаях, когда темный налет не позволяет четко различать зоны шва, образцы после промывки можно «осветлить» в 50%-ном водном растворе соляной кислоты. Для этого после травления их отгружают на 0,5-1 мин в такой раствор, затем тщательно промывают проточной водой и просушивают.

Действие реактива заключается в образовании растворимых соединений железа. Для усиления действия травителя можно добавлять хлорные соли ($FeCl_3$; NH_4Cl). Хлориды разрушают окисные пленки и способствуют растворению металлов. Хлорные соли добавляют в равных весовых количествах к персульфату аммония.

Указанными травителями можно также выявлять макроструктуру для ее изучения. Однако лучшие результаты можно получить после глубокого травления в кислотах, смесях кислот или кислот с хлорными солями. Из неорганических кислот наиболее универсальной является азотная. Для

гают к электролитической полировке. При помощи такой полировки можно полностью снять деформированные слои металла.

5.1.2. Химические методы выявления макро- и микроструктуры сварных швов

Механизм травления поверхности металла как способа подготовки поверхности для металлографического исследования специально не изучался. Принято обобщать процессы коррозии с процессами химического травления. Поверхности металла рассматривают как комплекс множества составляющих, которые имеют различные не только по величине, но и по знаку электродные потенциалы и образуют электрохимические пары. В однофазных сплавах в результате различных уровней свободной энергии (более высоком на границе, чем внутри этого же зерна) электродный потенциал на границе имеет более отрицательное значение, чем в центральных областях зерна. В многофазных сплавах могут быть различными не только энергетические уровни и величины электродных потенциалов, но и их знаки. В связи с этим поверхность металла, погруженная в травящий реагент, отличается по своей способности адсорбировать ионы электролита. Структурные элементы металла, имеющие наиболее высокий электрический отрицательный потенциал, являются катодами. Структурные элементы с максимально положительным зарядом служат анодами. Электрическое равновесие системы восстанавливается за счет перехода ионов электролита к участкам сплава, имеющим максимальный отрицательный заряд, например, границы зерен фаз, места дефектов структуры, участки металла, подвергнутого пластической деформации, и т.д. Такие участки сплава растворяются в первую очередь, образуя впадины.

В результате избирательного растравливания отдельные участки теряют отражательную способность и проявляются в виде затемненных составляющих. Рельеф, образованный затемненными и более светлыми участками, и воспроизводит картину структуры.

Для химического травления применяют растворы кислот, солей и щелочей.

Интенсивность травления зависит от реагента и определяется наличием в нем активных гидроксильных, водородных и других ионов, которые, реагируя со структурными составляющими металла, разрушают их.

Ионы кислотных остатков, взаимодействуя с ионами металла, переводят их в раствор и тем самым разрушают металл, например:

$$NO_3^-(CO_2^{2-}, ClO_4^-, Cl^-) + Me^+ + MeNO_3 + \Theta$$

Ионы кислотных остатков у различных кислот взаимодействуют с металлами не одинаково, что дает возможность выбирать травители, позволяющие осуществлять избирательное травление сплавов.

структурные составляющие литого металла сварных швов чаще всего имеют незначительные размеры. Так, например, в швах малого калибра ширина столбчатых кристаллитов не превышает 0,01-0,05 мм, а размеры других составляющих могут быть и того меньше.

Толщину деформированного слоя можно уменьшить полировкой, позволяющей максимально выравнивать поверхность микрошлифов. Для шлифов из малоуглеродистой, низко- и среднелегированных сталей чаще всего применяют механическую полировку.

Для того чтобы полировка была эффективной, поверхность шлифа предварительно шлифуют абразивной шлифовальной шкуркой, а затем пастой. При этом соблюдают такую же последовательность, как и при шлифовке образцов, предназначенных для макроисследования, т.е. обработку начинают с наиболее крупнозернистых абразивных шлифовальных шкурок. При обработке более мелкозернистой шлифовальной шкуркой образец поворачивают на 90°, т. е. изменяют направление обработки поверхности, что облегчает определение окончания обработки данной шлифовальной шкуркой. Обработку считают законченной, если видны риски одного направления, т.е. те, которые появились в результате обработки последней шлифовальной шкуркой.

Чем меньше разница между зернистостью двух последующих шлифовальных шкурок, тем производительнее шлифовка. Недопустим переход от наиболее крупнозернистой шлифовальной шкурки к наиболее мелкозернистой. Крупные риски, образованные крупнозернистой шлифовальной шкуркой, не выравниваются, а забиваются металлической пылью и абразивными порошками, а также заволакиваются сдеформированными краями гребней рисок. Такие дефекты, возникающие при неправильной обработке шлифов, не позволяют изучать на микроскопе тонкие структурные составляющие.

Удовлетворительные результаты получают при обработке вначале абразивными шлифовальными шкурками КЗ-180, КЗ-220, КЗ-280 и КЗ-320, а затем микронными шлифовальными шкурками КЗМ-28, КЗМ-20 и КЗМ-14.

Часто образцы шлифуют вручную. С этой целью на шлифовальной шкурке, закрепленной на ровной поверхности (толстое стекло, полированная сталь, фибра и т.п.), перемещают образец с незначительным нажимом. Этот малопроизводительный способ выгоден в условиях изготовления единичных шлифов. При массовом их изготовлении используют специальные устройства с вращающимися дисками. Основной деталью этих устройств является вращающийся диск, который обычно располагают в горизонтальной плоскости. К диску прикрепляют шлифовальную шкурку при помощи кольца, внутренний диаметр которого на 1-1,5 мм больше диаметра диска. Шлифовальную шкурку защемляют между торцами диска и кольцом. Желательно выбирать диск диаметром 160-180 мм.

Для получения более мелких порошков увеличивают время отстоя, чтобы наиболее крупные частицы успели выпасть в осадок. Для получения порошков с максимальными размерами частиц 10 мкм время отстоя увеличивают до 10 мин. Отмучивание продолжительностью 0,5 ч позволяет получить порошки с частицами, размер которых не превышает 4-5 мкм. Частицы размером менее 1 мкм не осаждаются даже после 3-4-часового отмучивания.

Для изготовления паст необходимо иметь сосуд лучше всего из нержавеющей стали. В такой сосуд помещают тщательно перемешанные компоненты, после чего их нагревают до полного расплавления. Полагается необходимо электрическими нагревателями со скрытой спиралью во избежание возгорания пасты. Температура нагрева не должна превышать 300-400 °С. В процессе расплавления смесь необходимо интенсивно перемешивать стеклянной или металлической палочкой (лучше из нержавеющей стали) мешалкой. После полного расплавления пасту можно разлить в специальные формы, изготовленные из листового металла или картона, в которых она застывает и принет форму, удобную для пользования (обычно палочки диаметром около 20 мм).

Практика показала, что для большинства образцов из малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей для полировки поверхности к полировке можно ограничиться шлифовкой на пастах с размерами частиц 10 мкм.

Шлифовку на пастах лучше всего осуществлять на высокоскоростном сукне типа велюр или тонких фетрах, натянутых на вращающийся диск. Кроме фетра можно применять также тонкоположистый войлок высокой очистки. Скорость вращения таких дисков для шлифовки мягких, имеющих повышенную вязкость, сталей не должна превышать 700-900 об/мин. Для шлифовки большинства углеродистых, низко- и среднелегированных сталей скорость вращения дисков может быть повышена до 1500 об/мин. При шлифовке на пастах образцы следует удерживать керосином.

Необходимо учесть, что при любом из описанных способов полировки неизбежно некоторое завоваливание краев шлифов, что во многих случаях недопустимо. Для того чтобы избежать завоваливания шлифов и удобно было производить их обработку (особенно в тех случаях, когда обрабатывают шлифы малых размеров), применяют оправки.

Оправки могут быть самых различных конструкций – с механическим зажатием или с применением связующих веществ. Оправки с механическим зажатием изготовляют чаще всего из двух прямоугольных планок, соединенных между собой шурупами или болтами. Между планками помещают шлиф, после чего их стягивают шурупами или болтами. При сложной конфигурации шлифов применяют оправки типа обоймы, применяемые для получения более мелких порошков увеличивают время отстоя, чтобы наиболее крупные частицы успели выпасть в осадок. Для получения порошков с максимальными размерами частиц 10 мкм время отстоя увеличивают до 10 мин. Отмучивание продолжительностью 0,5 ч позволяет получить порошки с частицами, размер которых не превышает 4-5 мкм. Частицы размером менее 1 мкм не осаждаются даже после 3-4-часового отмучивания.

Для изготовления паст необходимо иметь сосуд лучше всего из нержавеющей стали. В такой сосуд помещают тщательно перемешанные компоненты, после чего их нагревают до полного расплавления. Полагается необходимо электрическими нагревателями со скрытой спиралью во избежание возгорания пасты. Температура нагрева не должна превышать 300-400 °С. В процессе расплавления смесь необходимо интенсивно перемешивать стеклянной или металлической палочкой (лучше из нержавеющей стали) мешалкой. После полного расплавления пасту можно разлить в специальные формы, изготовленные из листового металла или картона, в которых она застывает и принет форму, удобную для пользования (обычно палочки диаметром около 20 мм).

Практика показала, что для большинства образцов из малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей для полировки поверхности к полировке можно ограничиться шлифовкой на пастах с размерами частиц 10 мкм.

Шлифовку на пастах лучше всего осуществлять на высокоскоростном сукне типа велюр или тонких фетрах, натянутых на вращающийся диск. Кроме фетра можно применять также тонкоположистый войлок высокой очистки. Скорость вращения таких дисков для шлифовки мягких, имеющих повышенную вязкость, сталей не должна превышать 700-900 об/мин. Для шлифовки большинства углеродистых, низко- и среднелегированных сталей скорость вращения дисков может быть повышена до 1500 об/мин. При шлифовке на пастах образцы следует удерживать керосином.

Необходимо учесть, что при любом из описанных способов полировки неизбежно некоторое завоваливание краев шлифов, что во многих случаях недопустимо. Для того чтобы избежать завоваливания шлифов и удобно было производить их обработку (особенно в тех случаях, когда обрабатывают шлифы малых размеров), применяют оправки.

Оправки могут быть самых различных конструкций – с механическим зажатием или с применением связующих веществ. Оправки с механическим зажатием изготовляют чаще всего из двух прямоугольных планок, соединенных между собой шурупами или болтами. Между планками помещают шлиф, после чего их стягивают шурупами или болтами. При сложной конфигурации шлифов применяют оправки типа обоймы, применяемые для получения более мелких порошков

чем конфигурацию оправки стараются подогнать шлиф по контуру образца. Необходимым условием при работе с оправками такого типа является точная подгонка сопрягающихся поверхностей образца (шлифа) и оправки. В этом случае, поскольку обойма вместе с образцом подвергается шлифовке, устойчивость материала обоймы против истирания должна быть равной или близкой к материалу образца. В противном случае неизбежно завоваливание образца или будет затруднена обработка его поверхности. Применение таких обойм требует меньших затрат времени и позволяет осуществлять электролитическое травление образцов, не вынимая их из обоймы. Однако с помощью таких обойм не всегда можно избежать завоваливания краев шлифа, что связано с наличием неустранимого минимального зазора между шлифом и обоймой. В тех случаях, когда необходимо исследовать край шлифа под микроскопом при больших увеличениях, т.е. когда необходимо избежать даже незначительного завоваливания, применяют оправки с вжущимися веществами.

Размеры таких оправок выбирают так, чтобы образец, помещенный в центре оправки, имел зазоры между краями и внутренней стенкой оправки не менее 2-3 мм. Высота оправки из условий удобства работы должна быть не менее 10 мм. Оправка может иметь днище. Если оправка не имеет днища, то во время заливки вжущим веществом она устанавливается на металлическую или стеклянную пластину. Во избежание вытекания вжущего вещества края оправки должны быть ровными и плотно прилегать к пластине.

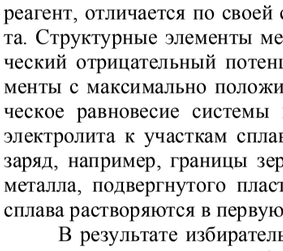


Рис. 5.1. Оправки конструкций обойм для подготовки микрошлифов

В качестве вжущего вещества применяют легкоплавкие сплавы и серу, которыми заполняют свободное пространство между образцом и оправкой. Конструкция обоймы показана на рис. 5.1.

После заливки образца обрабатывается вместе с оправкой, подвергается травлению (при химическом способе травления) и переносится для исследования на предметный столик микроскопа.

При электролитическом травлении образец необходимо вынуть из оправки, очистить от вжущих веществ и затем подвергнуть травлению, что является одним из недостатков такого способа обработки шлифов.

Другим недостатком применения вжущих веществ является необходимость нагрева образца (при употреблении легкоплавких сплавов – до 100 °С, серы – до 125 °С). Эффект протекторной электрохимической защиты, возникающий на участках контактирования нарушенных участков образца и примыкающих к ним вжущих материалов, часто вызывает неравно-

мерность травления, в результате чего середина шлифа травится сильнее, чем его края, которые могут оказаться недотравленными. Следует учесть, что материал заливки (вяжущий) загрязняет полировальные круги и частично попадает на поверхность шлифа.

К лучшим вяжущим материалам относятся пластмассы, однако большинство пластмасс необходимо разогревать до температур свыше 200 °С. Если образец можно подогреть до невысоких температур (100-150 °С), а такими являются практически все образцы из малоуглеродистых низко- и среднелегированных сталей, удобно применять бакелит и термопластические пены. Для запрессовки можно использовать любой небольшой пресс, например такой, каким устанавливают образцы для исследования микротвердости, или пресс от прибора Бринеля. В последнем случае вместо шариковой оправки устанавливают шток с гладкой поверхностью площадью 2-3 см^2. Подлежащий запрессовке образец вставляют в матрицу, засыпают порошком бакелита и нагревают под давлением обычно электронагревателем. После выдержки давление снимают и запрессованный образец извлекают в горячем состоянии из матрицы. Образцы можно запрессовать при нагреве и в некоторые термопластические массы, например полистирол.

Существуют способы, которые позволяют осуществлять заливку образцов при комнатной температуре. Для заливки применяют перекись бензоила. Полимеризация происходит 1,5-3 сут. Заливку ведут в стеклянной трубке. Такой метод взрывоопасен.

Для предохранения краев от заоваливания можно применять электролитические покрытия различными металлами, например медью, никелем, железом. Наиболее практичным является покрытие железом. Для этого образец тщательно обезжиривают и опускают в электролитическую ванну состава: 288 части хлорного железа и 57 части хлористого натрия на 1000 мл воды. Анодом служит пластина из армко-железа, катодом – образец. Расстояние между анодом и катодом 50-60 мм. Лучше применять два анода. Процесс ведут при температуре 85 °С и плотностях тока 7-20 А/дм^2. Качественное травление образцов как химическое, так и электролитическое при любых покрытиях и в обоймах затруднено. Поэтому, если необходим тонкий анализ структуры образцов, особенно периферийных (у края) участков, шлифы перед травлением необходимо освободить от покрытий, вяжущих веществ и обойм.

После тонкой шлифовки перед травлением образцы полируют. Полировку разделяют на три вида: механическую, химическую и электролитическую.

Механическую полировку выполняют так же, как и механическую шлифовку. Диски обтягивают высококачественным сукном типа драпвелюр или мягким тонким фетром. Ткань необходимо тщательно промыть и перед закреплением на круг выдержать 2-3 ч в проточной воде. Сукно во

- диском из бронзы, меди, 50 % олова и 50 % свинца (порошок с зерном № 240-280);

- диском из сплава 60 % свинца и 40 % олова (порошки микронные М20-М10);

- свинцовым диском (порошки микронные М10, М5);

- диском из сплавов 60 % канифоли и 40 % воска или стеарина (порошки микронные М10, М5).

Во всех случаях при шлифовке мягких материалов следует применять более мягкие подкладки, чем при шлифовке твердых.

Абразивные порошки можно наносить также на ткань в сухом состоянии или в виде суспензии, втирая их в поверхность ткани. Для этой цели используют холст или парусину, натянутые на диски. Окончательную шлифовку следует осуществлять с применением пасты, состав которой приведен в табл. 5.1 – 5.2.

Таблица 5.1

Состав пасты для окончательной шлифовки (высокой степени частоты)

Наименование компонента	Пасты на окиси хрома в весовых процентах			Пасты хлоралюминиевые в весовых процентах		
	тонкая	средняя	грубая	тонкая	средняя	грубая
Окись хрома	72	76	86	32	35	37
Окись алюминия	-	-	-	32	35	37
Стеарин и парафин (воск)	24	20	12	30	24	20
Олеиновая кислота	1,8	1,8	-	3	3	3
Керосин	2	2	2	2	2	2
Сода	0,2	0,2	-	1	1	1

Таблица 5.2

Состав пасты для окончательной шлифовки

Наименование компонента	Пасты на окиси хрома в весовых процентах			Пасты на окиси алюминия в весовых процентах		
	тонкая	средняя	грубая	тонкая	средняя	грубая
Окись хрома	75	80	85	-	-	-
Окись алюминия	-	-	-	65	70	75
Парафин	23	18	12	33	25	20
Керосин	2	2	2	2	2	2
Олеиновая кислота	-	-	-	-	3	3

Размеры зерен последовательно применяемых паст составляют 35-30, 10-8 и 4-0,5 мкм. Порошки соответствующих размеров для изготовления паст получают готовыми или выделяют путем осаждения из водного раствора - отмучиванием. В случае отмучивания порошки дробят и смешивают с водой в цилиндре высотой 500 мм. После отстоя в течение 2 мин суспензию сливают, затем путем испарения воды из нее получают порошок, в котором размеры наиболее крупных частиц не превышают 35 мкм.

Лучше всего иметь диски с переменной скоростью вращения. Для шлифов из углеродистых, низко- и среднелегированных сталей скорость вращения должна составлять 650-800 об/мин, для шлифов из малоуглеродистых сталей – 450-600 об/мин.

Приспособления для вращения дисков могут быть самые различные. В каждом случае необходимо учитывать обеспечение удобства и безопасности в работе. Во избежание порчи устройства электровибратели и подшипники должны быть надежно изолированы от попадания в них абразивных частиц и влаги.

Для того чтобы шлифовальная шкурка изнашивалась равномерно, шлифы в процессе обработки следует перемещать от края круга к центру, а затем от центра к краю круга. И в этом случае нажатие на шлиф должно быть минимальным. Это предохраняет от разогрева и деформации образца и пережлевременного износа бумаги. Надо помнить, что увеличение нажатия в результате затупления и износа поверхности шлифовальной шкурки не ускорит процесс шлифования.

Для того чтобы пыль, образовавшаяся в процессе шлифования, не повреждала здоровью оператора, шлифовальные устройства должны быть снабжены вытяжными зонтами или устройствами для местного отсоса пыли. Устройства для местного отсоса предпочтительнее, так как в том случае, если вытяжной зонт находится на значительном расстоянии, взвешенные частицы пыли, подымаясь в зонт, на своем пути могут попасть в легкие работающего.

При отсутствии шлифовальных шкурок можно подшлифовать на абразивных порошках. Шлифовку порошками производят таким же образом, как и шлифовальными шкурками, для чего на диски наносят абразив во взвешенном состоянии. Для дисков необходимо выбирать соответствующие материалы. Так, например, для грубой шлифовки можно использовать чугунный диск, на который наносят суспензию абразива. Суспензию изготовляют из смеси воды и абразива в отношении 10:1: 15:1 и 20:1. Состав смеси зависит от размеров частиц абразива. Для шлифовальных порошков зернистостью 180, 220, 240 разведение должно быть 10:1; зернистостью 280-320 разведение должно быть 15:1; для микропорошков М-28 и М-5 – 20:1.

С увеличением дисперсности рекомендуют применять диски с повехностью из более мягкого материала: бронзы, меди, свинцово-оловянистых сплавов, баккелитовых смол, парафина, стеарина. Последние три материала рекомендуют наносить тонким слоем в расплавленном состоянии на гладкий кафтон.

Можно рекомендовать следующую обработку шлифов:

- наждачным кругом;

- чугунным кругом (порошок с зерном № 180-220);

время работы периодически необходимо тщательно промывать с мылом, а затем старательно пропаласкивать в горячей воде до устранения следов мыла. В процессе полировки к центру круга подают воду. Для полировки применяют чистые (реактивные) окислы, которые надо отмучивать в больших количествах воды (2-3 части порошка на 1 л воды) и отбрасывать частицы, осевшие после отстоя в течение 1,5 ч. В 1 л полировочной суспензии должно находиться 10 частей (примерно одна чайная ложечка) порошка. При длительной полировке на поверхности образца может появиться рельеф, образовавшийся в результате неравномерного выполирования различных структурных составляющих, имеющих неодинаковую твердость. Глубокий рельеф может затруднить изучение структуры при больших увеличениях, поэтому полировать надо минимальное время. Если за относительно короткий промежуток времени (3-5 мин) не удалось устранить следы предварительной шлифовки, но начал появляться рельеф, полировку следует прекратить. В этом случае необходимо повторить шлифовку, начиная от микронной шлифовальной шкурки.

Весьма эффективный способ полировки тонкой алмазной пылью (1-0,5 мкм), нанесенной на высокочастевенный, тугo натянутый во влажном состоянии фетр. В процессе полировки образец необходимо периодически вдавливать вертепным или солидовым маслом или чистой водой. При увлажнении маслами периодическую промывку фетра осуществляют в бензине.

Для определения конца полировки пользуются тем же приемом, что и при шлифовке, когда переходят к более мелким абразивам, т.е. полируют в направлении, перпендикулярном к рискам, оставшимся после шлифовки. В конце полировки, во избежание появления «комет», т.е. загрязненных мелких выбывов металла, образец следует повораживать против направления движения диска.

Образцы после полировки необходимо тщательно промыть проточной водой, просушить чистым спиртом и сразу же подвергать травлению. Если образец по каким-либо причинам не может быть подвергнут травлению непосредственно после полировки, его следует поместить в эксикатор. Ни в коем случае не следует допускать, чтобы полированные образцы или образцы после окончательной шлифовки находились вблизи полированных кругов. Во время работы от таких кругов летят мельчайшие частицы влаги. Попадая на поверхность шлифа, они вызывают интенсивную точечную коррозию, следы которой можно устранить только после переполировки образцов на микронных шлифовальных шкурках.

Механическая полировка полностью не устраняет пластической деформации металла, поэтому в тех случаях, когда необходимо изучить малейшие изменения структуры, а также тончайшие составляющие ее, прибе-

10-12 ч (в некоторых случаях до 24 ч). Во время травления не следует часто вынимать и промывать образец. Особенно важно следить за тем, чтобы до окончания травления не снимали темную пленку, появляющуюся на поверхности образца. Нерастворимые продукты травления осаждаются более плотным слоем на участках, обогащенных примесями, и способствуют избирательному процессу травления. Снятие пленок (продуктов травления) приводит к активизации поверхности образца и более равномерному ее растравливанию, что затрудняет выявление слоев. После травления образец промывают в проточной воде, протирая его квачом из ветоши или ваты, и просушивают.

Просветлять шлиф раствором соляной кислоты не рекомендуется, так как она может ухудшить четкость выявленных слоев.

Травление 20%-ным водным раствором хромовой кислоты осуществляют при комнатной температуре. Длительность травления 10 сут и более.

Для выявления слоев применяют травление в насыщенном водном растворе пикриновой кислоты (практически берут 1 г кислоты на 100 мл воды) при комнатной температуре. Через каждые 4-6 ч образец вынимают из раствора, слегка полируют на мягком сукне с эмульсией окиси хрома или алюминия и вновь погружают в травитель. Обычно для четкого выявления кристаллизационных слоев необходимо 5-6 раз повторить переполировку и травление, что зависит от качества подготовки поверхности образцов.

В общем случае поверхность образцов, которые подвергают травлению в хромовой или пикриновой кислотах, должна быть хорошо отполированной (близкой к поверхности микрошлифов).

Необходимо помнить, что активные кислоты интенсивно воздействуют на поверхность металла. Максимально растравливаются участки, подвергавшиеся пластической деформации, имеющие поры, раковины, значительную неоднородность химического состава, трещины и т.д. Если металл имеет трещины, края их растравливаются в первую очередь и трещины в процессе травления «раскрываются». Поэтому макротравление служит достаточно надежным методом их обнаружения. Однако следует учитывать, что в глубокую трещину, поскольку она является своеобразным капилляром, легко проникают травители, которые после того, как образец изготовлен, всплывают на поверхность и вызывают коррозию. Для того чтобы предотвратить это явление, образцы, имеющие трещины, после травления выдерживают в сосуде с водой (лучше проточной) не менее 10-15 мин, промывают чистым безводным этиловым спиртом и просушивают.

Безводный спирт можно получить из 93-96%-ного спирта путем добавления гигроскопичных, нерастворимых в нем солей. Для этой цели с успехом применяют прокаленный при 140 °С (выдержка около 1,5-1 ч) порошок медного купороса из расчета 20-30 г на 1 л. В общем случае для просушивания шлифов необходимо применять этиловый (винный) спирт.

кипящем растворе. В результате такого травления появляется окраска, которая различна для участков, имеющих неодинаковый химический состав. С помощью щелочных травителей удается окрасить структурно свободный цементит. Механизм взаимодействия феррита и цементита со щелочью не вполне ясен. По-видимому, окраску цементиту придает оседающий на нем гидрат окиси железа.

Для выявления структуры сварных швов углеродистых сталей можно применять спиртовый раствор хлорного железа (2 г на 100 мл метилового спирта). В результате травления ферритная составляющая приобретает окраску от светло-желтой до темно-коричневой. Окрашивание происходит вследствие образования ионов железа разной валентности и отложения пленки на зернах феррита. Следует помнить, что существуют стандарты, согласно которым феррит травится 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты. Структурно свободный цементит следует выявлять щелочным раствором пикрата натрия (ГОСТ 5639-82 и ГОСТ 5640-68). Согласно этим же гостам перлит рекомендуется выявлять травлением в 5%-ном растворе пикриновой кислоты. Для выявления границ аустенитных зерен рекомендуют длительное (до 24 ч) травление в слабом 0,1%-ном растворе пикриновой кислоты в спирте. При этом можно наблюдать легкое потемнение границ из-за повышенного содержания на границах сульфидных включений. Для этой же цели рекомендован реактив состава: 1 г пикриновой кислоты, 5 мл соляной кислоты и 95 мл этилового спирта, а также слабые растворы серной кислоты и хлорного железа.

Испытание этих реактивов показало, что их можно применять для выявления аустенитного зерна околошовной зоны сварных швов на среднелегированных сталях. Лучшие результаты получены после измельчающей термической обработки (закалка и отпуск при температуре 650 °С в течение 2 ч).

Согласно ГОСТ 5639-82, размеры аустенитных зерен определяют путем цементации или нагрева с выдержкой при температуре 930 °С + 10° в течение 3 ч. Цементацию проводят при температуре 930 °С + 10° в течение 8 ч в смеси 40 % $BaC0_3$, 60 % березового угля или 30 % Na_2C0_3 и 70 % березового угля. Скорость охлаждения до температуры 600 °С не должна превышать 100 град/ч для углеродистых сталей и 50 град/ч для легированных. Зерно определяют по карбидной сетке на участках заэвтектоидного состава. Структуру выявляют путем травления в 4%-ном растворе азотной кислоты или в 5%-ном растворе пикриновой кислоты, в этиловом спирте либо в кипящем растворе пикрата натрия.

После трехчасового нагрева полированного образца его подвергают в течение 2-4 мин травлению в расплавленной соли состава: 1/3 части BaCl, 1/3 части NaCl и 1/3 части CaCl. Охлаждают образец в керосине до устранения следов соли. Размеры зерен определяют по окисной сетке.

При подготовке микрошлифов для исследования в поляризованном свете необходимо следить, чтобы во избежание выкрашивания неметаллических частиц при шлифовке был выдержан постепенный переход от крупных абразивов к мелким.

Для качественного определения избыточных фаз можно рекомендовать последовательное избирательное травление. Для составления результатов травления участок, подлежащий изучению, фиксируют путем обкалывания его на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 г (один-два укола вблизи участка следует выполнить при нагрузке 100 г для отметки), после чего шлиф подвергают травлению. В качестве примера можно привести методику выявления избыточных фаз в наплавленном металле типа 3Х2В8, описанную в работе. Для выявления вольфрамидов типа F_3W_3 образец травят в 10%-ном водном растворе NaOH при 40 °С в течение минуты. Вольфрамиды выявляются в виде оконтуренных включений. При таком режиме травление не воздействует на карбиды и другие включения (рис. 5.3).

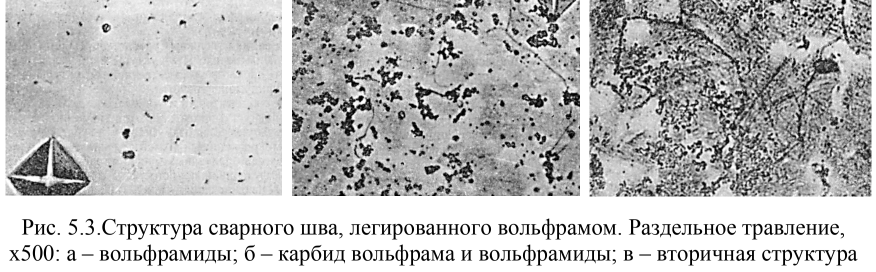


Рис. 5.3.Структура сварного шва, легированного вольфрамом. Раздельное травление, х500: а – вольфрамиды; б – карбид вольфрама и вольфрамиды; в – вторичная структура наплавленного металла

Карбиды вольфрама можно выявить путем травления в 4%-ном водном растворе NaOH, насыщенном $KMn0_4$ при комнатной температуре. Время травления 5-8 с. Карбиды окрашиваются в коричневый цвет (см. рис. 5.3, *б*). После этого можно применить электролитическое травление для совместного выявления вторичной структуры и избыточных фаз в реактиве состава: $FeCl_3$ – 0,5 г, НС1 – 0,5 мл, метилового спирта – 98,5 $см^3$. Режим травления: напряжение на клеммах ванны 56 В, время травления 4-5 с, расстояние между анодом и катодом 30 мм, материал катода – нержавеющая сталь (см. рис. 5.3, *в*).

В каждом отдельном случае последовательность травления и выбор реактива определяются химическим составом образца. Во всех случаях во избежание ошибки анализа образец следует переполировать и протравить вновь.

образца должна быть зачищена до устранения загрязненного шлаком или маслами слоя.

Сварные швы, выполненные в несколько проходов, обычно имеют химическую неоднородность по слоям. Для детального исследования химического состава слоев можно применять послойный анализ. В этом случае после каждого снятия пробы образец сошлифовывают на заданную исследователем глубину. Путем спектрального анализа с большим приближением можно сравнивать химический состав внутрикристаллитных и межкристаллитных участков. Для этого анализируют поверхности хрупких и вязких изломов образцов после ударных испытаний, полагая, что хрупкое разрушение носит межкристаллитный характер, вязкое — внутрикристаллитный. Для анализа необходимо выбирать такие образцы, чтобы на них имелись площадки, достаточные для обыскривания после снятия грат, могущих закрыть щель анализатора (спектрографа). В настоящее время разработаны методы локального спектрального анализа, позволяющего исследовать площадки размером около 0,1 $мм^2$ и меньше. С помощью локального анализа можно определять химический состав тончайших межфазных участков и участков перехода между литым и основным металлами. Для удобства анализа тончайших слоев следует подготовить образцы так, чтобы максимально развить поверхность изучаемых областей. Для этой цели применяют косой срез (сечение под углом 5-6° к вертикальной оси шва). При этом поверхность деталей, попадающих в сечение, получается более развитой (в 6-10 раз) по сравнению с исходной.

Перед взятием проб для химического анализа образец тщательно зачищают от загрязнения на абразивном мелкозернистом круге и протирают чистой фланелью. Затем высверливают тщательно очищенным и обезжиренным сверлом стружку для анализа, которую собирают на чистую бумагу. Попадание жира и других как органических, так и неорганических веществ недопустимо. Поэтому при наборе стружки необходимо соблюдать максимальную чистоту. Количество стружки для определения одного элемента составляет 0,5-1 г.

Ранее пытались осуществлять отбор металла для локального химического микроанализа металла. С этой целью к прибору ПМТ-3 вместо алмазного наконечника приспособляли победитовое или алмазное сверло. Однако пока что в практике химического анализа сварных швов эта методика не нашла применения, что, вероятно, связано с малыми размерами структурных составляющих швов.

Одним из наиболее современных методов анализа состава сплавов, особенно для нахождения характера распределения различных легирующих элементов, находящихся в твердом растворе в альфа- и гамма-железе, является метод микрорентгенографии или радиографии без применения радиоактивных изотопов. Принцип, на котором базируется метод, основан

Из условий техники безопасности метиловый (древесный) спирт не применяют, так как его пары вредны для человеческого организма.

Кроме реактивов глубокого травления, часто применяют реактивы поверхностного травления для выявления различных видов химической неоднородности и в некоторых случаях фигур течения металла [60].

Для сварных швов на углеродистых, низко- и среднелегированных сталях удовлетворительные результаты дает реактив Гейна ($CuCl_2$ – 35 г и NH_4Cl – 53 г на 1 л воды).

Травление осуществляют погружением поверхности образца в реактив в течение 10-60 с. В процессе травления протекает обменная реакция, при которой железо вытесняет медь. Медь осаждается неравномерно. На участках, где затруднена обменная реакция (наличие пор, трещин, неметаллических включений), осаждается более тонкий слой меди, поэтому металл этих участков растравливается в первую очередь. После травления шлиф промывают водой и тщательно снимают ватой медь.

Участки, подвергавшиеся интенсивному травлению, имеют темную окраску.

Вообще для определения химической неоднородности применяют различные реактивы, содержащие ионы меди. Методы выявления химической неоднородности сварных швов тесно связаны с первичной структурой (см. методы выявления первичной структуры).

Принципы выявления микроструктуры путем химического травления те же, что и для макроструктуры. Однако в связи с тем, что микроструктуру изучают на обычных оптических микроскопах при увеличениях свыше 100 (но не более 1500) и на микроскопах с кварцевой оптикой (ультрафиолетовая микроскопия) и электронных микроскопах при еще больших увеличениях, глубина рельефа, получаемого при микротравлении, должна быть очень небольшой. Поэтому для микротравления используют малоактивные травители, позволяющие постепенно травить очень тонкие слои. Качество подготовляемой поверхности шлифа должно быть совершенно иным, чем для макротравления. Тщательная полировка, обеспечивающая зеркальную поверхность образца и почти полное снятие наклепанных слоев, является обязательным условием успешного исследования микроструктуры.

Для микротравления малоуглеродистых, углеродистых, низко- и среднелегированных сталей в качестве травителей чаще всего используют слабый раствор кислот в спиртах. Наибольшее распространение получил 2-5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Травление осуществляют следующим образом: тщательно отполированную и обезжиренную спиртом поверхность образца погружают в реагент и выдерживают необходимое время. Время травления, в первую очередь, зависит от химического состава металла. Повышенное количество

легирующих примесей в металле обычно увеличивает продолжительность травления.

Большое значение имеет также структурное состояние металла. Мелкодисперсные структуры типов троостит и трооститосорбит вытравливаются интенсивнее всего (особенно троостит). Чисто ферритные, а также мартенситные структуры появляются медленнее перлитных.

Если внутреннее строение игл или лепестков мартенсита закалки не удается выявить химическим травлением, прибегают к травлению электролитическим способом.

При травлении азотной кислотой образуются окисные пленки, в некоторых случаях препятствующие четкому выявлению структуры. При травлении растворами пикриновой кислоты такие пленки не образуются.

Растворы пикриновой кислоты применяют в тех случаях, когда необходимо более тщательное травление для изучения мельчайших деталей структуры при больших увеличениях. В пикриновой кислоте травление протекает значительно медленнее, чем в азотной. Это можно объяснить тем, что разность потенциалов железо – цементит в пикриновой кислоте значительно ниже, чем в азотной. Во всех случаях химического травления для получения максимальной четкости структуры травление следует вести с переполировкой. Благодаря этому удается полностью устранить следы поверхностного наклепа на металле. Если наклеп не устранен, то при исследовании структуры под микроскопом при увеличении около 500 границы зерен могут быть испещрены мелкими зубчатыми выступами, которые могут также искажать контуры неметаллических включений.

При многократных переполировке и травлении время последующего травления следует уменьшать. Переполировку и травление не рекомендуют делать более 2-3 раз, так как могут появиться фигуры травления в отдельных зернах, которые при малых увеличениях проявляются в виде шероховатостей, а при увеличениях свыше 500 – в виде правильно ограненных частиц – кубов, октаэдров и т.д.

Фигуры травления, в первую очередь, образуются на участках, подвергавшихся пластической деформации вблизи трещин, пор и включений. Однако при изучении структуры швов необходимо тщательно следить, чтобы за фигуры травления не принять внутреннее строение ферритных зерен (мозаичные блоки). Размеры мозаичных блоков меньше, чем фигур травления. При увеличениях порядка 800-1000 их форма напоминает более крупные, видимые при малых увеличениях, зерна феррита.

Для выявления химической микронеоднородности сварных швов среднелегированных сталей, имеющих повышенное содержание углерода и кремния (особенно для стали типа 30ХГСА), применяют травление в 10%-ном нормальном водном растворе щелочи (40 г $NaOH$ на 60 мл H_2O), а также в смеси первого реактива с 15 г $NaNO_3$. Травление осуществляют в

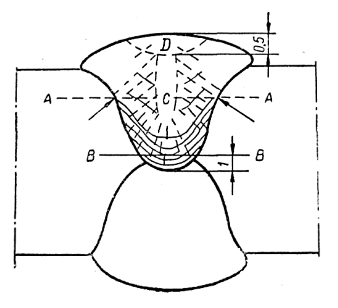


Рис. 5.4. Схема выбора характерных точек для исследования структуры однопроходного автоматного сварного шва

При исследовании различных швов для получения сопоставимых результатов металлографического анализа рекомендуют выбирать характерные идентичные участки. Можно предложить схему расположения характерных точек (рис. 5.4). Предложенная схема не является обязательной, а выбирается в зависимости от поставленной задачи. Вместе с тем следует отметить, что схема в основном охватывает все наиболее характерные точки литого металла швов (или наплавок) и может быть рекомендована для большинства случаев.

Сечениями, которые можно рекомендовать для изучения структуры сварных швов, являются поперечное – по отношению к направлению шва – и продольное – вблизи центральной части шва. В некоторых случаях (особенно при выходе трещин в усиление) можно рекомендовать дополнительно исследовать верхнюю часть шва в сечении, параллельном верхней плоскости свариваемых деталей. Исследование в этом сечении может быть весьма показательным при изучении характера трещин, выходящих на поверхность швов и их связи с первичными кристаллитами.

Для того чтобы зафиксировать интересующий нас участок, обнаруженный с помощью микроскопа, можно рекомендовать применение маркираппарата, входящего в комплект к микроскопу МИМ-3. В этом случае образец закрепляют на предметном столике зажимами, подымают предметный столик и вместо объектива вставляют маркираппарат. Отрегулировав его соответствующим образом, выбирают размер окружности, затем осторожно опускают предметный столик до соприкосновения образца с острием аппарата, расстопоривают предметный столик и медленно поворачивают. Острие маркираппарата очерчивает линию вокруг изучаемого участка.

Вместо маркираппарата можно использовать острие иглы. В этом случае следует применять опорные кольца с минимальными отверстиями, что позволит очертить изучаемый участок минимальным кругом. Образец с отметкой переносят на прибор ПМТ-3 (прибор для замера микротвердости) и обкалывают отмеченный участок несколькими уколами. Если в процессе исследования участок будет подвергаться переполировке, необходимо, наряду с небольшими отпечатками, поставить несколько (обычно три) более крупных. В тех случаях, когда предвидится многократное травление и переполировка, можно рекомендовать вблизи отпечатков, выполненных на приборе для замера микротвердости, произвести более глубокий отпе-

чаток на твердомере, имеющем оптику (например, твердомере системы Виккерса). Для более тонкой фиксации участков, например при электронно-микроскопических исследованиях, пользуются специальным приспособлением, смонтированным вместо индикатора на приборе ПМТ-3.

5.1.4. Сведения о некоторых современных методах анализа, применяемых для изучения химического состава и структуры сварных швов

Кинетика процессов образования сварных швов, как об этом упоминалось выше, заметно отличается от процессов формирования слитков. Поэтому отождествлять структуру слитка с литым металлом швов такого же химического состава не представляется возможным. В зависимости от режимов сварки, применяемых флюсов и других технологических факторов швы одинакового состава могут иметь различные структуры. Для детального изучения структуры сварных швов следует применять несколько методов исследования.

В связи с этим современная металлография сварных швов немыслима без сочетания с другими методами анализа. Во всех случаях изучения структуры швов, прежде всего, определяют их химический состав. При изучении химической неоднородности стараются получить сведения о характере распределения элементов и т.п.

Рассмотрим некоторые современные методы определения химического состава и изучения химической неоднородности сварных швов.

Химический состав сварных швов чаще всего определяют с помощью спектрального анализа [32]. Метод спектрального анализа отличается экспрессностью и позволяет определять с высокой точностью количественный состав элементов, входящих в металл шва. При спектральном анализе поверхность образца обыскривают дугой. Пары металла, попадающие в дугу, дают свой присущий им спектр, который с помощью специальных аппаратов разлагают на аналитические линии. Фиксируя эти линии на фотопленке или наблюдая визуально, через оптические устройства, находят путем сравнения с эталонными линиями количественный и качественный состав элементов в сплаве. Участки обыскривания при обычном усредненном анализе занимают от 0,3 до 1 $мм^2$. Для повышения точности берут не менее трех участков.

Спектральный анализ хорош в тех случаях, когда взятие проб для химического анализа затруднено (многослойные, малогабаритные швы). Размеры образца для спектрального анализа практически могут быть любыми от минимальных до таких, когда аппаратуру рационально перенести к образцу, а не наоборот. Практически удобнее всего пользоваться для этих целей образцами, подготовленными для микрошлифов. Поверхность

Таблица 5.3

Объективы комплекта оптики металломикроскопа МИМ-6

Система	Обозначение	Шифр	Собственное увеличение	Фокусное расстояние, мм	Числовая апертура	Свободное расстояние, мм
Сухие ахроматы	9Х0,2	ОМ-13	9	18,2	0,20	8,7
	21Х0,4	ОМ-8	21	8,4	0,40	1,9
	40Х0,65	ОМ-9	40	4,6	0,65	0,60
Иммерсионный ахромат*	95Х1,25	ОМ-10	95	1,96	1,25	0,4
* Объективы 95Х1.25 (иммерсионный), а также накладные полярофильтры к постоянному комплекту микроскопа не прикладываются, а поставляются только по специальному запросу заказчика						

Таблица 5.4

Окуляры комплекта оптики металломикроскопа МИМ-6

Наименование окуляра	Шифр	Увеличение	Фокусное расстояние, мм	Применение	Линейное поле зрения, мм
Фотоокуляр	АМ-32	6,5	38,28	Для фотографирования	
	АМ-33	10	25,00		
Симметричный	АТ-36	15	17,00	Для визуальных наблюдений	
Гюйгенса	АМ-11	7	36,17		18
	АМ-10	10	24,76		14
	МП	15	16,90		8

Таблица 5.5

Объективы комплекта оптики металломикроскопа МИМ-8
(длина тубуса – бесконечность)

Обозначение объектива	Увеличение объектива при ахроматической линзе F = 250	Числовая апертура A = hsin φ	Фокусное расстояние, мм	Свободное расстояние, мм
I. Объективы для светлого и темного полей				
Ахромат F = 23,17; A = 0,17	11	0,17	23,17	6,2
Ахромат F = 13,89; A = 0,30	18	0,30	13,89	5,71
Ахромат F = 6,16; A = 0,65	40	0,65	6,16	0,87
Апохромат F = 15,7; A = 0,30	15	0,30	15,7	4,9
Апохромат F = 8,37, A = 0,65	30	0,65	8,37	0,87
II. Объективы только для светлого поля				
Ахромат F = 2,77; A = 1,25	90	1,25	2,77	0,44
Апохромат F = 4,3; A = 0,95	60	0,95	4,30	0,22
Апохромат F = 2,79; A = 1,30 (иммерсионный)	90	1,30	2,79	0,2
III. Объектив только для темного поля				
Апохромат F = 2,77, A = 1,0 (иммерсионный)	90	1,00	2,77	0,68

Таблица 5.6

Окуляры комплекта оптики металломикроскопа МИМ-8

Обозначение	Фокусное расстояние, мм	Линейное поле зрения, мм	Шифр	Примечание
Компенсационный 3Х	83	20	АМ-25	С удаленным входным зрачком
5Х	50	20	АМ-24	С сеткой и шкалой
7Х	36	18	АМ-26	
» 10Х	25,2	13	АМ-14	
» 15Х	16,8	12	АМ-15	
» 20Х	12,6	9	АМ-16	
» ГМ4Х	62,8	20	АМ-30	
» ГМ7Х	35,9	18	АМ-31	
» 10Х	25	14	М-10	
» 15Х	17	8	М-11	
Гомал II	70,36	15	ОМ-6	
» IV	20,28	8	ОМ-7	
» VI	37,61	13	ОМ-8	

Гомалы имеют отрицательное фокусное расстояние (от -20 до -70) и могут быть использованы только для проектирования изображения на матовый экран (с целью фотографирования). Гомалы по сравнению с другими системами окуляров позволяют изменять растяжение меха, не ухудшая качества изображения. В практике металлографии часто встречаются случаи, когда необходимо произвести фотографирование макроструктуры или поверхности образца при малых увеличениях. Для этой цели обычно используют фотоаппараты или специальные устройства. Однако если качество снимков может быть не очень высоким (например, для контурных фотографий), тогда для фотографирования можно использовать горизонтальный металломикроскоп. Для этого вместо объектива используют верхнюю линзу окуляров 3Х, 5Х. Осторожно отвинтив линзу, ее устанавливают на место объектива. В сочетании с гомалами IV, II или окулярами 3Х, 5Х можно получить на матовом стекле изображение объекта при увеличении 10, 15, 18. Наиболее четкий рисунок получают при максимально возможно прикрытых полевой и апертурной диафрагмах.

При изучении структуры с помощью металломикроскопов большое значение имеет контрастность изображения. Для повышения контрастности необходимо устранить вредное рассеивание света. С этой целью оптическую систему осветителя необходимо устанавливать так, чтобы на матовом стекле светофильтра, установленном на расстоянии 2-3 мм от входного тубуса, четко проектировался источник света (дуга, нить накаливания электролампы и т.д.).

сов различных видов стадирования, для изучения дислокаций и диффузионной пористости. Обычно же структурные составляющие таких швов в значительной степени могут быть изучены с помощью оптических микроскопов.

Последовательность изучения микрошлифов обычно такая: вначале шлиф тщательно изучают с помощью оптических микроскопов, затем, в случае необходимости, переходят для электронно-микроскопического исследования.

На оптических микроскопах вначале определяют качество поверхности шлифа после полировки (механической или электролитической). Для этого шлиф просматривают при различных увеличениях – от 100 и более. Качество поверхности шлифа считается удовлетворительным при отсутствии рисок, загрязнений, выкрашивания. Чуть заметный только при косом освещении рельеф структуры не является дефектом. Такой шлиф можно изучать на предмет определения количества и характера неметаллических включений.

Для изучения неметаллических включений на нетравленом шлифе с успехом применяют исследование в поляризованном свете. Структурные составляющие могут быть оптически изотропными (аморфные вещества и вещества, имеющие кубическую решетку) и анизотропными (вещества, имеющие тетрагональную, гексагональную, ромбическую или другие решетки, отличающиеся от кубической).

Поляризованный свет отражается от анизотропных частиц и проускается анализатором, поэтому анизотропные частицы видны освещенными. При вращении столика с образцом освещенность изменяется от яркой до полного потемнения.

Поляризованный свет, отраженный от оптически изотропных частиц, не пропускается анализатором при скрещенных николях, и оптически изотропные частицы при любом положении предметного столика будут темными. Поэтому при сочетании различных включений сульфиды марганца будут всегда темными, включения силикатного характера – светлыми. Кроме того, силикатные включения характеризуются наличием оптического кристалла, не изменяющегося при вращении стола.

Окислы металлов, находящиеся в силикатах, сообщают им различные цвета.

Сульфиды железа, никеля, молибдена и кобальта имеют гексагональную кристаллическую решетку, поэтому являются оптически анизотропными. Такие включения видны. С помощью поляризованного света можно различить карбиды Cr_7C_3 (анизотропные) от карбидов $Cr_{14}C$ (изотропные с кубической решеткой). Карбиды железа и сложные комплексные соединения четко видны в поляризованном свете при скрещенных николях. Включения глиноземa, имеющие в обычном свете серую окраску, в поляризованном свете видны при любом положении столика.

Для выявления структурных составляющих, например карбидов и интерметаллидов, применяют последовательное травление несколькими реактивами.

На химический состав и структуру сварных швов влияют многие технологические факторы (скорость сварки, глубина проплавления, состав флюсов и т.д.). Поэтому исследователю, работающему в области металловедения сварки, необходимо учитывать это обстоятельство и в каждом конкретном случае самому выбирать состав реактивов, что иногда бывает важнее режимов травления.

5.1.3. Методы изучения структуры сварных швов

Микроскопическое исследование сварных швов позволяет с помощью микроскопов изучать структурные составляющие, недоступные для наблюдения невооруженным глазом.

Разрешающая способность, т.е. минимальные линейные размеры объекта, видимые невооруженным глазом человека на расстоянии около 250 мм, равна приблизительно 0,2 мм. При этом угол зрения составляет около 2°. Увеличение оптических приборов определяется отношением величины угла зрения, под которым видит глаз с помощью такого прибора, к углу зрения, под которым видит невооруженный глаз. Увеличение угла зрения дает увеличение видимых размеров предмета.

Наиболее простым оптическим прибором, с помощью которого можно рассматривать структурные составляющие размером менее 0,2 мм, является лупа. С помощью лупы можно получать увеличение до 15-20 раз. При больших увеличениях растет искажение изображений под влиянием сферической аберрации.

Лупу рационально применять для визуального изучения сравнительно больших поверхностей, например для просмотра поверхности швов после сварки, макрошлифов для оценки общего характера структуры швов и выбора участков, подлежащих микроисследованию и т.д.

Для исследования структуры при увеличениях выше 30 применяют различные микроскопы, в первую очередь металломикроскопы.

Оптические микроскопы имеют группу увеличивающих устройств, образующих две главные системы – объективы и окуляры.

Объективы и окуляры находятся между собой на определенном расстоянии, которое определяет оптическую длину тубуса. В практике длина тубуса измеряется расстоянием от опорной плоскости объектива до верхнего края тубуса микроскопа.

Объект располагается вблизи главной передней фокальной плоскости объектива так, чтобы объектив давал его увеличенное изображение, которое называют промежуточным. Промежуточное изображение попадает

Кроме того, при исследовании рельефных структур контрастность изображения можно повысить, используя косое освещение. Объекты, имеющие сочетание деталей структуры, сильно и слабо рассеивающих свет, например поверхность электрополированных шлифов, хорошо исследовать в темном поле. Для повышения контрастности цветных деталей структуры необходимо использовать цветные светофильтры. Особенно важное значение имеют светофильтры при изучении окрашенных структур. Для получения наибольшей контрастности какой-либо структурной составляющей необходимо применять фильтр того же цвета, что и цвет этой составляющей. Выбрав фильтр дополнительного цвета, получим минимальную контрастность данной фазы. Это позволяет с помощью светофильтров осуществлять раздельное изучение или фотографирование отдельных фаз, выявленных с помощью окрашивания.

Существуют специальные методы создания световой контрастности. Один из методов основан на том, что некоторые структурные составляющие имеют избирательную способность к рассеиванию различной длины волн ультрафиолетового и видимого спектров. Поэтому контрастность некоторых деталей структуры, неразличимых в видимом свете, может быть проявлена в ультрафиолетовом излучении при помощи специального микроскопа МУФ-1.

Для изучения структуры шлифов, имеющих на поверхности микроскопический рельеф, используют интерференционные микроскопы систем МИИ-1 и МИИ-3. С помощью таких микроскопов можно изучать одновременно рельеф и структуру и их взаимосвязь.

Интерференционный микроскоп представляет собой сочетание микроскопа и интерферометра. Система интерференционных полос и характеризует рельеф. Величина неровностей, которые можно определить с помощью интерференционного микроскопа МИИ-1, находится в пределах от 2 до 0,027 мкм. При использовании белого света интерференционные полосы будут окрашены, причем окраска меняется в зависимости от угла, под которым рассматривается поверхность. При измерениях рельефа элементов структуры поверхностей, имеющих различную направленность, лучше пользоваться белым светом.

Монохроматический свет (например, зеленый) лучше использовать в тех случаях, когда направленность деталей поверхности структуры одинакова.

Особенно тонкие детали структуры, далеко выходящие за предел разрешающей способности оптических микроскопов, изучают с помощью электронных микроскопов. В силу различных причин в металловедении наибольшее распространение получили электронные микроскопы просвечивающего типа.

Применение электронных лучей в микроскопии основано на том, что быстро летящие электроны могут диафрагмировать и интерферировать.

тальной линзы был максимальным. Если половина фронтального угла меньше угла отклонения световых пучков от детали объекта, часть детали не будет различима. Если угол отклонения светового пучка обозначить через α, то необходимое условие для разрешения детали должно удовлетворять требованию

$$\sin\varphi \geq \sin\alpha,\ \sin\alpha = \lambda/d,$$

где λ – длина световой волны; d – размер детали объекта.

При показателе преломления $hd \geq \lambda/h\ \sin\varphi$.

Микроскоп МИМ-8 позволяет производить исследования в светлом и темном поле, в прямом или косом свете, с пластинкой или призмой, в естественном или поляризованном свете. Пользуясь раздвижением камеры, на таком микроскопе можно производить фотографирование при увеличении 3000.

Как вертикальный МИМ-6, так и горизонтальный МИМ-8 металломикроскопы являются универсальными и позволяют осуществлять фотографирование, исследование в темном поле и поляризованном свете и имеют для этих целей сильные источники света.

Таким образом, разрешающая сила объектива определяется соотношением между апертурой объектива и длиной волны света $d = \lambda/A$, при этом чем короче длина волны света, применявшегося при исследовании, и чем больше апертура объектива, тем мельче детали объекта, которые можно изучать с помощью данного микроскопа.

Полученное объективом промежуточное изображение увеличивается окуляром (гомал в случае фотографирования) или раздвижением фотокамеры. Увеличение, получаемое с помощью окуляра или фотокамеры, не может превышать определенные границы, свыше которых изображение искажается. Применение слишком малых увеличений ведет к неиспользованию разрешающей способности микроскопа. Границы полезного увеличения можно находить с помощью эмпирического правила: верхняя граница общего увеличения микроскопа равна апертуре объектива, умноженной на 1000, нижняя – умноженной на 500.

В металлографических лабораториях чаще всего применяют стационарные металломикроскопы, которые по конструктивному выполнению делятся на горизонтальные и вертикальные. В горизонтальном микроскопе для установки оптических узлов и фотокамеры используется оптическая скамья, подвешенная на пружинах. Штативы вертикальных микроскопов устанавливаются на специальных подкладках из губчатой резины. К наиболее распространенным металломикроскопам, выпускаемым отечественной промышленностью, относятся горизонтальный МИМ-8 (ранее МИМ-3) и вертикальный МИМ-6 (ранее МИМ-5).

Данные, приведенные ниже, рассчитаны на тот случай, когда оператор пожелает получить некоторые сведения общего порядка, не прибегая к специальной инструкции (табл. 5.3 – 5.6).

на плоскость волизи главного фокуса окуляра. Увеличение объектива равно отношению длины тубуса δ к фокусному расстоянию объектива $f_{об}$. Увеличение окуляра определяется отношением длины тубуса D (обычно 250 мм) к фокусному расстоянию объектива. Общее увеличение микроскопа определяется произведением увеличений объектива и окуляра:

$$N_{общ} = N_{об}N_{ок} = \frac{\delta}{f_{об}} \cdot \frac{D}{f_{ок}}.$$

В оптических системах объектив обеспечивает увеличение до 100. Увеличение окуляра, как правило, не делают больше 20. При использовании больших увеличений для освещения объекта применяют специальную систему с точечным источником света (луча, специальные электролампы, часто кинолампы) и линзой-конденсором, собирающей и направляющей свет.

Для создания наилучших условий освещенности в микроскопах применяют апертурную и полевую диафрагмы, отражающие световые лучи.

Апертурная диафрагма расположена в системе микроскопа и отражает размеры светового пучка. Полевая диафрагма предназначена для того, чтобы отражать после зрения. Путем комбинирования величин раскрытия диафрагм достигают максимальной четкости изображения.

Основным фактором, определяющим четкость изображения, является степень устранения хроматической и сферической аберрации. Достигание в значительной степени устраняются при помощи ахроматических и апохроматических объективов, входящих в комплект современных металломикроскопов.

Разрешающая способность микроскопа зависит от апертуры, которая определяется по формуле

$$A = h\ sin\ \varphi,$$

где h – показатель преломления среды; φ – половина отвесного угла линзы.

Практически φ не бывает больше 144°, поэтому $\varphi_{max} = 72°$ и апертура $A_{max} = 1 \cdot sin\ 72° \approx 0{,}95$.

Применение иммерсионных объективов (когда пространство между линзой объектива и поверхностью объекта заполняется иммерсией, т. е. веществом, имеющим показатель преломления больший, чем у воздуха) позволяет повысить апертуру на 30-50 %. Например, с помощью кедрового масла (меизурка с маслом входит в комплект микроскопов), показатель преломления которого равен 1,51, апертура $A = 0{,}95 \times 1{,}51 = 1{,}43$.

Чем меньше деталь объекта, подлежащая изучению, тем больше должна быть апертура. Это можно объяснить так: уменьшение детали объекта ведет к увеличению угла отклонения световых лучей, попадающих на эту деталь. Поэтому для получения четкого изображения необходимо, чтобы возможно больше количество световых лучков всех направлений попадало из объектива на изучаемую деталь, т. е. чтобы отвесный угол апертурного

Специальные электромагнитные линзы позволяют фокусировать электронные лучи. Попадая на объект, лучи частично поглощаются, частично рассеиваются и таким образом создают контрастное изображение на флуоресцентном экране или на фотопленке.

Источником электронов служит раскаленная вольфрамовая нить, которая вместе с устройством, сообщающим электронам высокую скорость, называется электронной пушкой.

Электронная пушка представляет собой трехэлектродную электростатическую линзу. Система линз позволяет получить электростатический интенсивный пучок быстро летящих электронов. Скорость электронов зависит от разности потенциалов между катодом и анодом (обычно 50-100 кВ). В качестве коллекторной, объективной и проекционной линз чаще всего применяют электромагнитные линзы.

Изменение электронно-оптического увеличения осуществляется регулированием силы тока в проекционной линзе или сменой полюсных наконечников этой линзы. Фокусировка изображения производится изменением тока в обмотке объективной линзы. Изменение яркости изображения достигается регулировкой электронной пушки и коллекторной линзы. Работа микроскопа возможна только при высоком вакууме (10^{-4} мм рт. ст.) на всем пути электронов.

Наибольшее распространение в наших лабораториях получили электронные микроскопы ЭМ-3 (ускоряющее напряжение до 50 кВ, увеличение до 28000) и ЭМ-100 (ускоряющее напряжение до 100 кВ, увеличение до 40000). Микроскоп ЭМ-100 позволяет исследовать объекты не только на просвет, но и на отражение. Однако сложность настройки и неудовлетворительное качество изображения при работе на отражение приводят к тому, что большинство операторов исследует объекты на просвет. В этом случае для изучения металлографического шлифа используют метод отпечатков, т.е. получение тонких пленок, отображающих рельеф структуры. Толщина этих пленок, называющихся репликами, составляет несколько сот ангстрем. Материалом для пленок могут служить как органические вещества (коллоидные реплики), так и неорганические, например различные металлы, как-то: титан, тантал, золото, платина и другие, окислы металлов (окиси алюминия), немсталлы (угольные, кварцевые реплики и т.д.).

Пленки-реплики должны удовлетворять ряду требований: отображать тончайшие переходы структуры в пределах разрешения микроскопа, не обнаруживать собственной структуры и иметь достаточно высокие механические свойства.

Работать на электронном микроскопе должен оператор, прошедший специальную подготовку. Для изучения структуры сварных швов на малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталях электронно-микроскопический метод может быть использован при изучении процес-

разцы вне их рабочей части. При испытании сварных соединений из труб допустимость правки образцов оговаривается стандартами или другой технической документацией.

Если нет иных указаний в стандартах или другой технической документации, то стрела прогиба f на длине 200 мм (рис. 5.16) не должна превышать 10 % от толщины металла, но не более 4 мм.

Несовпадение плоскости листов h в стыковых соединениях (рис. 5.17) не должно превышать 15 % от толщины листа, но не более 4 мм.

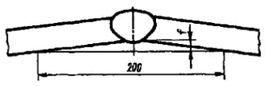


Рис. 5.16 Стрела прогиба f на длине 200 мм

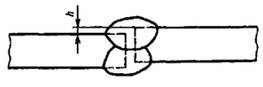


Рис. 5.17 Несовпадение плоскости листов h в стыковых соединениях

Термическую обработку, если она оговорена НТД, проводят до чистовой обработки образцов. Термической обработке могут подвергаться пробы, контрольные соединения или вырезанные из них заготовки для образцов. В случае нормализации или закалки термическая обработка заготовок для образцов не допускается.

Термическую обработку контрольных соединений или заготовок для образцов предпочтительно совмещать с термической обработкой контролируемого изделия. Порядок проведения термической обработки при изготовлении образцов из материалов с $\sigma_в$ более 1000 МПа (100 кгс/мм^2) оговаривается НТД.

Клеймение проб, контрольных соединений заготовок и готовых образцов можно производить любым способом так, чтобы клеймо располагалось вне рабочей части образца и сохранялось на нем после испытания.

5.3.3. Условия проведения испытаний и оценка их результатов

Образцы, имеющие отступления от чертежных размеров по чистоте обработки, а также механические повреждения в рабочей части, к испытаниям не допускаются и заменяются таким же числом новых образцов, изготовленных из той же пробы или контрольного соединения. Если размеры пробы или контрольного соединения исключают возможность изготовления новых образцов, производят вырезку новой пробы или сварку нового контрольного соединения.

При соответствии результатов механических испытаний требованиям стандартов или другой технической документации, во всех случаях, кроме арбитражных испытаний, допускается использование образцов с более низким классом шероховатости поверхности.

на различной способности различных элементов к поглощению рентгеновских лучей. Если между пучками рентгеновских лучей и фотопленкой поместить пластину исследуемого сплава и дать соответствующую выдержку, то на фотопленке после проявления вырисуется система темных и светлых участков. Светлые участки будут соответствовать распределению тех элементов, которые больше поглощают рентгеновские лучи, темные – тем, которые поглощают их меньше. Зная способность данного компонента к поглощению, можно найти его распределение в исследуемой системе.

Различие в коэффициентах поглощения излучений, имеющих заданную длину волны, определяется разностью атомных номеров компонентов. Чем больше различие, тем четче изображение на фотопленке. Когда компоненты сплава имеют близкие атомные номера, применяют излучения со строго определенной длиной волны, получаемые от катодов, подвергнутых воздействию рентгеновских лучей. Можно выбрать такие излучения, которые максимально задерживаются только изучаемым компонентом сплава. В этом случае четкость изображения будет наилучшей. Для исследования химической неоднородности сварных швов методом микрорентгенографии изготовляют топкие пластины (около 0,1 мм), которые помещают между пленкой и источником излучений. Более толстые пластины несопоставимы с размерами структурных составляющих, поэтому мало пригодны. Более тонкие пластины также не применяют, так как участки неоднородности на таких пластинах не могут служить заметным препятствием для рентгеновских лучей и не будут различимы.

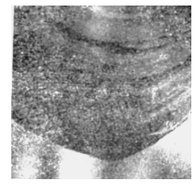


Рис. 5.5. Микрорентгенограмма литого металла сварного шва, содержащего 2,5 % марганца, х2

На рис. 5.5 приведена микрорентгенограмма сварного среднелегированного шва. Четко видна неоднородность по слоям кристаллизации.

Для микрорентгенографического исследования вырезают заготовку пластины фрезой. Толщину заготовки принимают равной 1-1,5 мм. Заготовки постепенно сошлифовывают с обеих сторон. Окончательную доводку можно производить с помощью электрополировки при условии, что рельеф, вызванный полировкой, будет незначительным.

Одним из наиболее совершенных способов изучения структуры металлов является радиография – метод с применением радиоактивных изотопов. Радиоактивные изотопы элементов в сплавах ведут себя так же, как и эти же элементы. Если к образцу сплава, содержащего радиоактивные изотопы, приложить фотопластинку или пленку, на ней проявится отпечаток, отображающий характер распределения изотопов. Максимум потемнения отвечает максимальной концентрации изотопов. Зная характер рас-

электрическими величинами. Также изменения широко применяют для оценки коррозионной стойкости различных зон сварного соединения.

3) Спектроскопический анализ. Спектроскопический анализ позволяет исследовать явления взаимодействия электромагнитного излучения и излучения элементарных частиц с образцом (см. рис. 5.6). Различают методы исследования в оптическом и рентгеновском диапазонах. В обоих случаях род анализируемых фаз определяется длиной волны излучения данного компонента, а ее количество – по интенсивности этого излучения.

Способы исследования в оптическом диапазоне основаны на ударом возбуждении электронов. Наиболее характерно использование пламени или электрического (дугового, искрового) разряда. На этом принципе построены спектрографы типа ИСП-28. Для получения спектрограмм применяют стилоскоп типа СЛ-2А. При спектрографическом способе между исследуемым образцом из металла шва и электродом из чистого алюминия возбуждают искру и снимают разряд на фотопластинку. Затем фотопластинку анализируют на спектропроекторе типа ПС-18 и находят линии легирующих компонентов по таблицам спектров и атласу спектральных линий.

Для локального изучения распределения компонентов в металле, что наиболее важно в сварочно-технических исследованиях, используют значительно большие уровни энергии, чем при обследовании.

5.3. Методы определения механических свойств

5.3.1. Сведения о механических свойствах металлов

Деформация и разрушение

Элементы машин и конструкций, изготовленные из металлов, их сплавов и других материалов, под действием приложенных к ним внешних усилий претерпевают деформации. Деформацией (в механике) называется процесс изменения взаимного расположения каких-либо точек твердого тела в результате механического воздействия (рис. 5.7). При соответствующих условиях нагружения деформация может зачинаться разрушением, т.е. полным или частичным нарушением сплошности тела. Деформация может быть обратимой, т.е. исчезать после снятия нагрузки, вызвавшей ее, и необратимой – оставаться после удаления сил, под действием которых она возникла. Обратимая деформация называется упругой, а необратимая – пластической (остаточной) деформацией [35].

приближением, поэтому эта диаграмма не может служить основанием для количественных расчетов. Например, всесторонне давление повышает прочность и пластичность. «Обобщенные» кривые расходятся у сложных, особенно у стержнево нестойчивых и резко анизотропных материалов. Следует подчеркнуть, что разрушение путем отрыва и путем среза не являются независимыми одно от другого. Например, предшествующая разрушению пластическая деформация может изменить сопротивление отрыву и срезу, нормальные напряжения могут влиять на сопротивление срезу и т.п.

Необходимо также отметить, что в настоящее время стало ясным, что сопротивление отрыву как характеристика сопротивления хрупкому разрушению, выраженная в виде напряжения, не является постоянной характеристикой данного материала, все попытки определить эту «константу» не привели к положительным результатам. Сопротивление отрыву предусматривает однократное, всему сечению образца. Хрупкое разрушение и в экспериментации, и даже в лабораторных испытаниях идет от точки к точке из какого-то начального очага. Поэтому характеристикой хрупкого разрушения не может быть одно напряжение, оно должно включать и напряжение, и длину трещины. Применяемый в настоящее время критерий хрупкого разрушения является более постоянной величиной для данного материала, чем сопротивление отрыву.

Несмотря на все указанные недостатки, диаграммы механического состояния используется во многих случаях для качественной оценки поведения материалов при различных условиях нагружения.

5.3.2. Отбор образцов

Образцы для испытаний отбирают из проб, вырезанных непосредственно из контрольной конструкции или от специально сваренных для проведения испытаний контрольных соединений.

Если форма сварного соединения исключает возможность изготовления образцов данного типа (детали сложной конфигурации, трубы и др.), то образцы могут быть отобраны от специально сваренных плоских контрольных соединений.

При выполнении контрольных соединений характер подготовки под сварку, марка и толщина основного металла, марки сварочных материалов, положение шва в пространстве, начальная температура основного металла, режим сварки и термической обработки должны полностью отвечать условиям изготовления контрольного изделия или особому назначению испытания.

Сварку контрольных соединений, предназначенных для испытания сварочных материалов (электродов, сварочных проволок, присадочных прутков, флюсов и др.), если нет специальных требований, производят с

пределения отдельных изотопов, можно судить о распределении всего соответствующего им элемента [33, 34].

Радиоактивные изотопы вводят в металл при отливке. Для изучения структуры сварных швов чаще всего пользуются изотопами серы S^{35} (период полураспада 87,1 дня) и фосфора P^{32} (период полураспада 14,3 дня). Продолжительность использования образцов с радиоактивными изотопами составляет 4-6 периодов полураспада. Особенно удобно пользоваться изотопом серы, имеющим 3-излучение, что позволяет получать отпечаток, характеризующий распределение серы в тонких поверхностных слоях. В шов радиоактивные изотопы вводят через проволоку или через основной металл. Из шва, содержащего радиоактивные изотопы, изготовляют шлифы, которые укладывают полированной поверхностью на фотопленку или фотобумагу, помещенные в специальную кассету или в пакет из черной светонепроницаемой бумаги, и экспонируют. Время экспозиции устанавливают опытным путем. Фотопленку обрабатывают обычным способом.

Отпечатки, полученные на мелкозернистой специальной пленке, могут быть исследованы в проходящем свете при значительных увеличениях, определяемых разрешающей способностью пленки. Мелкозернистая пленка типа «Никфи» позволяет исследовать радиографические отпечатки при увеличениях до х100.

Радиографические исследования должны выполнять лица, имеющие специальную подготовку. Помещения для радиографических исследований должны быть изолированными и иметь весь необходимый комплекс для обработки, исследования и хранения шлифов, отвечающий требованиям специальной инструкции.

5.2. Исследования состава материалов

Последствия металлургического цикла сварки выражаются в отклонении химического состава металла шва, линии сплавления и зоны термического влияния от соответствующего состава основного металла. Поэтому задачами исследования состава является установление и распределение рода и количества компонентов металла в зоне сварки.

Рис. 5.6. Области возбуждения атома в зависимости от вида и размера действующей энергии

Чтобы получить информацию о составе образца, необходимо воздействовать на него какой-либо энергией. В зависимости от вида и размера этой энергии может возбуждаться специфическое атомное состояние (рис. 5.6).

Тепловой или электрической энергией I используются химические и электрохимические способы анализа веществ, при возбужде-

ния атомного ядра 2 потоками частиц II активационный анализ, при электромагнитном излучении и облучении внутренних электронов 3 потоками частиц III – рентгеновская и электронная спектроскопия, при возбуждении внешних электронов 1 тепловой энергией и электромагнитным излучением IV – атомная эмиссионная спектроскопия и спектроскопия атомного поглощения.

Различают химические, электрохимические и спектральные методы анализа металлов:

1) Химический анализ. Методы химического анализа, используемые в сварочно-технических исследованиях, делятся на качественные, количественные, а также газовые.

Качественный метод, например капельный метод, заключается в зачистке небольшого участка поверхности (2...4 $см^2$) и нанесении нескольких капель растворителя – кислоты или смеси кислот. Капельные реакции применяют для установления марки материала.

Количественный метод основан на способности исследуемых элементов вступать в реакции. Одновременно взвешивают количество прореагировавшего вещества. Метод взвешивания количества прореагировавшего вещества называется гравиметрией. Образцами являются стружка исследуемого металла.

Наибольший интерес для сварочной техники представляют методы газового анализа, исследуются такие газы, как водород, кислород и азот, поглощаемые нагретым металлом при сварке. Среди этих газов особое место принадлежит водороду, поглощаемому алюминиевыми, титановыми сплавами и сталями.

Известны методы определения содержания диффузионного водорода, заключающиеся в сборе выделяющегося водорода в стеклянных сосудах (эвдиометрах) с применением различных рабочих жидкостей - ртути (метод Международного стандарта ИСО 3690), глицерина, спирта, а также герметичных камер известного объема (вакуумный метод). Ртутный метод является наиболее точным, но длителен (3...5 сут) и требует особых мер предосторожности. Глицериновым и спиртовым методами, не связанными с повышенными требованиями техники безопасности, получают заниженные значения (на 20...50 %). Эти методы также продолжительны.

Перспективно применение хроматографических методов исследования с использованием газового хроматографа, калиброванного по водороду. Точность анализа содержания водорода таким методом находится на уровне ртутного метода, а длительность в 30...70 раз меньше.

2) Электрохимический анализ. Электрохимический анализ основан на процессах, происходящих на электродах, контактирующих с электролитами, взаимосвязи между концентрацией электролита и измеряемыми

остыванием между наложением отдельных слоев. Температура, до которой должен остывать металл, устанавливается стандартом или другой технической документацией.

Размеры пластин для изготовления контрольных соединений определяются требованиями, указанными ниже.

Для контрольных соединений, выполняемых дуговой, электрошлаковой и газовой сваркой из плоских элементов, ширина каждой свариваемой пластины, если нет иных указаний в стандартах или другой технической документации, должна быть не менее:

Толщина металла	Ширина каждой свариваемой пластины
до 4 мм	50 мм
св. 4 до 10 мм	70 мм
св. 10 до 20 мм	100 мм
св. 20 до 50 мм	150 мм
св. 50 до 100 мм	200 мм
св. 100 мм	250 мм

Ширина контрольного соединения, выполненного из круглого или фасонного проката, должна быть не менее двух диаметров или ширин элементов.

Длина свариваемых кромок пластин определяется размерами и количеством подлежащих изготовлению образцов с учетом повторных испытаний, припусков на ширину реза и последующую обработку и с добавлением длины неиспользуемых участков шва. Размеры неиспользуемых участков принимают равными:

- при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и газовой сварке – не менее 20 мм в начале и не менее 30 мм в конце шва;

- при автоматической и полуавтоматической сварке с любым типом защиты, кроме флюса, при толщине металла до 10 мм – не менее 15 мм в начале и не менее 30 мм в конце шва, а при толщине металла более 10 мм – не менее 30 мм в начале и не менее 50 мм в конце шва;

- при автоматической и полуавтоматической дуговой сварке под флюсом на токе до 1000 А, при электрошлаковой сварке и дуговой сварке с принудительным формированием – не менее 40 мм в начале и не менее 70 мм в конце шва;

- при автоматической сварке под флюсом на токе более 1000 А – не менее 60 мм в начале шва. Длину неиспользуемого участка в конце шва для этого случая принимают равной длине кратера шва (участок, имеющий неполное сечение).

Размеры пластин для контрольных соединений, выполняемых способами сварки, устанавливаются соответствующими техническими условиями.

В случаях сварки пластин с применением приставных планок для вывода начала и конца шва можно отбирать образцы по всей длине кон-

трольного соединения. Приставные планки изготавливают из того же материала, что и пластины.

Длина приставных планок должна быть не менее размера неиспользуемых участков шва.

Размеры проб, вырезаемых из контролируемой конструкции, определяются количеством и размерами образцов.

При кислородной вырезке проб их размеры определяют с учетом припуска на последующую механическую обработку, обеспечивающую отсутствие металла, подвергшегося термическому влиянию при резке в рабочей части образцов.

Вырезку заготовок для образцов из проб и контрольных соединений рекомендуется выполнять на металлорежущих станках. Допускается вырезать заготовки на ножницах, штампах, кислородной, плазменной, анодно-механической и другими методами резки.

Припуск на величину заготовки, при котором обеспечивается отсутствие в рабочей части образца металла с измененными в результате резки свойствами, назначают в зависимости от метода резки. Минимальное значение припуска должно быть:

- при толщине металла до 10 мм: кислородная и плазменная резка – 3 мм, механическая, в том числе анодно-механическая резка – 2 мм;

- при толщине металла более 10 до 30 мм: кислородная резка – 4 мм, плазменная резка – 5 мм, механическая, в том числе и анодно-механическая резка – 3 мм;

- при толщине металла более 30 до 50 мм: кислородная резка – 5 мм, плазменная резка – 7 мм, механическая, в том числе и анодно-механическая – 3 мм;

- при толщине металла более 50 мм: кислородная резка – 6 мм, плазменная резка – 10 мм, механическая, в том числе и анодно-механическая – 3 мм.

При вырезке заготовок для образцов из металла, в котором под воздействием резки не изменяются свойства в рабочей части образца, допускается уменьшение указанных выше припусков, но не более чем в два раза.

Величина припуска для способов резки, не перечисленных выше, должна быть указана в нормативно-технической документации (НТД) на данный вид продукции или на метод отбора проб.

При изготовлении образцов необходимо принимать меры, исключающие возможность изменения свойств металла в результате нагрева или наклепа, возникающих при механической обработке.

На пробах, контрольных соединениях и заготовках из листового проката и труб следует указывать направление прокатки основного металла по отношению к шву.

Правка контрольного соединения или пробы, отбираемой от контролируемой конструкции, не допускается. Разрешается править готовые об-

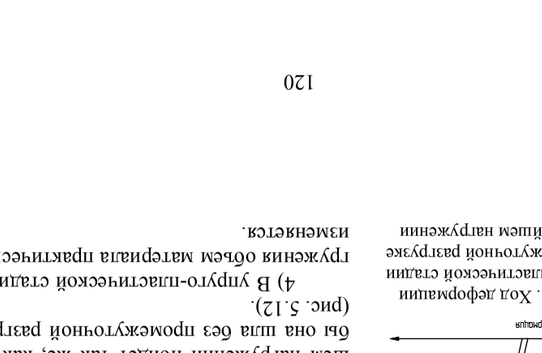


Рис. 5.7. Изменение расстояния между точками А и В при различных видах деформации: а – растяжение; б – сжатие; в – сдвиг

Основные стадии процесса деформации

Наиболее наглядное представление о различных стадиях процесса деформации можно получить, рассматривая диаграмму деформации тела под воздействием возрастающей нагрузки. Такая диаграмма обычно строится по результатам опыта в координатах деформация – сила (рис. 5.8). Для металлов и их сплавов диаграмма деформации имеет два характерных участка: в начальной стадии нагружения до определенной нагрузки макроскопическая деформация возрастает по линейному закону (закон Гука), а затем зависимость между силой и деформацией становится криволинейной. Кривая деформации практически обрывается в тот момент, когда происходит лавинное разрушение тела и вследствие этого нагрузка очень быстро спадает.

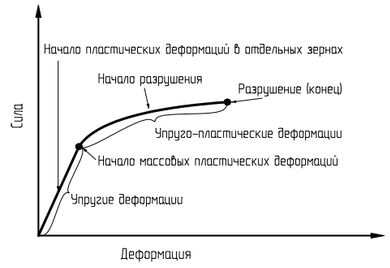


Рис. 5.8. Схема процесса деформации

Если на первой стадии нагружения приостановить рост силы, а затем снять ее, то практически деформация в макромасштабе полностью исчезает. При снятии же нагрузки на второй стадии исчезает только упругая часть деформации. В соответствии с этим весь процесс деформации целе-

2) разрушение путем среза определяется при разных способах нагружения постоянным для данного материала значением сопротивления срезу $t_{ср}$;

3) разрушение путем отрыва определяется значением сопротивления отрыву $S_{отр}$, характеризующим в приведенных напряжениях предельно растягивающее удлинение. Диаграмма механического состояния состоит из двух частей (рис. 5.15).

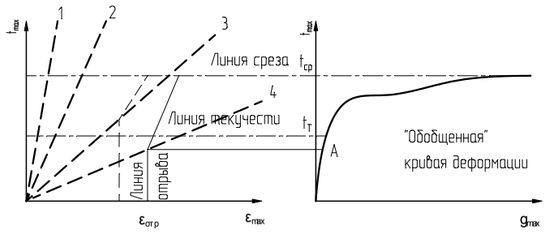


Рис. 5.15. Диаграмма механического состояния

Слева строится собственно диаграмма механического состояния в координатах $t_{max} = \varepsilon_{max}(S^n_{max})$, где S^n_{max} – наибольшее приведенное растягивающее напряжение, характеризующее максимальные упругие удлинения $S^n_{max} = S_1 - \mu(S_2 + S_3)$, где S_1, S_2, S_3 – главные истинные напряжения; μ – коэффициент Пуассона, равный 0,25-0,30. На диаграмме указаны линии, соответствующие текучести, срезу и отрыву, и прямолинейные лучи (пунктирные), тангенс угла наклона которых выражает в соответствующем масштабе «коэффициент жесткости» $a = t_{max}/S_{max}$ при различных способах нагружения.

В правой части диаграммы строится «обобщенная кривая» деформации. Диаграмма позволяет сделать следующие выводы:

1) Характер разрушения (отрыв или срез) определяется способом нагружения. Для данного материала при растяжении луч напряженного состояния раньше достигает линии отрыва, а при кручении – линии среза, что и определяет различие в видах разрушения (отрыв при растяжении и срез при сжатии и кручении).

2) При разрушении путем отрыва не используется максимально возможная (при других видах нагружения) пластичность данного материала: разрушение происходит хрупко (кривая деформации обрывается в точке А). Для одного и того же напряженного состояния изменение соотношения $t_{ср}/S_{отр}$ может привести к изменению характера разрушения. Так, если линия отрыва займет положение, показанное пунктиром, то при кручении будет отрыв. Исходные положения, принятые при построении диаграммы механического состояния, соблюдаются в ряде случаев лишь с большим

2) Процесс развития пластической деформации для данного материала макроскопически описывается полученной из опыта кривой деформации. Во многих случаях при построении этой диаграммы в координатах, отражающих истинные характеристики внутренних сил и деформаций с учетом изменения размеров (например, в координатах истинные максимальные касательные напряжения t_{max} – истинные максимальные сдвиги g_{max}), удается получить кривую, которая приближенно действительна для любого напряженного состояния (рис. 5.11).

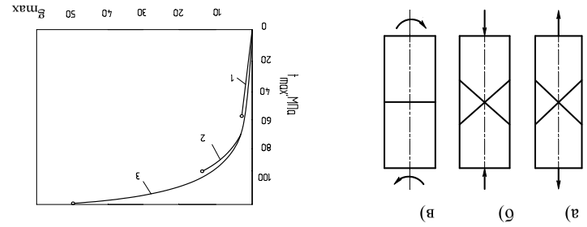


Рис. 5.10. Плоскости максимальных сдвигов при пластической деформации: а – растяжение; б – сжатие; в – кручение

Рис. 5.11. Диаграмма деформации реального сплава при сжатии (1), кручении (2) и растяжении (3)

3) Если приостановить нагружение на какой-то стадии пластического деформирования и затем снять нагрузку, то линия нагрузки пойдет по прямой, параллельной первоначальному прямолинейному участку диаграммы, поскольку при снятии нагрузки исчезает только упругая деформация (закон Гука). При повторном нагружении кривая идет также параллельно начальному прямолинейному участку до тех пор, пока нагрузка не достигнет значения, при котором началась разгрузка (закон Герстнера). Кривая деформации при дальнейшем нагружении пойдет так же, как если бы она шла без промежуточной разгрузки (рис. 5.12).

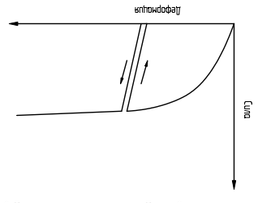


Рис. 5.12. Ход деформации в упруго-пластической стадии при промежуточной разгрузке и дальнейшем нагружении

4) В упруго-пластической стадии нагружения объем материала практически не изменяется.

Хрупкое и пластичное состояние металлов

В зависимости от характера нагружения один и тот же материал может находиться и в пластичном, и в хрупком состояниях. При пластичном состоянии разрушению материала предшествует большая или меньшая пластическая деформация. При хрупком состоянии материал разрушается без макроскопически заметной пластической деформации. Очевидно, что абсолютно хрупкого разрушения, особенно для металлов, нет, поскольку разрушению предшествует та или иная пластическая деформация. Поэтому хрупким (точнее малопластичным) разрушением называют разрушение с относительно малой пластической деформацией (рис. 5.13).

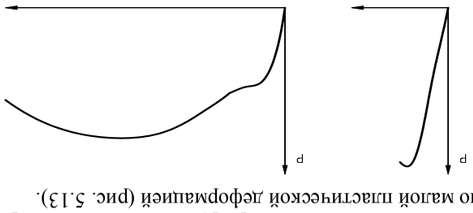


Рис. 5.13. Диаграмма деформации при хрупком (чугун) и пластичном (сталь 20) разрушении при растяжении

Назовем факторы, способствующие переходу материала в хрупкое состояние:

- изменение напряженного состояния – уменьшение доли касательных напряжений по отношению к нормальным (например, переход от гладких к надрезанным образцам);
- понижение температуры для хладноломких материалов;
- изменение скорости нагружения для материалов, чувствительных к скорости нагружения.

Характеристика механических свойств металлов

Величины, характеризующие сопротивление деформации (выраженные в напряжениях) или разрушению (выраженные в напряжениях с учетом длины трещин), деформацию (выраженную, например, относительным удлинением) и вязкость (выраженную работой деформации или разрушения), носят название механических свойств.

На поведение материала существенно влияет характер приложения внешней нагрузки (статический, длительный статический, циклический, динамический и т.п.). Имеют значение также напряженное состояние и способ нагружения. Механические испытания могут быть разделены на следующие группы:

1) Однократные кратковременные статические испытания. При этих испытаниях строится кривая деформации (рис. 5.14) в координатах, соответствующих характеру напряженного состояния, и определяются упругие постоянные (E, G, μ) характеристики сопротивления пластической деформации.

2) Испытания на ползучесть при постоянной нагрузке. При этих испытаниях строится кривая (рис. 5.14, *б*), показывающая нарастание пластической деформации во времени, и определяется предел ползучести по заданному допуску на деформацию.

3) Испытания на релаксацию при постоянной деформации. При этих испытаниях строится кривая, показывающая снижение нагрузки во времени.

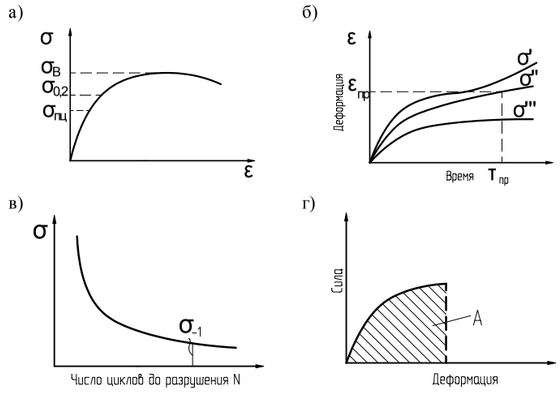


Рис. 5.14. Способы выражения результатов испытания в зависимости от характера приложения нагрузки: а – статическое разрушение; б – испытание на ползучесть (σ – предел ползучести при допуске $\varepsilon_{пр}$ за время $\tau_{пр}$), σ'>σ''>σ'''; в – усталостные испытания; г – ударные испытания (А – работа разрушения)

4) Испытания на усталость при нагружении, изменяющемся по величине и направлению.

5) Динамические испытания ударным нагружением или нагрузкой, возрастающей с большой скоростью. При ударных испытаниях основной характеристикой является работа, затрачиваемая на разрушение образца. Эта работа графически может быть изображена площадью диаграммы деформации при ударе (рис. 5.14, *г*). С увеличением скорости деформации затрудняется процесс пластической деформации и кривая деформации идет круче.

где σ_1, σ_2, σ_3 – главные напряжения; ε_1, ε_2, ε_3 – относительные линейные деформации по направлениям действия соответствующих главных напряжений (рис. 5.9, *б*).

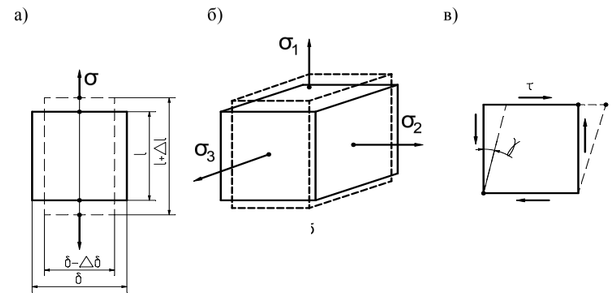


Рис. 5.9. Закон Гука для различных нагруженных состояний:
а – одноосное; б – объемное; в – чистый сдвиг

Закон Гука для сдвига: $\gamma = \tau/G$, где τ – касательное напряжение; γ – относительный сдвиг (угол сдвига); G – модуль упругости второго рода (рис. 5.9, *в*).

В приведенных выражениях фигурируют три характеристики упругих свойств материала E, G и p, между которыми существует следующая зависимость:

$$G = E / [2(1 + \mu)].$$

Эти величины целиком характеризуют поведение изотропного материала в упругой области и принадлежат к числу достаточно стабильных механических свойств; они мало зависят от небольших изменений температуры, изменения содержания легирующих элементов при сохранении основы сплава и характера термической обработки [36]. Развитие пластической деформации характеризуется следующими основными закономерностями:

1) Непосредственные наблюдения (появление линий Людерса, выявление пачек скольжения металлографическими методами) и сопоставление результатов испытания металлов при различных напряженных состояниях свидетельствуют о том, что пластическая деформация при различных способах нагружения осуществляется путем сдвигов, т.е. скольжением дислокаций, причем максимальные макроскопические сдвиги происходят по плоскостям действия максимальных касательных напряжений (рис. 5.10).

сообразно разделить на три последовательно проходящие одна за другой стадии:

1) стадия упругих деформаций: зависимость между силой и деформацией определяется законом Гука и зависит от упругих свойств материала;

2) стадия упруго-пластических деформаций; зависимость между силой и деформацией определяется кривой, характер которой зависит от свойств материала, условий нагружения и выбора координат диаграммы деформации;

3) стадии разрушения.

Такое разделение процесса деформации условно, поскольку указанные стадии невозможно четко разграничить. Так, в области практически линейной зависимости между силой и деформацией, т.е. в макроскопически упругой области, металлографическими и рентгеновскими методами обнаруживается пластическая деформация отдельных зерен поликристаллического металла. Эта неоднородность деформации сохраняется и в пластической области. Поэтому задолго до полного разрушения даже довольно грубыми методами (например, наблюдая поверхность тела через бинокулярную лупу) можно обнаружить на отдельных его участках трещины разрушения (см. рис. 5.8).

Однако приведенное выше разделение процесса деформации необходимо и целесообразно, поскольку оно дает возможность разграничить основные закономерности поведения материалов при механическом нагружении.

Основные закономерности упругой, пластической деформации и разрушения

Упругая деформация, как уже отмечалось, подчиняется закону Гука, который для одноосного растяжения записывается так:

$$\varepsilon_{ii} = \sigma / E,$$

где ε_{ii} – относительная продольная деформация ($\varepsilon_{ii} = \Delta l/l$); σ – нормальное напряжение в поперечном сечении; E – модуль упругости первого рода; l – длина образца.

Поперечная деформация $\varepsilon_\perp = \Delta b/b$, где b ширина образца; отношение $\varepsilon_{ii}/\varepsilon_\perp = \mu$.

Для трехосного растяжения закон Гука записывается в следующей форме:

$$\varepsilon_1 - \frac{1}{E}[\sigma_1 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)],$$

$$\varepsilon_2 - \frac{1}{E}[\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)],$$

$$\varepsilon_3 - \frac{1}{E}[\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)],$$

6) Испытания на разрушение. При этих испытаниях, как однократных кратковременных или длительных, так и циклических, используют образцы с предварительно созданной усталостной трещиной. Испытания на разрушение могут быть только сравнительными (качественными), например испытание на ударный изгиб образцов с усталостной трещиной, и количественными, дающими возможность приближенной оценки размера допускаемого дефекта в конструкции, например определение критического коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} или скорости роста усталостной трещины.

На механические свойства металлов оказывают влияние внутренние факторы состояния металла, как-то: состав, исходная структура, ее изменение в результате технологических режимов обработки и др., а также внешние – температура испытания, воздействие коррозионной среды, воздействие адсорбционно-активных веществ. Влияние последних состоит в следующем:

- с повышением температуры испытания пластическая деформация, как правило, облегчается (за исключением особых случаев хрупкости при нагреве, например, синеломкости и т.п.);
- воздействие коррозионной среды может привести и чаще всего приводит к снижению прочности и пластичности металлов;
- адсорбционно-активные вещества облегчают пластическое деформирование и разрушение металлов.

Связь между различными механическими свойствами

В основу попыток построения теории механических свойств были положены взгляды о двойственной природе разрушения материалов. Каждый материал, обладая двумя видами сопротивления разрушению – сопротивлением срезу и сопротивлением отрыву, в зависимости от характера напряженного состояния может разрушаться путем среза (вязко) и путем отрыва (хрупко). Зависимость поведения материала от вида напряженного состояния свидетельствует о необходимости обобщенной оценки механических свойств металла.

Простейшим примером такой оценки может служить установление связи между твердостью по Бринеллю и временным сопротивлением.

Одной из попыток дать обобщение механических свойств является построение диаграммы механического состояния материала. При построении этой диаграммы принимаются следующие исходные положения:

1) для каждого материала ход процесса деформации при разных способах нагружения характеризуется так называемой обобщенной кривой в координатах t_{max} (максимальные истинные касательные напряжения) – g_{max} (максимальные истинные сдвиги), следовательно, переход в пластическую область определяется постоянным для данного материала значением предела текучести $t_т$;

Испытания производятся на специальных приборах – маятниковых копрах. На рис. 5.25, *а* показан общий вид маятникового копра МК-15 с переменным запасом энергии в 147 Дж (15 кгс·м). На тяжелом основании *1* установлены две металлические стойки *11*, которые поддерживают вращающуюся в шариковых подшипниках ось. К этой оси на растяжках *10* (тягах) подвешен в строго вертикальном положении маятник *2*, в прорези которого находится нож в виде клина. Маятник на необходимую высоту поднимают вручную. Для удерживания поднятого маятника служит подъемная рамка *5*, которую можно установить в любом положении по высоте и закрепить в этом положении с помощью храповых механизмов *6*, закрепленных на стойках *11*. Поднятый маятник скрепляется с поднятой и закрепленной рамкой с помощью защелки и крючка *3*, запирающихся диском *4*. Для нанесения удара по предварительно уложенному на опорах *12* образцу необходимо повернуть предохранительный диск, затем поднять защелку с помощью предохранительного тросика, один конец которого скреплен с защелкой, а другой пропущен через одну из стоек и в нужный момент может быть оттянут специальной ручкой. Маятник снабжен перекинутым через неподвижный блок *8* фрикционным веревочным тормозом *9*, который заканчивается грузом *7*. Тормоз предназначен для остановки качания маятника сразу после испытания.

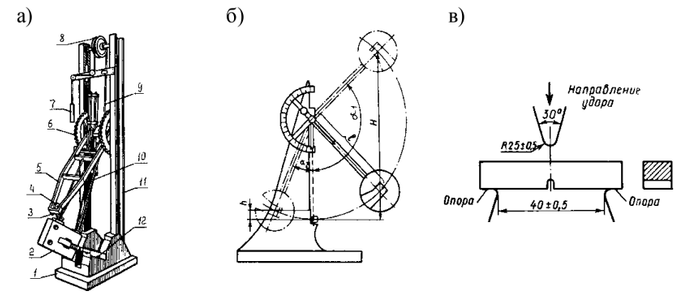


Рис. 5.25. Определение ударной вязкости: а – общий вид маятникового копра МК-15; б – схема копра; в – расположение образца на опорах

Подъемная рамка позволяет менять запас сообщаемой маятнику энергии в пределах от 9,8 до 147 Дж (от 1 до 15 кгс·м). Вес маятника около 127 Н (13 кгс). Наибольшая высота подъема маятника 1200 мм. Для проведения испытаний на опоры станины маятникового копра образец кладут таким образом, чтобы надрез был со стороны, противоположной удару, и находился против острия ножа маятника (рис. 5.25, *г*). Маятник весом Q с

Если нет других указаний в стандартах или другой технической документации, то испытания по подразделам 5.3.4, 5.3.8 и 5.3.9 проводят не менее чем на двух образцах; по подразделам 5.3.5, 5.3.6 и 5.3.10 – не менее чем на трех образцах; по подразделу 5.3.7 – не менее чем на четырех точках для каждого участка сварного соединения. Если размеры сварного соединения исключают возможность размещения четырех точек, то допускается уменьшить их количество в соответствии с реальными возможностями.

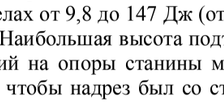
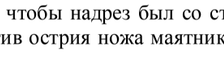
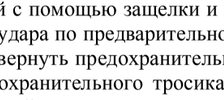
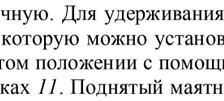
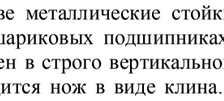
Результаты по всем видам испытаний определяют как среднее арифметическое результатов, полученных при испытании всех образцов. Если нет указаний в соответствующих стандартах или другой технической документации, то для всех видов испытаний, кроме испытаний на статический изгиб и измерения твердости, допускается снижение результатов испытаний для одного образца на 10 % ниже нормативного требования, если средний арифметический результат отвечает нормативным требованиям. Допускаемое снижение результатов испытания образцов на статический изгиб и при измерении твердости должно оговариваться в соответствующих стандартах или другой технической документации. При испытании на ударный изгиб допускаемое снижение ниже нормативных требований устанавливается не более 5 Дж/см^2 (0,5 кгс м/см^2).

Испытания, предусмотренные в подразделах 5.3.7 – 5.3.10, проводят при нормальной температуре, равной (20±10) ºС [(293 ± 10) К]. Температуру образца принимают равной температуре помещения, в котором проводят испытания. Испытания, предусмотренные в подразделах 5.3.4 – 5.3.6, проводят при нормальной температуре или по требованию, оговоренному в соответствующих стандартах или другой технической документации, при повышенных или пониженных температурах. При испытании при пониженной или повышенной температурах температуру образца принимают равной температуре среды, в которой проводят нагрев или охлаждение. Допускается определение температуры на образцах-свидетелях.

Результаты испытаний считают неудовлетворительными, если не выполняются требования предыдущего пункта или в изломе образца, или на его поверхности выявлены кристаллизационные или холодные трещины (кроме случаев, когда наличие трещин допускается соответствующей НТД). При неудовлетворительных результатах испытания повторяют на удвоенном количестве образцов. Если в изломе образца, результаты испытания которого считают неудовлетворительными, обнаружены дефекты основного металла или сварного соединения (кроме трещин), его исключают из оценки и заменяют одним новым образцом.

Общие результаты испытаний определяют по показаниям, полученным при повторных испытаниях. Результаты повторных испытаний являются окончательными.

Продолжение табл. 5.7

1	*2*	*3*	*4*	*5*
8	Металл стыковых одностронних и двусторонних симметричных и несимметричных одно- и многослойных швов	От 5 до 15	*Двусторонняя сварка*  *Двусторонняя сварка*  *Двусторонняя сварка с предварительной формировкой*	Толщина шва H – не менее 6 мм. При достаточной толщине шва расположение образцов может соответствовать позиции 12 табл. 5.7 или позиции 2 табл. 5.8
9	Металл двусторонних и односторонних угловых швов с полным проваром стенки		*Двусторонняя симметричная сварка* *Двусторонняя и электрошлаковая сварка*	
10	Металл одно- и многослойных стыковых швов	От 16 до 35	*Двусторонняя сварка* 	$C = 0{,}5D + 2$ мм
11			*Электрошлаковая сварка* 	
12		От 36 до 60	*Двусторонняя сварка* 	$C = 0{,}5D + 2$ мм

Приняли действия машины следующий: образец, зажатый в захватах, подвергается растяжению. Усилие, приложенное к образцу, передается на маятниковый силоизмеритель и отсчитывается по шкале. Величина деформации образца указывается на другой шкале. Диаграмма растяжения записывается на диаграммном аппарате в координатах «нагружение – деформация». Для испытания на изгиб и сжатие в машине имеется рекорд, который устанавливается вместо верхнего захвата.

Вращение рукоятки *1* (при ручном нагружении) или электродвигателя *12* (при механическом нагружении) через систему передач приводит в движение гайку ходового винта *11* с захватом *8* (см. рис. 5.18, *б*). Движение захвата *8* вниз вызывает растяжение образца, укрепленного в захватах *8* и *7*. Сжимающее осуществляется через захват *7*, систему рычагов, тягу 6 и маятник *2*. Угловое перемещение маятника вызывает через зубчатую рейку *3* и зубчатое колесо отклонение стрелки на шкале *5*, деления которой соответствуют различным нагрузкам.

Автоматическая запись диаграммы деформирования осуществляется специальным прибором *4*, карандаш которого получает от зубчатой рейки *3* поступательное движение, пропорциональное нагрузке. Диаграммный бархан вращается от привода механизма пропорционально деформации образца.

Для быстрой установки образца вращением рукоятки *9* можно быстро подымать и опускать захват *8*. Механический привод имеет коробку скоростей, включаемую с помощью рычага *10*.

Если менять груз и плечо маятника *2*, то можно работать при нагрузках 4,9; 9,8; 24,5; 49 кН (500, 1000, 2500 и 5000 кгс).

Графическое изображение зависимости между напряжениями (или нагрузками) и деформациями материала (или перемещениями при деформировании) представляет собой диаграмму деформирования.

Испытательные машины имеют специальные приспособления, которые автоматически фиксируют диаграмму растяжения. На диаграмме по оси ординат откладываются действующие осевые нагрузки, а по оси абсцисс – абсолютные деформации.

Характерные участки и точки диаграммы растяжения показаны на рис. 5.19. По оси абсцисс откладывают абсолютные удлинения Δl образца, а по оси ординат – значения растягивающей силы P. Сначала получим на первом участке диаграммы 0-1 прямолинейную зависимость между силой и удлинением, что отражает закон Гука. При дальнейшем увеличении силы (за точкой 1) прямолинейная зависимость между P и Δl нарушается. Точка 1 соответствует пределу пропорциональности, т.е. наибольшему напряжению, при котором еще соблюдается закон Гука. Если нагрузку, соответствующую точке 1, обозначить P_{III}, а начальную площадь сечения образца – F_0, то предел пропорциональности $\sigma_{III} = P_{III}/F_0$.

Окончание табл. 5.7

1	2	3	4	5
13			*Электрошлаковая сварка*	$C = 0{,}5D + 2$ мм
14		От 61 до 350	*Дуговая сварка*	$C = 0{,}5D + 2$ мм
15			*Электрошлаковая сварка*	$C = 0{,}5D + 2$ мм

Таблица 5.8

Рекомендации по вырезке образцов в двусторонних швах, выполненных дуговой сваркой

Позиция	Тип металла	Толщина второго шва, H, мм	Схема расположения образцов	Указания по вырезке образцов
1	Металл двусторонних, одно- и многослойных стыковых швов	От 16 до 35	*Дуговая сварка*	$C = 0{,}5D + 2$ мм
2		От 36 до 60	*Дуговая сварка*	$C = 0{,}5D + 2$ мм
3		От 61 до 150	*Дуговая сварка*	$C = 0{,}5D + 2$ мм

Примечания к табл. 5.7 – 5.8:

1) a – толщина металла, мм; D – диаметр головки образца, мм; C – расстояние от поверхности шва до оси образца, мм.

2) При однопроходных швах образцы, вырезаемые из различных участков шва, имеют практически одинаковые механические свойства. При многопроходных швах

характеристики механических свойств в различных участках шва различны. Место вырезки образцов из многопроходных швов оговаривается стандартами или другой технической документацией. При отсутствии специальных указаний образцы вырезают у поверхности шва.

3) Для сварных соединений, выполняемых из круглого проката, схему отбора образцов сохраняют той же.

4) Заготовки по позициям 1-3; 5-7 (см. табл. 5.7) предназначаются для проверки качества сварочных материалов.

5) Если в стандартах или другой технической документации нет других указаний, то при двусторонней сварке образцы для испытаний вырезают из шва, выполненного вторым.

5.3.5. Испытание металла различных участков сварного соединения и напливленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах)

Динамические испытания на ударный изгиб выявляют склонность металла к хрупкому разрушению. Метод (ГОСТ 9454-78) основан на разрушении образца с концентратором (надрезом) посередине одним ударом маятникового копра. Концы образца располагают на опорах. В результате испытания определяют ударную работу, затраченную при ударе (работу удара), или ударную вязкость.

Ударная вязкость – это работа удара, отнесенная к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора. Для определения ударной вязкости при изгибе используют призматические образцы пяти типов (рис. 5.24).

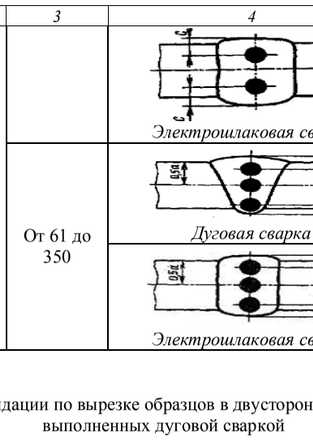


Рис. 5.24. Типы образцов (I – V) для испытаний на ударную вязкость

Методика определения размеров образцов, требования, предъявляемые к оборудованию для испытаний, условия проведения испытаний и подсчет результатов должны соответствовать:

- при испытании на статическое растяжение при комнатной температуре ГОСТ 1497-84, при пониженных температурах ГОСТ 11150-84, при повышенных температурах ГОСТ 9651-84;
- при испытании на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах ГОСТ 9454-78;
- при измерении твердости ГОСТ 2999-75, ГОСТ 9013-59 и ГОСТ 9012-59.

Другие требования к условиям проведения испытаний, определению размеров образцов, оборудованию для испытаний и подсчету результатов должны оговариваться стандартом или другой технической документацией.

Протокол при всех видах испытаний должен содержать: обозначение настоящего стандарта, толщину и марку основного металла, способ сварки, тип соединения, вид термической обработки (если она выполнялась), номер образца (по клейму), тип образца, место его отбора, результаты данного вида испытаний всех образцов, наличие дефектов в изломе образца, при испытании сварных соединений – место разрушения (по металлу шва, по металлу зоны термического влияния, по основному металлу). Для испытаний, проводимых в подразделах 5.3.4 – 5.3.6, дополнительно указывают температуру испытания; в подразделах 5.3.5 – 5.3.6 – максимальную энергию копра; в подразделе 5.3.7 – схему расположения точек замера твердости.

Испытания на растяжение

Машины для испытания на растяжение состоят из механизмов:

- для нагружения (деформирования) образца;
- передачи растягивающей силы и центровки образца;
- измерения растягивающего усилия.

По методу нагружения машины подразделяются на два основных типа:

1) с механическим приводом, в которых деформация образца осуществляется перемещением винта-шпинделя путем вращения гайки, соединенной с траверсой;

2) с гидравлическим приводом, в которых деформация осуществляется перемещением штока поршня гидравлического цилиндра. Для небольших машин предпочитают механический привод, для мощных - гидравлический. На образец усилия передаются с помощью захватов. Чтобы уменьшить эксцентриситет приложения нагрузки, захваты снабжают самоцентрирующимися шаровыми опорами (хотя значительное трение в них не обеспечивает вполне точной центровки) или лучше шарнирами Гука или применяют специальные аксиаторы.

Усилия измеряют следующими способами:

- уравновешиванием приложенной силы подвижным грузом («взвешиванием» силы методом десятичных весов);

- уравновешиванием силы маятниковым рычагом, который с изменением силы изменяет угол наклона;
- с помощью гидравлического измерителя (гидравлической месдозы по показаниям специального манометра);
- с помощью электронного силоизмерителя, состоящего из упругого растягиваемого стержня с наклеенными на нем тензорезисторами и усилителя, передающего сигнал на ленту машины или двухкоординатный самописец;
- на большинстве разрывных машин можно производить также испытание на сжатие и на изгиб, для чего имеются специальные приспособления (реверсоры).

Образцы для испытания на растяжение изготовляют согласно ГОСТ 1497-84. Форма образцов цилиндрическая (чаще) или призматическая. Обычно образцы на концах снабжены головками, форма и размер которых соответствуют захватам машины. Образцы без головок, устанавливаемые в клиновые зажимы с острыми насечками, применяют только для испытания очень пластичных материалов. В образцах из хрупких материалов (инструментальные стали, чугун, силикаты, цементы) переходы от головок к цилиндрической части выполняют в виде галтелей большого радиуса; часто применяют образцы с постоянным радиусом кривизны по всей длине (без цилиндрической части).

На рис. 5.18 показана универсальная разрывная машина с механическим приводом и рычажковым маятниковым силоизмерителем на 49 кН (5000 кгс). Машина предназначена для испытания образцов из металла на растяжение при нормальной температуре по ГОСТ 1497-84, а также на сжатие и изгиб и удовлетворяет требованиям ГОСТ 28840-90.

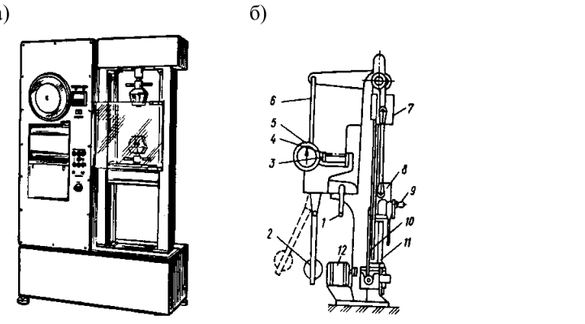
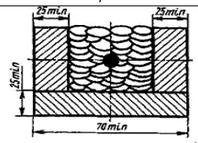
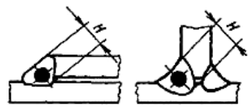
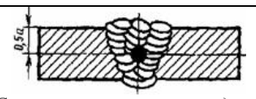
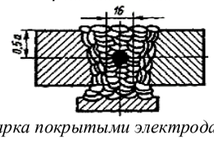


Рис. 518. Разрывная машина Р-5 для испытания металлов:
а – внешний вид; б – схема действия

Продолжение табл. 5.7

1	2	3	4	5
3	Наплавленный металл. Наплавку ведут в медной форме. Элементы формы могут охлаждаться водой		 *Сварка покрытыми электродами, в защитном газе и газовая сварка*	Количество слоев – не менее шести. Образец располагают вдоль направления сварки
4	Металл одно- и многослойных угловых швов, сваренных без полного провара одного из элементов		 *Дуговая и электрошлаковая сварка*	Толщина шва H – не менее 6 мм
5	Металл стыкового многослойного шва	Не менее 12	 *Сварка покрытыми электродами, в защитном газе и газовая сварка*	
6	Металл стыкового многослойного шва. Перед сваркой кромки наплавляют не менее чем в три слоя с применением испытуемых материалов	Не менее 12	*Сварка покрытыми электродами, в защитном газе и газовая сварка*	В рабочее сечение образца не должен попадать металл, наплавленный на кромки пластин
7	Металл стыкового многослойного шва с предварительной наплавкой кромок и подкладки не менее чем в три слоя. Для наплавки применяют испытуемые материалы. Ширина подкладки 30 мм	Не менее 20	*Зазор между стыкуемыми кромками 16 мм*  *Сварка покрытыми электродами, в защитном газе и газовая сварка*	В рабочее сечение образца не должен попадать металл, наплавленный на кромки пластин и на подкладку

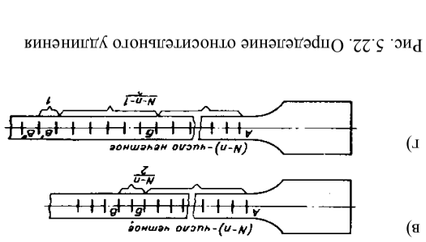


Рис. 5.19. Характерные участки и точки диаграммы растяжения

Несколько выше точки 1 находится точка 1', соответствующая пределу упругости. Если нагрузку, соответствующую точке 1', обозначить $P_{УП}$, то предел упругости $\sigma_{УП} = P_{УП}/F_0$.

По стандарту предел упругости задается и обозначается $\sigma_{0,05}$ – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 % длины участка образца, равного базе тензометра.

За точкой 1' возникают уже заметные остаточные деформации. В точке 2 диаграммы частицы материала начинают переходить в область пластичности – наступает явление текучести образца.

На диаграмме растяжения получается горизонтальный участок 2-3 (площадка текучести), параллельный оси абсцисс. Для участка 2-3 характерен рост деформации без заметного увеличения нагрузки. Обозначим величину нагрузки, соответствующей площадке текучести 2-3, через P_T. Напряжение σ_T, отвечающее этой нагрузке, – это то напряжение, при котором рост деформации происходит без заметного увеличения нагрузки, оно и является физическим пределом текучести.

Предел текучести (физический) – это механическая характеристика материалов: напряжение, отвечающее нижнему положению площадки текучести в диаграмме растяжения для материалов, имеющих эту площадку, $\sigma_T = P_T/F_0$.

Предел текучести устанавливает границу между упругой и упругопластической зонами деформирования. Даже небольшое увеличение напряжения (нагрузки) выше предела текучести вызывает значительные деформации.

Для материалов, не имеющих на диаграмме площадки текучести, принимают условный предел текучести – напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает определенного значения, установленного техническими условиями (большего, чем это установлено для предела упругости).

$$\delta = 100\,(l_к - l_0)/l_0.$$

Для определения длины расчетной части образца после разрыва $l_к$ разрушенные части образца плотно складывают так, чтобы их оси образовали прямую линию. Если после испытания в месте разрыва образуется зазор, обусловленный частичным выкрашиванием металла и другими причинами, то он включается в длину расчетной части образца после разрыва.

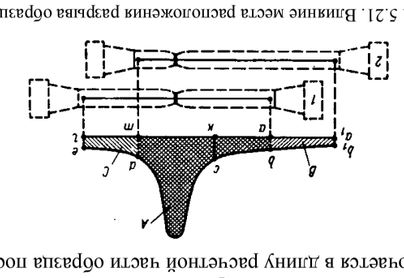


Рис. 5.21. Влияние места расположения разрыва образцов на величину относительного удлинения

Если расстояние от места разрыва до ближайшего керна (или риски), ограничивающее расчетную длину образца, составляет не менее чем 1/3 расчетной длины l_0 (рис. 5.22, *а*), то определение производят измерением расстояния между указанными отметками (рис. 5.22, *б*). Когда расстояние от места разрыва до ближайшего керна, ограничивающее расчетную длину образца, меньше или равно 1/3 расчетной длины l_0, то для исключения влияния места расположения разрыва на величину относительного удлинения пользуются симметричностью кривой распределения удлинения по длине образца, при этом следует отнести место разрыва к середине образца.

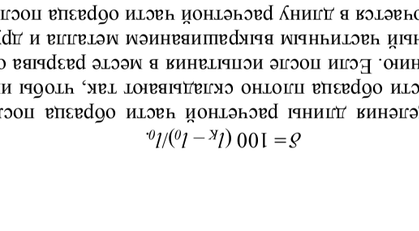


Рис. 5.22. Определение относительного удлинения

Для пересечения удлинения с отсечением места разрыва к середине рекомендуется нанести по всей рабочей части образца нетлубокие керны, риски или иные метки через каждые 5 или 10 мм.

На образцах с повышенной хрупкостью деления наносят способами, исключающими повреждение поверхности образца.

Для нанесения рисок на круглых и плоских образцах из металлов (ГОСТ 1497-84 и 10006-80) перед испытанием на растяжение применяется делительная машина МД-3. Начальную и конечную расчетные длины образца измеряют с точностью до 0,1 мм.

Пересчет производят следующим образом. Пусть на начальной расчетной длине образца укладывается N интервалов. После разрыва крайнюю риску на короткой части разрушенного образца обозначим A. На длинной части B обозначим риску, расстояние от которой до места разрыва наиболее близко по величине к расстоянию от места разрыва до риски A.

Расстояние от точки A до B пусть составляет n интервалов.

Если $(N - n)$ – число четное (рис. 5.22, *в*), то от точки B до точки B берется $(N - n)/2$ интервалов и $l_к$ подсчитывается по формуле

$$l_к = AB + 2BB.$$

Если разность – число нечетное (рис. 5.22, *г*), то от точки B до точки B' берется $(N - n - 1)/2$ интервалов и до точки B'' берется $(N - n + 1)/2$ интервалов (в сумме $BB' + BB'' = N - n$). Конечная длина в этом случае подсчитывается по формуле

$$l_к = AB + BB' + BB''.$$

Если пересчет не дает необходимого минимального удлинения, то испытание считается недействительным и испытание повторяется.

В протоколах испытаний должно быть указано, на какой расчетной длине определялось относительное удлинение. Например, при начальной расчетной длине $l_0 = 2{,}82\sqrt{F_0}$ условное обозначение будет $\delta_{2,5}$ при $l_0 = 5{,}65\sqrt{F_0}$ – δ_5 и при $l_0 = 11{,}3\sqrt{F_0}$ – δ_{10}.

Испытание считается недействительным: при разрыве образца по кернам (рискам), если при этом какая-либо характеристика по сравнению не отвечает установленным требованиям; при разрыве образца в захватах испытательной машины или за пределами расчетной длины; при разрыве по дефектам металлургического производства; при образовании двух (или более) мест разрыва; при обнаружении ошибок в проведении испытания.

Испытание на прочность сварного соединения. Для определения способности прочно свариваться два бруска испытуемого металла сваривают и подвергают испытанию на статический изгиб (рис. 5.23) или на статическое растяжение (ГОСТ 6996-66), после чего сравнивают результаты с

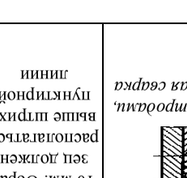


Рис. 5.23. Схемы пробы сварных швов на изгиб

темы, которые соответствуют цельному (несваренному) образцу из того же металла.

Свариваемость характеризуется также углом загиба α. Чем больше этот угол, тем выше пластичность сварного соединения.

Испытания образцов сварных соединений толщиной от 2 до 25 мм на растяжение и изгиб проводят на разрывной машине РМ-50. Наибольшая предельная нагрузка при испытании на растяжение 50 тс (490 кН), на изгиб 30 тс (294 кН), длина опор при испытании на изгиб 200 мм.

При хорошей прочности сварного соединения сопротивление разрыву в месте сварки должно составлять не менее 80 % от предела прочности цельного образца.

5.3.4. Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение

При испытании металла на статическое (кратковременное) растяжение определяют следующие характеристики механических свойств:

- предел текучести физический σ_T, МПа (кгс/мм^2) или предел текучести условный $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм^2);
- временное сопротивление σ_B, МПа (кгс/мм^2);
- относительное удлинение после разрыва (на пятикратных образцах) δ_5, %;
- относительное сужение после разрыва ψ, %.

Испытания проводят для металла шва, металла различных участков зоны термического влияния наплавленного металла при всех видах сварки плавлением.

Форма и размеры образцов, применяемых для испытания, должны соответствовать приведенным в прил. 1 типам I, II, III, IV, V. Допускается увеличение размера диаметра образца и его высоты.

Для испытаний, проводимых при нормальной или пониженной температуре, применяют образцы всех типов. При повышенной температуре применяют образцы типов IV и V.

Допускается применение пропорциональных коротких цилиндрических образцов другого диаметра или типа по ГОСТ 1497-84.

При испытании при повышенных температурах по требованию, оговоренному в стандарте или другой технической документации, допускается применение пропорциональных длинных цилиндрических образцов № 2 и 3 по ГОСТ 9651-84.

как упругая деформация (отрезок A_1A_2) исчезает после разрыва: $\Delta l_{ост.п} = l_K - l_0$, где l_0 – начальная длина образца; l_K – конечная длина образца (рис. 5.20).

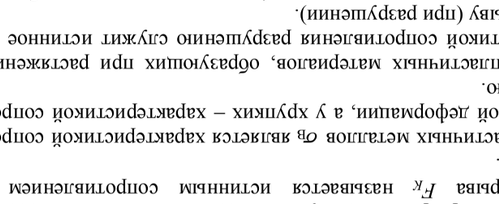


Рис. 5.20. Образцы до растяжения (а) и после растяжения (б)

Общее удлинение образца при растяжении слагается из равномерного и сосредоточенного удлинения (за счет образования шейки). Так как размеры испытуемых образцов могут быть различными, то характеристикой пластичности образца служит не его абсолютное, а относительное остаточное удлинение при разрыве.

О т н о с и т е л ь н о е у д л и н е н и е после разрыва δ – это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва $\Delta l_{ост.п.} = l_K - l_0$ к первоначальной расчетной длине l_0 в процентах: $\delta = 100\ (\Delta l_{ост.п}/l_0)$. Чем больше δ, тем пластичнее металл.

Другой характеристикой пластичности металла является относительное сужение сечения ψ после разрыва (в процентах).

Относительное сужение после разрыва ψ – это отношение разности начальной площади и минимальной площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца.

Если F_0 – начальная площадь образца, F_K – минимальная площадь сечения в месте образования шейки (в месте разрыва), то относительное сужение (%):

$$\psi = 100\ (F_0 - F_K)/F_0.$$

На значение относительного удлинения влияет место расположения разрыва по длине образца, которое зависит от внутреннего строения металла. Поэтому кроме расчетной длины на значение относительного удлинения могут влиять случайности расположения шейки по длине образца. На рис. 5.21 показаны два изготовленных из одного и того же материала и одинаковых по размерам образца, из которых образец 1 получил шейку посередине расчетной длины, а образец 2 – у одного из ее концов.

Таким образом, при различном расположении места разрыва по расчетной длине образца значение относительного удлинения для образцов из одного и того же материала может получиться различным. Относительное удлинение δ (%) образца после разрыва вычисляют по формуле

Обычно допуском для величины остаточной деформации при растяжении принято отклонение 0,2 %. Эта величина называется условным пределом текучести: $\sigma_{0,2} = P_{0,2}/F_0$, где $P_{0,2}$ – нагрузка при условном пределе текучести.

При увеличении напряжений сверх предела текучести при растяжении в результате силовой деформации происходит упрочнение металла (изменение его структуры и свойств) и сопротивление деформации увеличивается, поэтому за участком текучести, т.е. за точкой 3, наблюдается подъем кривой растяжения (участок упрочнения). До точки 4 удлинение образца происходит равномерно. Наибольшее значение нагрузки, предшествующее разрушению образца, обозначим P_{max}. Точка 4 характеризует максимальное условное напряжение, возникающее в процессе испытания, называемое временным сопротивлением разрыву.

Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$ – условное напряжение, определяемое по отношению действующей силы к исходной площади поперечного сечения образца и соответствующей наибольшей нагрузке P_{max}, предшествовавшей разрушению образца: $\sigma_в = P_{max}/F_0$.

В момент, соответствующий нагрузке P_{max}, появляется заметное местное сужение образца (шейка). Если до этого момента образец имел цилиндрическую форму, то теперь растяжение образца сосредотачивается в области шейки.

Участку 4-5 соответствует быстрое уменьшение сечения шейки, вследствие этого растягивающая сила уменьшается, хотя напряжение растет (площадь сечения в шейке $F_{bp} < F_0$). При дальнейшей деформации шейка сужается и образец разрывается по наименьшему сечению F_K, где напряжения в действительности достигают наибольшего значения.

Таким образом, нарастание пластической деформации при растяжении происходит неравномерно: равномерная пластическая деформация до точки 4 и местная пластическая деформация от точки 4 до точки 5 – момента разрушения.

Моменту разрыва соответствует точка 5, усилие разрыва обозначим P_K. Отношение разрывающего усилия к действительной площади сечения в месте разрыва F_K называется истинным сопротивлением разрыву: $S_K = P_K/F_K$.

У пластичных металлов $\sigma_в$ является характеристикой сопротивления пластической деформации, а у хрупких – характеристикой сопротивления разрушению.

Для пластичных материалов, образующих при растяжении шейку, характеристикой сопротивления разрушению служит истинное сопротивление разрыву (при разрушении).

Показателем пластической деформации является его абсолютное остаточное удлинение $\Delta l_{ост.п.}$ при разрыве (отрезок OA_1, см. рис. 5.19), так

При наличии соответствующих приспособлений допускается применение образцов типов I, II и III для испытаний при повышенных температурах.

Рабочее сечение образцов всех типов должно полностью состоять из металла испытуемого участка. В головках образца допускается наличие мелких дуговых участков сварного соединения. На поверхности головки допускается наличие одной или двух (параллельных) лысок, а также наличие необработанной поверхности шва или основного металла.

Размеры головки в месте лыски должны быть: для образцов типов I, II и III – не менее $d_0 + 2$; для образцов типов IV и V – не менее d.

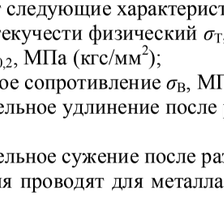
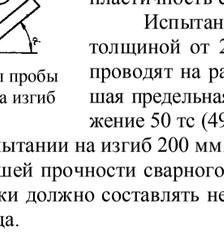
Размеру места выдержки образцов производят по макрошлифам, изготовленным на торцах заготовки в соответствии с данными табл. 5.7 – 5.8. Все образцы растачивают вдоль продольной оси испытываемого участка.

При испытании металла шва и наплавленного металла с сечением, превышающим сечение головки образца, разрешается производить разметку места выдержки образцов без травления заготовки по внешним очертаниям шва с соблюдением требований табл. 5.7 – 5.8.

Схема расположения образцов при испытании других участков металла шва или металла околошовной зоны устанавливается стандартами или другой технической документацией.

Таблица 5.7

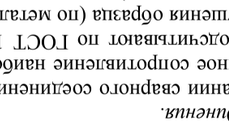
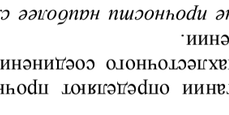
Рекомендации по выдержке образцов

Позиция	Тип металла	Толщина основного металла, мм	Схема расположения образцов	Указания по выдержке образцов
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	Наплавленный металл	Не менее 12		*q – не менее пяти слоев. Образец должен располагаться выше штрихпунктирной линии*
2	Наплавленный металл. Наплавку производят поверх пластины толщиной 20 мм. Длина пластины – не менее 80 мм. Для удержания металла устанавливают медные планки *А*	20		*q – не менее пяти слоев, но не менее 10 мм. Образец должен располагаться выше штрихпунктирной линии*

Сварка покрытым электродом, в защитном газе и газовая сварка

Сварка покрытым электродом, в защитном газе и газовая сварка

Продолжение табл. 5.13

1	2	3	4	5
5		Для образцов типа XVII – более 100	 *Дуговая сварка*	
6			 *Электрошлаковая сварка*	

Примечание к табл. 5.12 – 5.13: *а* – толщина основного металла, мм; *С* – расстояние от поверхности металла до края заготовки, мм.

Разрешается применение цилиндрических образцов с другими рабочими диаметрами и другим типом захватной части в соответствии с ГОСТ 1497-84. Допускается проведение испытаний на образцах типов XII-XVII с более низким классом чистоты обработки при условии соответствия характеристик механических свойств испытуемого металла всем установленным требованиям.

Для контроля прочности сварных соединений труб применяют сегментные образцы типа XII, XIII, XIII, а также цилиндрические образцы в виде отрезков труб тип XVIII или XVIIIa или XIX. Образцы типов XII, XIII, XIIIa не выправляют. Форму их в поперечном сечении определяет естественная кривизна трубы.

Сегментные образцы вырезают при диаметре трубы более 20 мм. Цилиндрические образцы типов XVIII и XVIIIa вырезают при диаметре трубы до 100 мм. При наличии соответствующего оборудования образцы этого типа вырезают и при трубах больших диаметров. При испытании образца типа XIX его максимальный диаметр определяется мощностью испытательной машины. В формулу расчета временного сопротивления (ГОСТ 1497-84) для образцов этого типа вводят значение площади сечения трубы вне шва. В образцах типов XII, XIII и XIIIa выпуклость швов удаляют с двух сторон. В образцах типов XVIII и XIX выпуклость шва не удаляют, в образцах типа XVIIIa выпуклость шва удаляют только с наружной стороны. По требованиям, изложенным в НТД, разрешается испытывать образцы типа XVIII со снятой с наружной стороны выпуклостью шва. При недостаточной мощности испытательной машины разрешается применять образцы типов I-V. Металл шва располагают посередине образца.

Концы образцов типов XVIII и XVIIIa подготавливают для испытания при использовании цилиндрических пробок (образцы типа XVIIIa) или

длиной подвески *l* (рис. 5.25, *б*) поднимают на высоту *H* (угол отклонения α_1), закрепляют и устанавливают стрелку шкалы на нуль. В этом положении маятник обладает известным запасом потенциальной энергии $K_1 = QH$, где $H = l \cdot \cos\alpha_1$. Затем освобождают маятник, и он, свободно падая, ударяет по образцу и разрушает его. На это расходуется часть энергии. Оставшаяся энергия поднимает маятник на некоторую высоту *h*, угол α_2 определяют по шкале прибора. Оставшаяся энергия

$$K_2 = Qh,$$

где $h = l \cdot \cos\alpha_2$.

Количество энергии, затраченное на разрушение образца, или работа удара, поглощенная образцом, вычисляется по формуле

$$K = K_1 - K_2 = Q(H - h),$$

где *K* – абсолютная вязкость.

Ударная вязкость КС вычисляется по формуле

$$KC = K/S_0,$$

где *K* – работа удара, Дж (кгс·м); S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, см^2; вычисляемая по формуле

$$S_0 = H_1 B,$$

где H_1 – начальная высота рабочей части образца, см; *B* – начальная ширина образца, см.

Выбор вида концентратора осуществляется в зависимости от требований к изделию: *U* – при обычных испытаниях металлов и сплавов; *V* – для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды давления); *T* – для особо ответственных конструкций.

Из данных рис. 5.26 видно, что способ сварки оказывает существенное влияние на ударную вязкость штампосварных конструкций из сплава ВТ20.

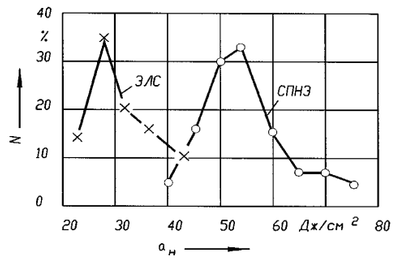


Рис. 5.26. Кривые распределения ударной вязкости штампосварных конструкций из сплава ВТ20 в зависимости от вида сварки

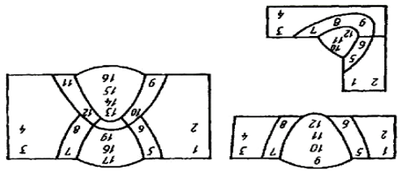


Рис. 5.35. Допускаемые участки измерения твердости на сварном соединении

Твердость стыковых и угловых соединений, выполненных дуговой сваркой, измеряют: при толщине основного металла или углового шва от 1,5 до 9 мм – в соответствии с позицией VIII рис. 5.33 по одной прямой линии; при толщине от 9 до 25 мм – в соответствии с позициями I и III рис. 5.33 по двум сплошным линиям; при толщине от 26 до 60 мм – в соответствии с позициями II или III рис. 5.33 по двум сплошным и одной прерывистой линиям.

Схему измерения твердости при толщине основного металла или углового шва более 60 мм оговаривают в стандартах или другой технической документации.

Твердость сварных соединений, полученных электрошлаковой сваркой, измеряют в соответствии с позицией IV рис. 5.33. Количество точек измерений в зоне термического влияния должно быть не менее 10.

Твердость различных участков металла наплавки измеряют в соответствии с позицией V рис. 5.33.

Твердость сварных соединений, полученных сваркой давлением, измеряют в соответствии с позицией VI рис. 5.33.

Твердость наплавленного металла при контроле качества сварочных материалов измеряют в соответствии с позицией VII рис. 5.33.

5.3.8. Испытание сварного соединения на статическое растяжение

При испытании определяют прочность наиболее слабого участка стыкового или нахлесточного соединения или прочность металла шва в стыковом соединении.

Определение прочности наиболее слабого участка стыкового и нахлесточного соединения.

При испытании сварного соединения на статическое растяжение определяют временное сопротивление наиболее слабого участка. Временное сопротивление подсчитывают по ГОСТ 1497-84. При испытании определяют место разрушения образца (по металлу шва, по металлу околошовной зоны, по основному металлу).

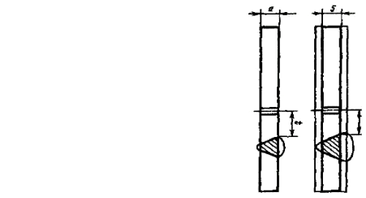


Рис. 5.28. Расположение надрезов в образцах: а, б – по металлу шва; в – по зоне сплавления; г, д – в различных участках металла околошовной зоны на расстоянии *l* от границы сплавления

Испытания проводят, как правило, на образцах, толщина или диаметр которых равны толщине или диаметру основного металла. При испытании сварного соединения или листов разной толщины более толстый лист путем механической обработки должен быть доведен до толщины более тонкого листа.

Шероховатость поверхности после обработки более толстого элемента должна быть не более 6,3 мкм.

Форма и размер плоских образцов для испытания стыковых соединений должны соответствовать указанным в прил. 1 типам XII, XIII, XIIIa. Допускается применение цилиндрических образцов типов I, II, III, IV и V. Металл шва в этих образцах должен располагаться по середине их рабочей части. Разрешается применение образца по ГОСТ 1497-84.

При испытании материалов высокой прочности разрешается изменять конструкцию захватной части образца.

Форма и размеры цилиндрических образцов для испытания стыковых соединений стержней круглого или многогранного сечения должны соответствовать указанным в прил. 1 типам XIV, XIVa. Для испытания стыковых соединений из арматурной стали применяют необработанные образцы со снятым утолщением.

Утолщение шва должно быть снято механическим способом до уровня основного металла. При удалении утолщения разрешается снимать основной металл по всей поверхности образца на глубину до 15 % от толщины металла или диаметра стержня, но не более 4 мм. Основной металл с поверхности образца удаляют только с той стороны, с которой снимают утолщение шва или имеется уступ. Строгать утолщение следует поперек шва. Острые кромки плоских образцов в пределах рабочей части должны быть закруглены радиусом не более 1,0 мм путем сглаживания напильником вдоль кромки. Разрешается строгать утолщение вдоль шва с последующим удалением рисок. Шероховатость поверхности R в местах удаления утолщения должна быть не более 6,3 мкм.

Испытания образцов типов XII, XIII, XIIIa и XIV разрешается проводить без снятия утолщения, если это оговорено в НТД.

В этом случае в формулу расчета временного сопротивления (ГОСТ 1497-84) вводят значение площади сечения образца вне шва.

При недостаточной мощности разрывной машины разрешается испытывать плоские (тип XV) или цилиндрические образцы (типы XVI и XVII). Величину захватной части образцов h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины. Схема расположения заготовок для образцов типов XVI и XVII приведена в табл. 5.12 – 5.13.

3) Ударная вязкость, определяемая на образце типа VI, при температуре 20 °С, при максимальной энергии удара маятника 300 Дж, с надрезом вида U, расположенным по металлу шва:

KCUШ.

4) Ударная вязкость на образце типа IX, при температуре 20 °С, при максимальной энергии удара маятника 300 Дж, с надрезом вида V, расположенным поперек металла шва:

KCVШ П.

Образцы различных типов дают несравнимые между собой результаты испытаний. Для отдельных случаев могут быть экспериментально установлены частные переводные коэффициенты.

При испытании на ударный изгиб должны применяться образцы с максимально возможной для данной толщины основного металла шириной. В соответствии с этим при толщине основного металла 11 мм и более применяют образцы типа VI или IX, при толщине основного металла 6-10 мм – образцы типа VII или X, при толщине металла 2-5 мм – образцы типа VIII или XI. Использование образцов типов VII и X вместо образцов типов VI и IX и образцов типов VIII и XI вместо образцов типов VII и X или VI и IX допускается только при сравнительных испытаниях, когда для одного из объектов сравнения применение тонкого образца обусловлено толщиной основного металла.

При вырезке образцов типов VI и IX из сварного соединения, выполненного из основного металла толщиной 11 мм, и образцов типов VII и X – из основного металла толщиной 6 мм, допускается наличие необработанного основного металла на двух поверхностях образца. Поверхность основного металла образцов типов VIII и XI не обрабатывают.

Выпуклость шва на всех образцах удаляют до уровня основного металла. При наличии в сварном соединении смещения кромок он удаляется механическим путем.

В зависимости от цели испытания надрез располагают по металлу шва (рис. 5.28, *а*, *б*), по зоне сплавления (рис. 5.28, *в*) и в различных участках металла околошовной зоны на расстоянии t от границы сплавления (рис. 5.28, *г*, *д*). Место расположения надреза и расстояние t от границы сплавления до оси надреза оговаривают в НТД.

При испытании металла околошовной зоны при сварке давлением расстояние t отсчитывают от оси шва.

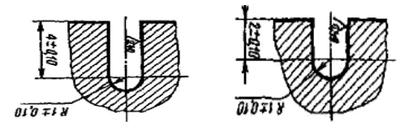
Разметку для нанесения надреза производят по макрошлифам, расположенным на гранях образца или заготовки для образцов. Все образцы вырезают поперек испытуемого участка сварного соединения. Ориентация надреза для образцов типов VI и IX должна соответствовать рис. 5.28, *а*, *в* и *г*, для образцов типов VII, VIII, X и XI – рис. 5.28, *б* и *д*. Ориентацию надреза для образцов типов VI и IX оговаривают в НТД. Вырезку образцов и заготовок для них ведут по табл. 5.9 – 5.10.

При испытании на ударный изгиб определяют ударную вязкость или работу удара, или процентное соотношение хрупкой и вязкой составляющих поверхности излома для металла шва, наплавленного металла, зоны сплавления и различных участков околошовной зоны при толщине основного металла 2 мм и более.

Ударную вязкость определяют в Дж/см^2 (кгс·м/см^2), если нет указаний в соответствующих стандартах или другой НТД.

Для испытания применяют образцы, форма, размер и качество поверхности которых соответствуют типам VI, VII, VIII (образцы с U-образным надрезом) или IX, X, XI (образцы с V-образным надрезом) (см. прил. 1). Предпочтительным является образец с V-образным надрезом.

По требованию, указанному в НТД, разрешается применять образцы типа VI с надрезом по рис. 5.27, *а* глубиной 2 мм или рис. 5.27, *б* – 4 мм.



а) б)

Рис. 5.27. Вид надреза образца типа VI, рекомендуемого НТД

Условное обозначение ударной вязкости или работы удара включает символ ударной вязкости (KC) или работы удара (K); вид надреза (концентратора) (U, V); температуру испытания (температуру 20 °С не проставляют); максимальную энергию удара маятника (максимальную энергию 300 Дж не проставляют); тип образца (типы образцов VI и IX не проставляют); место расположения надреза (Ш – шов, ЗС – зона сплавления, ЗТВ – зона термического влияния, t – расстояние от границы сплавления до оси надреза). Значение t оговаривают в стандартах или другой технической документации. При расположении надреза поперек металла шва зоны сплавления или зоны термического влияния в конце обозначения ставят буквы П.

Примеры условных обозначений:

1) Ударная вязкость, определяемая на образце типа VII, при температуре 100 °С, при максимальной энергии удара маятника 150 Дж, с надрезом вида U, расположенным по зоне сплавления:

$KCU^{+100}150$ *УШЗС.*

2) Ударная вязкость, определяемая на образце типа XI, при температуре минус 40 °С, при максимальной энергии удара маятника 50 Дж, с надрезом вида V, расположенным по зоне термического влияния на расстоянии t (мм) от границы сплавления до оси надреза:

KCV^{-40} 50 *XI ЗТВt.*

Таблица 5.12

Схема расположения заготовок для образцов типов XVI и XVII

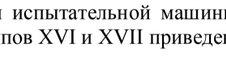
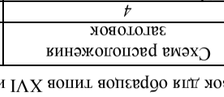
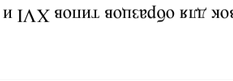
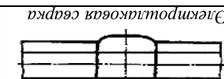
Позиция	Тип шва	Толщина основного металла или диаметр стержня, мм	Схема расположения заготовок	Указания по выборке заготовок
1	Все стыковые швы	Для образцов типа XVI – от 25 до 50		При стыковой контактной и газозонессовой сварке схема вырезки образцов такая же
2		Для образцов типа XVII – от 30 до 70		
3				

Таблица 5.13

Схема расположения заготовок для образцов типов XVI и XVII

Позиция	Тип шва	Толщина основного металла, мм	Схема расположения заготовок	Указания по вырезке заготовок
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	Все стыковые швы	Для образцов типа XVI – от 51 до 75		*С* – от 1 до 3 мм. При стыковой контактной и газозонессовой сварке выдержке образцов такая же
2		Для образцов типа XVII – от 71 до 100		
3				
4	Все стыковые швы	Для образцов типа XVI – более 75		*С* – от 1 до 3 мм

4 мм, C_1 – от 10 до 15 мм; a – толщина основного металла, мм; H – толщина углового шва, мм; q – подготовительный участок толщиной не менее пяти слоев; q_1 – участок измерения твердости толщиной не менее шести слоев. Для угловых швов, имеющих вогнутую или выпуклую поверхность, величину C отсчитывают от места максимальной вогнутости или выпуклости.

Твердость по Виккерсу измеряют по ГОСТ 2999-75. Нагрузка на индентор в зависимости от прочности металла участков сварного соединения и ширины зоны термического влияния должна составлять 98 Н (HV10) или 49Н (HV50). При наличии в стандартах или другой технической документации соответствующих указаний измеряют твердость по Виккерсу. Нагрузка на индентор при таких замерах может меняться от 0,04 до 4,9 Н.

Твердость по Бринеллю измеряют в соответствии с ГОСТ 9012-59, используя стальной шарик диаметром 2,5 или 5,0 мм.

Твердость по Роквеллу измеряют в соответствии с ГОСТ 9013-59 при сфероконическом алмазном инденторе (шкала А и С) или шариковом стальном наконечнике диаметром 1,5875 мм.

Твердость определяют для соединений, полученных сваркой плавлением или давлением из сталей различных марок и других металлических конструкционных материалов толщиной не менее 1,5 мм.

Твердость основного металла, различных участков зоны термического влияния и металла шва измеряют по одной или нескольким линиям, указанным на рис. 5.33. Если соединение выполнено из металлов различных марок, то твердость измеряют для каждого из них.

При измерениях, выполняемых в непосредственной близости от границы сплавления, рекомендуется проводить два-три измерения в соответствии с позицией I рис. 5.34 или дополнительные измерения по позиции II рис. 5.34.

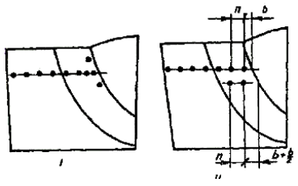


Рис. 5.34. Схема проведения измерения твердости в непосредственной близости от границы сплавления:
I – рекомендованные измерения;
II – дополнительные измерения

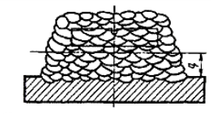
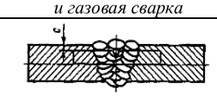
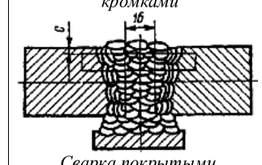
Допускается проведение измерений на участках сварного соединения, указанных на рис. 5.35.

Твердость по Виккерсу измеряют на микрошлифах или образцах с полированной поверхностью, если очертания шва видны без травления. Шероховатость поверхности таких образцов должна быть от 0,40 до 0,63 мкм. Твердость по Бринеллю или Роквеллу измеряют на макрошлифах или на образцах с шлифованной поверхностью, если очертания шва видны без травления. Шероховатость поверхности таких образцов должна быть от 1,25 до 2,00 мкм. В образцах должна быть соблюдена параллельность рабочей и опорной поверхностей.

Схему расположения образцов при испытании металла околошовной зоны для стыковых соединений и металла шва и околошовной зоны при испытании тавровых и нахлесточных соединений оговаривают в стандартах или другой технической документации.

Таблица 5.9

Схема вырезки образцов и заготовок

Позиция	Тип металла	Толщина основного металла, мм	Схема расположения образцов	Указания по вырезке образцов
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	Наплавленный металл. Ширина пластины, на которую производят наплавку, не менее 80 мм	Не менее 12	 *Сварка покрытыми электродами, в защитных газах и газовая сварка*	q – не менее пяти слоев. Образец должен располагаться выше пунктирной линии
2	Металл стыковых многопроходных швов	Не менее 12	 *Сварка покрытыми электродами, в защитных газах и газовая сварка*	C – не более 1,5 мм
3	Металл стыковых многопроходных швов. Перед сваркой производят наплавку кромок не менее чем в три слоя. Для наплавки применяют испытуемые материалы		*Сварка покрытыми электродами, в защитных газах и газовая сварка*	C – не более 1,5 мм
4	Металл стыковых многопроходных швов. Перед сваркой производят наплавку кромок и подкладки не менее чем в три слоя. Для наплавки применяют испытуемые материалы	Не менее 20	*Зазор между стыкуемыми кромками*  *Сварка покрытыми электродами, в защитных газах и газовая сварка*	C – не более 1,5 мм

5.3.6. Испытание металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения

Стойкость против механического старения характеризуется изменением ударной вязкости металла, подвергнутого старению по сравнению с ударной вязкостью его в исходном состоянии. О стойкости металла против механического старения судят по выраженному в процентах отношению этих величин или по абсолютному (нормативному) значению ударной вязкости после старения. Испытания проводят для металла шва и различных участков металла околошовной зоны.

Заготовки подвергают искусственному старению по методике: деформация растяжением из расчета получения (10 ± 0,5) % остаточного удлинения в пределах расчетной длины l, ограниченной кернами или рисками. Рекомендуется на поверхности образцов через каждые 10 мм наносить риски для проверки равномерности деформации по длине расчетной части.

После удлинения заготовку подвергают равномерному нагреву в течение 1 ч при температуре 250 °С (523 К) с последующим охлаждением на воздухе. Из рабочей части заготовок по рис. 5.29 – 5.30 или рис. 5.32 отбирают образцы типа VI или IX, а по рис. 5.31 – типа VII или X. Ось надреза должна совпадать с осью симметрии шва. Схему отбора образцов при расположении надреза в других участках сварного соединения оговаривают стандартами или другой технической документацией.

Предусмотренную данным пунктом методику старения применяют для сварных соединений из сталей. Методику старения для других металлов и сплавов, а также иную температуру нагрева или величину деформации для соединений из стали оговаривают стандартами или другой технической документацией.

Механическому старению подвергают заготовки, отбираемые от стыкового соединения в соответствии с рис. 5.29 и табл. 5.11. Ось симметрии заготовки должна совпадать с продольной осью шва или с осью будущего надреза (если испытание проводят не для металла шва). Расположение надреза по рис. 5.30 применяют при электрошлаковой сварке и в случаях, оговоренных выше. Заготовки по рис. 5.31 применяют при испытании сварных соединений из металла толщиной менее 12 мм. По требованию, оговоренному стандартами или другой технической документацией, для сварных соединений, выполняемых электрошлаковым процессом, разрешается применять заготовки по рис. 5.32.

Длину захватной части заготовок h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.

К условному обозначению образца прибавляют индекс «ст» (например, КСст III, КСст III).

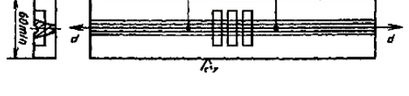


Рис. 5.29 Схема отбора образцов типа VI или IX

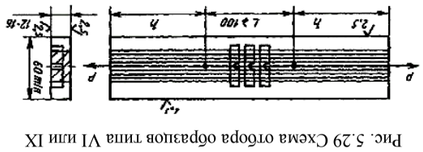


Рис. 5.30 Схема отбора образцов типа VI или IX

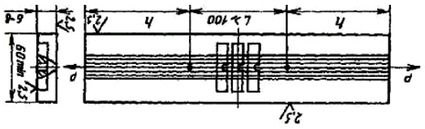


Рис. 5.31 Схема отбора образцов типа VII или X

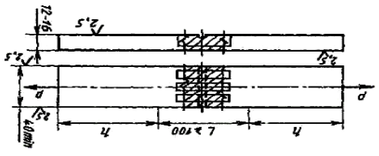
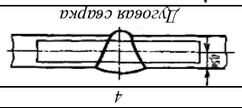
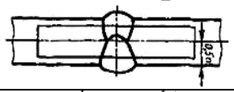


Рис. 5.32 Схема отбора образцов типа VI или IX

Таблица 5.11

Схема расположения заготовок отбираемых от стыкового соединения для механического старения

Позиция	Тип шва	Толщина основного металла, мм	Схема расположения заготовок	Указания по вырезке заготовок
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	Все стыковые швы	От 6 до 17	 *Дуговая сварка*	
2			 *Дуговая сварка*	

Продолжение табл. 5.11

1	2	3	4	5
3			*Дуговая сварка с принудительным формированием*	
4	Односторонние, одно- и многопроходные стыковые швы	Более 20	*Дуговая сварка*	С – от 1 до 3 мм
5			*Электрошлаковая сварка*	
6		От 56 до 350	*Электрошлаковая сварка*	С – не менее 8 мм. Вырезка заготовок по данной схеме должна оговариваться стандартами или другой технической документацией
7	Двусторонние одно- и многослойные стыковые швы	Более 17	*Дуговая сварка*	С – от 1 до 3 мм

Примечание – *а* – толщина основного металла, мм; *С* – расстояние от поверхности металла до края заготовки, мм

5.3.7. Измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла

При сварке сталей происходят изменения предела прочности основного металла в зонах теплового воздействия.

При определении твердости внешние нагрузки передаются на образец вдавливанием в его поверхность твердого наконечника в виде шарика, конуса или пирамиды, мало деформирующихся при испытаниях. Напряженное состояние, создаваемое при определении твердости, характеризуется большим значением коэффициента «жесткости», что делает возможным применение метода твердости для испытания материалов, хрупких

Окончание табл. 5.9

1	2	3	4	5
14			*Электрошлаковая сварка*	*С* – не менее 8 мм

Таблица 5.10

Схема вырезки образцов и заготовок

Позиция	Тип металла	Толщина основного металла, мм	Схема расположения образцов	Указания по вырезке образцов
1	Металл двусторонних, одно- и многослойных стыковых швов	От 18 до 40	*Дуговая сварка*	*С* – от 1 до 3 мм
2		От 41 до 60	*Дуговая сварка*	*С* – от 1 до 3 мм
3		От 61 до 350	*Дуговая сварка*	*С* – от 1 до 3 мм

Примечания к табл. 5.9 – 5.10:

1) *а* – толщина основного металла, мм; *С* – расстояние от поверхности металла до края образца (заготовки), мм.

2) При однослойных швах образцы, вырезаемые из различных участков, имеют практически одинаковую ударную вязкость. При многослойных швах ударная вязкость металла различных участков отличается друг от друга. Место вырезки образцов оговаривается стандартами или другой технической документацией. При отсутствии таких указаний образцы вырезают у поверхности шва.

3) Если в стандартах или другой технической документации нет специальных указаний, то при двусторонних швах образцы вырезают из шва, сваренного вторым, При двусторонних многослойных швах, выполняемых с переменным наложением проходов, образцы вырезают со стороны последнего из них.

4) Заготовки по позициям 1-4 табл. 5.9 используют для проверки качества сварочных материалов.

1	2	3	4	5
5	Металл стыковых швов всех типов	От 2 до 17	*Комплексная стыковая и газопрессовая сварка*	
6			*Дуговая и газовая сварка*	
7			*Дуговая и газовая сварка*	
8			*Дуговая сварка с принудительным формированием*	
9	Металл одностронних, одно- и многопроходных стыковых швов	От 18 до 40	*Дуговая сварка*	*С* – от 1 до 3 мм
10			*Электрошлаковая сварка*	
11		От 41 до 60	*Дуговая сварка*	*С* – от 1 до 3 мм
12			*Электрошлаковая сварка*	*С* – не менее 8 мм
13	Металл одно- сторонних, одно- и многопроходных стыковых швов	От 61 до 350	*Дуговая сварка*	*С* – от 1 до 3 мм

при других способах нагружения. Испытанием на твердость оценивается в основном сопротивление значительным пластическим деформациям.

При подготовке поверхности испытуемого изделия необходимо принять меры, исключающие возможное изменение твердости испытуемой поверхности. Шероховатость поверхности не должна быть грубее Ra = 0,32 мкм. Рабочая поверхность и поверхность наконечника должны быть сухими (без смазки).

При испытании на микротвердость применяют нагрузки 0,049; 0,098; 0,196; 0,490; 0,981; 1,962; 4,905 Н. Минимальная толщина образца или слоя должна превышать глубину отпечатка не менее чем в десять раз.

Твердость измеряют в поперечном сечении сварного соединения в соответствии с рис. 5.33 – 5.35.

Твердость измеряют по Виккерсу (HV), Бринеллю (НВ) и по Роквеллу – шкалам А, В и С (HRA, HRB и HRC), отдавая предпочтение замеру по Виккерсу.

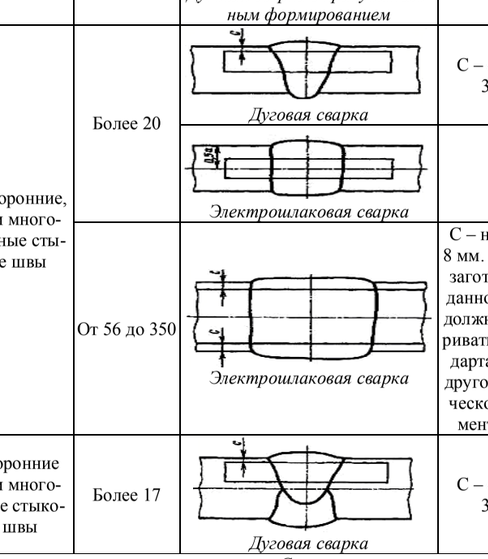


Рис. 5.33. Линии измерения твердости основного металла, различных участков ЗТВ и металла шва

На рис. 5.33 линии измерения твердости во всех случаях, кроме позиции VII, проходят через все участки сварного соединения. *С* – от 2 до

сплющивания (образцы типов XVIII и XVIIIa). Расстояние между внутренними концами металлических пробок должно быть равно $l + 2D$. Расстояние от оси шва до начала сплющиваемого участка должно быть не менее двух диаметров трубы.

Сварные соединения, выполненные точечной сваркой и электрозаклепками, испытывают на срез путем растяжения образца, тип XX, или на отрыв растяжением образца, тип XXI. При испытании электрозаклепок ширина образца во всех случаях равна 50 мм.

При испытании определяют разрушающую нагрузку на точку в ньютонах (килограммах).

Для предотвращения изгиба образцы типа XXI закрепляют в специальном приспособлении. Приспособление должно обеспечивать жесткость образца и возможность испытания его на разрывных машинах.

Сварные соединения листов, выполненные шовной сваркой, испытывают на срез путем растяжения образцов, тип XXII или XXIII.

При толщине металла до 1,0 мм испытывают образцы типа XXIII. При толщине металла более 1,0 мм выбор типа образца не устанавливают. При испытании определяют разрушающую нагрузку на образец в килограммах (ньютонах).

Вырезку образцов типов XX, XXII и XXIII из контрольных сварных соединений, сваренных точечной или шовной сваркой, производят согласно рис. 5.36. Шаг точек должен обеспечивать возможность вырезки образцов заданных размеров. Разрешается сваривать образцы с одной точкой в соответствии с типом XX.

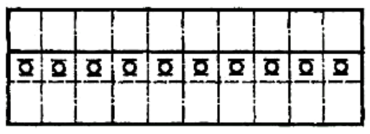


Рис. 5.36. Схема вырезки образцов типов XX, XXII и XXIII из контрольных сварных соединений

Определение прочности металла шва в стыковом соединении. При испытании прочности металла шва в стыковом соединении определяют его временное сопротивление.

Толщина образца типа XXIV должна равняться толщине основного металла. Диаметр захватной части образца типа XXV должен равняться толщине основного металла или диаметру свариваемых элементов.

Поперечная ось образцов типов XXIV и XXV должна совпадать с осью шва. Для односторонних швов разметку поперечной оси образца производят по узкой части шва (при электродуговой сварке) или по грату (при контактной или газопрессовой сварке).

Если заданный угол изгиба превышает 150°, то после изгиба по схеме, приведенной на рис. 5.38, *а*, *б*, *в*, изгиб можно продолжать между двумя параллельными нажимными плитами. Между концами образца устанавливают прокладку толщиной *d*, равной диаметру оправки (см. рис. 5.38, *г*). После удаления прокладки испытание проводят до соприкосновения сторон.

Таблица 5.14

Радиус закругления опоры *r* для образцов типов XXVI, XXVIa, XXVII и XXVIIa

a, мм	*r*, мм
До 2	2
Более 2 до 4	4
« 4 « 8	8
« 8 « 10	10
« 10 « 26	20
« 26	25

Для стыковых односторонних швов по требованию, оговоренному в стандартах или другой технической документации, в растянутой зоне располагают поверхностный наиболее широкий или корневой участок шва. При отсутствии специальных указаний в растянутой зоне должна располагаться поверхность шва.

Если в стандартах или другой технической документации нет иных указаний, то при двусторонних стыковых швах в растянутой зоне располагают для всех типов образцов, кроме XXVIIIa, шов, выполненный вторым. Для образцов типа XXVIIIa в растянутую зону попадает все сечение шва. При сварке многослойных двусторонних стыковых швов с поперечным наложением проходов в растянутой зоне располагают сторону, где был выполнен последний проход.

Соединения с подварочным швом относят к односторонним.

Испытания стыковых соединений труб на изгиб при поперечном (круговом) расположении шва проводят на образцах со снятым с наружной стороны утолщением.

При диаметре трубы D 20 мм применяют образцы в виде отрезков трубы.

При диаметре трубы свыше 20 до 45 мм применяют образцы в виде отрезка труб или плоские (сегментные) образцы.

При диаметре трубы свыше 45 мм применяют плоские (сегментные) образцы типов XXVII, XXVIIa и XXVIII; их размеры указаны в прил. 1.

Образцы не выправляют. Форму их в поперечном сечении определяет естественная кривизна трубы.

Испытание труб диаметром 60 мм и менее с поперечным (круговым) и продольным швами можно проводить на образцах типа XXIX или XXX. Утолщение шва с наружной стороны трубы механическим путем снимают до уровня основного металла.

5.6. Коррозионные испытания

Известно более 15 видов коррозии. Существуют понятия коррозионного растрескивания, коррозионной усталости. Сварные стыки металлоконструкций наиболее чувствительны к коррозийному воздействию вследствие физико-химической неоднородности по сравнению с основным металлом. Многообразие видов коррозии предопределяет значительное число методов испытаний [37].

5.7. Методы определения остаточных напряжений

Методы определения остаточных напряжений в сварных соединениях тесно связаны с измерением деформаций (см. подраздел 5.3.4). Различают механические и физические методы определения остаточных напряжений.

Механические методы основаны на полном или частичном освобождении металла от остаточных напряжений путем разрезки. Разгруженный от напряжений металл релаксирует (упруго деформируется). После измерения размеров баз, наносимых до разрезки и сварки, можно вычислить остаточные напряжения с помощью теории упругости.

К физическим методам относятся тензометрирование, рентгенография, методы Муара и фотоупругости, а также магнитные методы.

Преимуществом тензометрирования является возможность перевода перемещения в электрические сигналы. Тензометрические датчики, наклеенные в места измерения, измеряют перемещения при разрезке или высверливании сварного соединения.

При рентгенографическом методе измерения остаточных напряжений также измеряются перемещения, а именно: изменение межплоскостного расстояния кристаллической решетки. Преимущество метода - возможность неразрушающего контроля и измерения остаточных поверхностных напряжений. Недостаток состоит в сложности и длительности техники эксперимента и обработки данных [38].

Взаимосвязь магнитных характеристик металла с величиной напряжений кристаллической решетки обусловила разработку приборов неразрушающего контроля остаточных напряжений. Способ измерения остаточных напряжений основан на измерении зависимости магнитной проницаемости металла от величины напряжений кристаллической решетки с помощью магнитоупругого преобразования. Так как магнитная проницаемость металла зависит не только от величины напряжений, но и от структуры, которая при сварке значительно изменяется, то применяют дифференциальный магнитоупругий метод. В этом случае полюса магнитного преобразователя контактируют с контролируемым эталонным образами, причем эталонный образец имеет структурные одноименные зоны, но свободен от остаточных напряжений.

12. **Штремель, М. А.** Инженер в лаборатории (организация труда) / М. А. Штремель. – М. : Металлургия, 1983. – 128 с.

13. **Джонсон, Н.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон ; пер. с англ. Ф. Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с. : ил.

14. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В. Г. Блохин, О. П. Глудкин, А. И. Гуров, М. А. Ханин ; под ред. О. П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1997. – 232 с. : ил.

15. **Винарский, М. С.**, Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – Киев : Техника, 1975. – 168 с.

16. **Спирин, Н. А.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента : учеб. пособие / Н. А. Спирин, В. В. Лавров. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 257 с.

17. **Новик, Ф. С.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М. : Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с. : ил.

К разделу 3

18. **Webster, John G.** (Ed.) Measurements, Instrumentation and Sensors / John G. Webster (на англ.). – London, Brighton, Abingdon, New York, Philadelphia : CRC Press LLC, 1999. – 2584 p.

19. **Николаева, Е. В.** ФОПИ: Измерительные преобразователи. Принципы измерения физических величин : учеб. пособие / Е. В. Николаева, В. В. Макаров. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 96 с.

20. **Сулаберидзе, В. Ш.** Физические основы измерений. В 2 ч. Ч. 2. Эталоны и первичные преобразователи физических величин : учеб. пособие / В. Ш. Сулаберидзе, В. И. Юлиш. – СПб. : Балтийский ГТУ, 2011. – 215 с.

21. **Клаассен, К. Б.** Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М. : Постмаркет, 2002. – 352 с.

22. **Коновалов, А. В.** Теория сварочных процессов : учеб. для вузов / А. В. Коновалов, В. М. Неровный, А. С. Куркин. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 752 с.

К разделу 4

23. Металлургия дуговой сварки, взаимодействие металла с газами / И. К. Походня, И. Р. Явдошин [и др.] ; под ред. И. К. Походни. – Киев : Наук. думка, 1994. – 444 с.

24. Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов / под ред. И. К. Походни. – Киев : Наукова думка, 1990. – 224 с.

5.8. Физические методы испытаний

К технике проведения физических испытаний можно отнести определение величин физических характеристик сварных соединений и их зависимости от температуры, состава, давления. Физическими методами можно определить следующие характеристики: механические (плотность, упругие и неупругие свойства), теплофизические (коэффициенты теплопроводности, теплоемкости, теплоотдачи, характеристические температуры), электрические (удельное сопротивление), магнитные (магнитную восприимчивость и проницаемость, индукцию насыщения, коэрцитивную силу, остаточное намагничивание, потери на гистерезис) и др.

Использование таких методов измерения характеристик металлов типично для технического материаловедения, однако в настоящее время в связи с развитием новых направлений сварочной техники, позволяющей получать материалы с новыми свойствами, физические методы анализа находят все большее применение. С другой стороны, большинство указанных методов является структурно-чувствительными и их применение в сварочной технике может оказаться весьма эффективным и перспективным [39].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время система российского высшего профессионального образования ориентирована на повышение качества подготовки и уровня конкурентноспособности специалистов на рынке труда. Необходимые профессиональные качества и компетентность выпускников вуза формируются с помощью использования комплексного подхода к процессу организации учебной деятельности, включающего реализацию методических и практических задач обучения.

Для современного инженера необходимо приобретение профессиональных навыков исследования качественных характеристик металлопродукции с применением инструментальных методов. При этом знание об этих методах и умение ими пользоваться должны носить системный характер, быть ориентированы на понимание широким кругом инженерной общественностью, связанной как с производством, так и с потреблением и переработкой металлопродукции. Для этого в предлагаемом издании обобщен не только опыт практических исследований материалов на основе железа, но и использованы методологические подходы для лабораторных и практических занятий студентов металлургических и машиностроительных вузов.

Предлагаемые методы исследований и анализ полученных результатов представлены в рамках ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Учитывая разную оснащенность учебных заведений исследовательской и испытательной техникой, в пособии приведены сведения как о современном приборном обеспечении, так и традиционные инструменты для исследований, которые используются в лабораториях уже достаточно длительное время и знакомы металловедам исследователям многих поколений.

В пособии представлен достаточно информативный материал по препарированию объектов исследований с общирным рецептурным перечнем химических реактивов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

К разделу 1

1. **Бурлин, М. С.** Введение в современную точную методологию науки: Структуры систем знания : учеб. пособие для вузов / М. С. Бурлин, В. И. Кузнецов. – М. : Аспект Пресс, 1994 . – 304 с.

2. **Дикий, Н. А.** Основы научных исследований : учеб. пособие / Н. А. Дикий, А. А. Халатов. – Киев : Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 223 с.

3. **Глушко, И. М.** Основы научных исследований : учеб. пособие для вузов / Н. М. Глушко, В. И. Сидоренко. – Харьков : Вища школа, 1989, 223 с.

4. **Рузавин, Г. И.** Методология научного исследования : учеб. пособие для вузов / Г. И. Рузавин. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 317 с.

5. **Вашин, М. Л.** Планирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ / М. Л. Вашин. – М. : Экономика, 1969. – 232 с.

К разделу 2

6. **Грачев, Н. П.** Культура умственного труда. Беседы о рациональной организации познавательной деятельности / Н. П. Грачев. – Ярославль : Верхне-Волжское кн. изд-во, 1973. – 192 с.

7. **Гецов, Г. Г.** Как читать книги, журналы, газеты / Г. Г. Гецов. – М. : Знание, 1989. – 144 с.

8. **Бурдин, К. С.** Как оформить научную работу : метод. пособие / К. С. Бурдин, П. В. Веселов. – М. : Высш. шк., 1973. – 152 с.

9. **Демидова, А. К.** Пособие по русскому языку. Научный стиль. Оформление научной работы : учеб. пособие / А. К. Демидова. – М. : Рус. яз., 1991. – 201 с.

10. **Кузин, Ф. А.** Кандидатская диссертация. Методика написания, правила оформления и порядок защиты : практ. пособие для аспирантов и соискателей ученой степени / Ф. А. Кузин. – 2-е изд. – М. : Ось-89, 1998. – 208 с.

11. **Прихожько, П. Т.** Азбука исследовательского труда / П. Т. Прихожько. – Новосибирск : Наука, 1979. – 94 с.

речного сечения сварного соединения. К результатам испытания образцов разных типов устанавливают различные нормативные требования.

Выпуклость шва по обеим сторонам образца снимают механическим способом до уровня основного металла с шероховатостью до 6,3 мкм. В процессе удаления утолщения, если в НТД нет иных указаний, удаляют и подрезы основного металла. Строгать утолщение при образцах типов XXVI и XXVIa следует вдоль, а при образцах типов XXVII, XXVIIa, XXVIII и XXVIIIa – поперек шва. Разрешается строгать утолщение в любом направлении с последующим удалением рисок. Кромки образцов в пределах их рабочей части должны быть закруглены радиусом $\geq 0{,}1$ толщины образца, но не большим 2 мм, путем сглаживания напильником вдоль кромки.

Ось расположенного поперек сварного шва образца после окончательной обработки должна находиться на его середине.

Испытание образцов типов XXVI и XXVIa проводят, как указано на рис 5.38, *а*, типов XXVIIa и XXVIII – на рис. 5.38, *б*, типа XXVIIIa – на рис. 5.38, *в*. Расстояние между опорами К (см. рис. 5.38, *б*) должно быть равно: для образцов типа XXVII – $D + 2{,}5a$), для образцов типа XXVIIa – $D + 3a$, для образцов типа XXVIII – $3D$. Расстояние для образцов типов XXVI и XXVIa указано на рис. 5.38, *а*, а типа XXIIIa – на рис. 5.38, *в*.

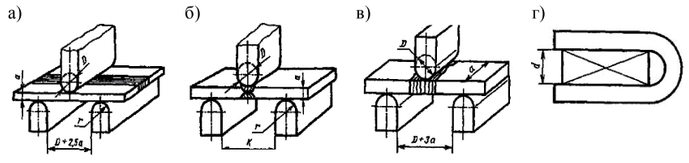


Рис 5.38. Схемы изгиба образцов

Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец. Испытания проводят со скоростью не более 15 мм/мин на испытательных машинах или прессах с использованием опорных роликов.

Диаметр оправки D может изменяться в зависимости от марки стали, толщины листов, способа термообработки и должен оговариваться в соответствующей НТД. При отсутствии специальных указаний диаметр оправки принимают равным двум толщинам основного металла. Радиус закругления опоры r для образцов типов XXVI, XXVIa, XXVII и XXVIIa выбирают по табл. 5.14. Для образцов типа XXVII r = 25 мм. Для образцов типа XXVIIIa радиус не установлен.

Для двусторонних швов размеру поперечной оси производят после шлифовки и травления боковых поверхностей образца по макрошлифу или посередине выпуклости шва, сваренного со второй стороны.

Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), определяют по формуле

$$\sigma_в = k\frac{P}{F},$$

где k – поправочный коэффициент; P – максимальное усилие, Н (кгс); F – площадь поперечного сечения образца в наименьшем сечении до испытания, мм^2 (м^2).

Для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей коэффициент k принимают равным 0,9. Для других металлов значение коэффициента k устанавливают соответствующей технической документацией.

5.3.9. Испытание сварного соединения на статический изгиб (загиб)

Испытания проводят для стыковых соединений. При испытании определяют способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом изгиба α (рис. 5.37), при котором в растянутой зоне образца образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытания. Если длина трещин, возникающих в процессе испытания в растянутой зоне образца, не превышает 20 % его ширины, но не более 5 мм, то они не являются браковочным признаком. Определяют также место образования трещины или разрушения (по металлу шва, металлу околошовной зоны или основному металлу).

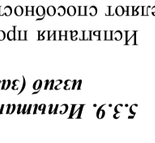


Рис. 5.37. Схема определения угла загиба

В зависимости от требований, установленных соответствующей НТД, испытания проводят до достижения нормируемого угла изгиба или угла изгиба, при котором образуется первая видимая браковочным признаком трещина, до параллельности или соприкосновения сторон образца. Угол изгиба при испытании до образования первой трещины замеряют в ненагруженном состоянии с погрешностью до ± 2°.

Форма и размеры плоских образцов должны соответствовать указанным в прил. 1 типам XXVI, XXVIa, XXVII, XXVIIa, XXVIII, XXVIIIa.

Толщина образцов типов XXVI, XXVII и XXVIII при толщине основного металла 50 мм должна равняться толщине основного металла. При толщине металла более 50 мм толщину образца устанавливают в НТД. Образцы типов XXVIa, XXVIIa и XXVIIIa, толщина которых меньше толщины основного металла, допускается вырезать в различных участках поперечного сечения сварного соединения. К результатам испытания образцов различных типов устанавливают различные нормативные требования.

Выпуклость шва по обеим сторонам образца снимают механическим способом до уровня основного металла с шероховатостью до 6,3 мкм. В процессе удаления утолщения, если в НТД нет иных указаний, удаляют и подрезы основного металла. Строгать утолщение при образцах типов XXVI и XXVIa следует вдоль, а при образцах типов XXVII, XXVIIa, XXVIII и XXVIIIa – поперек шва. Разрешается строгать утолщение в любом направлении с последующим удалением рисок. Кромки образцов в пределах их рабочей части должны быть закруглены радиусом $\geq 0{,}1$ толщины образца, но не большим 2 мм, путем сглаживания напильником вдоль кромки.

Ось расположенного поперек сварного шва образца после окончательной обработки должна находиться на его середине.

Испытание образцов типов XXVI и XXVIa проводят, как указано на рис 5.38, *а*, типов XXVIIa и XXVIII – на рис. 5.38, *б*, типа XXVIIIa – на рис. 5.38, *в*. Расстояние между опорами К (см. рис. 5.38, *б*) должно быть равно: для образцов типа XXVII – $D + 2{,}5a$), для образцов типа XXVIIa – $D + 3a$, для образцов типа XXVIII – $3D$. Расстояние для образцов типов XXVI и XXVIa указано на рис. 5.38, *а*, а типа XXIIIa – на рис. 5.38, *в*.

Рис 5.38. Схемы изгиба образцов

Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец. Испытания проводят со скоростью не более 15 мм/мин на испытательных машинах или прессах с использованием опорных роликов.

Диаметр оправки D может изменяться в зависимости от марки стали, толщины листов, способа термообработки и должен оговариваться в соответствующей НТД. При отсутствии специальных указаний диаметр оправки принимают равным двум толщинам основного металла. Радиус закругления опоры r для образцов типов XXVI, XXVIa, XXVII и XXVIIa выбирают по табл. 5.14. Для образцов типа XXVII r = 25 мм. Для образцов типа XXVIIIa радиус не установлен.

способов сварки и сварочных материалов и параметров сварочных процессов, т.е. для пределов изменения параметров термического, металлургического и деформационного циклов сварки данного металла.

Такие испытания проводят обычно на этапе производства сварных конструкций. При исследованиях новых сварочных процессов или новых материалов круг методов оценки свариваемости значительно шире: методы исследования кинетики фазовых превращений в условиях термодеформационных циклов сварки, технологических проб и определения сопротивляемости образованию сварочных трещин. Методы исследования кинетики фазовых перемещений и сварочных трещин описаны выше.

Технологические пробы применяют для исследования влияния технологии и режимов сварки на свойства и структуру зоны термического влияния. Наиболее распространены валиковая проба МВТУ, проба Чабелки, клиновая сварочная проба ИМЕТ, тепловая проба МАТИ и др. Валиковая проба МВТУ (ГОСТ 13585-68) состоит в наплавке валиков с различной погонной энергией: дуги на пластину, собранную из брусков размерами (14...30)×(12...18)×(200...450) мм, вырезанных из листов исследуемого металла. После наплавки, разламывания брусков и обработки изготовляют образцы для испытаний на ударный или статический изгиб. По результатам испытаний ударной вязкости зоны термического влияния можно определить: диапазон допустимых режимов сварки, обеспечивающих наибольшую вязкость зоны термического влияния; критическую температуру хрупкости; разброс значений твердости в зоне термического влияния. Проба Чабелки подобна валиковой пробе и отличается от нее тем, что надрез образца ударной вязкости располагают на различном расстоянии от оси шва. Такая проба позволяет оценить влияние разупрочнения и старения в зоне термического влияния. Клиновая сварочная проба ИМЕТ выполнена из пластины в виде клина с катетами 110 и 150 мм, на ребро которой наплавляют валик в направлении к острому углу. При этом изменяется скорость охлаждения металла в околошовной зоне. Анализ микроструктуры и твердости позволяет установить критическую скорость охлаждения.

Тепловая проба МАТИ предназначена для исследования склонности алюминиевых сплавов к водородному вспучиванию в околошовной зоне. Проба представляет собой образец диаметром 15 мм и длиной 25 мм, нагреваемый в печи до 580...585 °С в течение 15 мин. Металлографический анализ шлифа такой пробы позволяет установить макронесплошности и расслоения, т.е. качественно оценить пригодность алюминиевого сплава к сварке.

На образцах, вырезанных из труб, выполненных стыковой контактной сваркой, грат должен быть снят с наружной и внутренней сторон трубы до уровня основного металла.

Результаты испытания образцов типов XXIX и XXX определяют величиной b (рис. 5.39) при появлении на поверхности образца трещины. Характер трещины должен соответствовать указанному выше.

Если трещина не образуется, то испытание проводят до соприкосновения сторон.

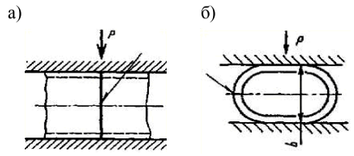


Рис 5.39. Схема расположения сварного шва относительно места приложений нагрузки: а – образец с круговым швом; б – образец с продольным швом

Испытание проводят путем деформации образца под прессом сжимающей нагрузкой.

Обязательным условием проведения испытания является плавность нарастания усилия на образец. Скорость испытания должна соответствовать указанной выше.

При испытании образцов с круговым швом последний располагают по оси приложения сжимающей нагрузки (рис. 5.39, *а*), а при испытании образца с продольным швом шов располагают в диаметральной плоскости, перпендикулярной действию сжимающей нагрузки (см. рис. 5.39, *б*).

Если в образце, предназначенном для испытания кругового шва, есть продольный шов, он должен располагаться вне растянутой зоны.

Испытание соединений стержней кругового или многогранного сечения, при отсутствии в НТД других требований, проводят на следующих образцах:

- при диаметре стержня или диаметре окружности, вписанной в многогранное сечение ≤ 20 мм, испытывают отрезки натурального соединения со снятым утолщением;

- при диаметре стержня или вписанной окружности более 20 до 50 мм – отрезки натурального соединения со снятым утолщением или плоские образцы типа XXVIIa, толщину которых принимают равной половине диаметра круглого стержня или вписанной в сечение многогранного стержня окружности;

Испытания заканчивают построением диаграммы кривой усталости в координатах «напряжение σ – число циклов N» в пропорциональном или логарифмическом масштабах (рис. 5.42).

Кривая вначале быстро падает, а потом приближается к прямой, параллельной горизонтальной оси. Горизонтальный участок, т.е. максимальное напряжение, не вызывающее разрушения при бесконечно большом числе перемен нагрузки, соответствует пределу выносливости. Пределы выносливости выражают в номинальных напряжениях и обозначают σ_R. Предел выносливости можно определить по формуле

$$\sigma_R = Pl / (Rd^3),$$

где P – вес груза, Н (кгс); l – длина образца, м (мм); R – коэффициент асимметрии цикла.

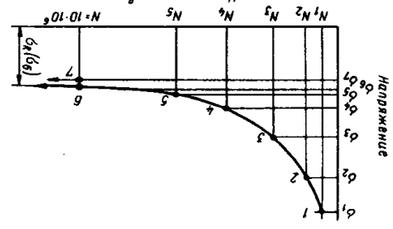


Рис. 5.42. Кривая усталости

Следовательно, при напряжениях меньше σ_R материал, не разрушаясь, выдерживает больше число циклов. Предел выносливости обычно считают достигнутым при числе циклов $N = 5 \cdot 10^6$ (если испытания проводились при комнатной температуре).

Характер влияния сумарной относительной площади дефектов включений (дефектности $q = \Sigma S_q / S_p$, %) на прочность сварных стыков ($\sigma_в$) по отношению к прочности основного металла σ_{OM} изображен на рис. 5.43:

1) Если $\Sigma S \le 5$-10 % (а иногда 20-30 %), то эти дефекты мало влияют на несущую способность стыков, особенно при швах с усилением, при статических нагрузках.

2) Для малопластичных материалов при динамической или вибрационной нагрузках линейная зависимость между потерей работоспособности и величиной дефектов наружается и при малых дефектах может возникать усталость.

3) 5-10 % дефектов не оказывают существенного значения на усталость, но при наличии остаточного напряжения они могут вызвать разрушение.

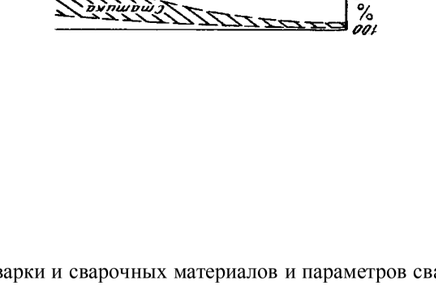


Рис. 5.43. Характер влияния сумарной относительной площади дефектов включений на прочность сварных стыков по отношению к прочности основного металла

На рис. 5.44 – 5.47 приведены исследования влияния различных факторов (режимов штампов, режимов и видов сварки, пористости) на усталостную прочность штампосварных титановых конструкций [4].

Образцы для исследования малоцикловой усталости изготавливались в соответствии с ГОСТ 25.502-79 тип III. Испытания проводили на универсальной разрывной машине фирмы «LOSENHASEN».

Малоцикловые испытания проводились на трех группах одинаковых образцов с различными амплитудами напряжений и с одинаковым для всех трех групп средним напряжением цикла (см. рис. 5.44).

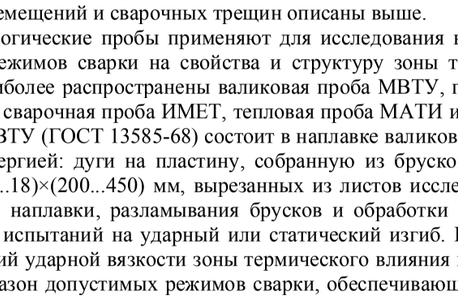


Рис. 5.44. Диаграмма циклического изменения напряжений

- при диаметре стержня или вписанной в сечение многогранника окружности более 50 мм – плоские образцы типа XXVIIa, толщину основного металла которых принимают равной половине диаметра круглого стержня или вписанной в сечение многогранника окружности.

Во всех случаях рабочая длина образца должна быть ≥ 250 мм, а радиус закругления граней многогранника должен равняться 0,1 толщины образца, но не более 2 мм.

5.3.10. Испытание сварного соединения на ударный разрыв

Испытание на сопротивление ударному разрыву проводят для сварных стыковых соединений листов толщиной до 2 мм.

Форма и размеры образца должны соответствовать типу XXXI (см. прил. 1). При испытании материалов высокой прочности разрешается изменять конструкцию захватной части образца.

Испытание проводят на маятниковых копрах с приспособлением для закрепления плоских образцов. Удельную ударную работу a_y определяют по формуле

$$a_y = \frac{A_y}{V},$$

где A_y – работа удара, затраченная на разрыв образца, Дж (кгс·м); V – объем расчетной части образца, равный произведению толщины основного металла (a) на расчетную длину и ширину образца, см^3(м^3).

5.3.11. Повторно-статические испытания на усталость

Повторно-статические испытания на усталость производят как для пластичных, так и для малопластичных и хрупких материалов (ГОСТ 25.502-79).

Предел выносливости чаще всего определяется на вращающемся образце (гладком или с надрезом) в условиях знакопеременного (симметричного) цикла ($\sigma_{max} = \sigma_{min}$), т.е. с приложением изгибающей нагрузки, вызывающей знакопеременные напряжения (растяжение – сжатие); при этом число циклов знакопеременных нагружений может быть установлено достаточно большим.

Испытания на усталость могут быть длительные и ускоренные. Длительные испытания производят на круглых образцах.

Схема испытания на машинах, работающих по методу консольного изгиба, показана на рис. 5.40, *а*. Один конец образца *2* зажимается во вращающемся шпинделе *1*, а на другой надевается подшипник *3*, к которому подвешивается груз *P*. При вращении образец подвергается повторно-переменному нагружению. При каждом обороте изменение значения напря-

жения совершит полный цикл от $\sigma_{макс}$ через нуль к $\sigma_{мин}$ и т.д. (рис. 5.40, *б*). В этом случае изгибающие моменты распределяются по закону треугольника.

При заданной нагрузке испытание продолжается до разрушения образца, при этом регистрируется число выдержанных циклов.

После разрушения образца его заменяют другим и уменьшают или увеличивают груз. Так, испытания повторяют несколько раз, определяя каждый раз число циклов, доводящее образец до разрушения.

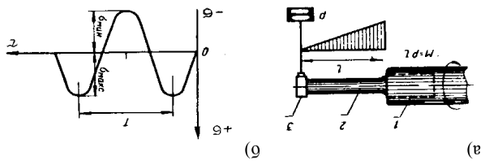


Рис. 5.40. Длительные испытания на усталость: а – схема испытания; б – диаграмма циклического изменения напряжений

Для определения предела выносливости испытывают целую серию (не менее шести) одинаковых образцов, изготовленных из одного материала (рис. 5.41).

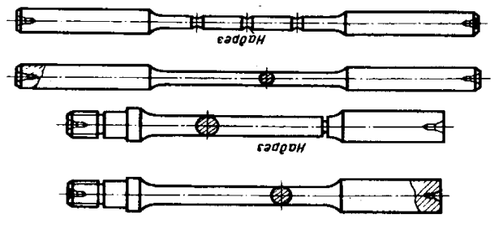


Рис. 5.41. Образцы для испытаний на усталость изгибом: а – консольного типа; б – то же, с надрезом; в – для испытаний при постоянном изгибающем моменте (по методу чистого изгиба); г – то же, с надрезом

Первый образец испытывают при напряжении σ_1 (для стали $\sigma_1 = 0{,}6\sigma_в$, а для легких сплавов $\sigma_1 = 0{,}4\sigma_в$); при этом определяют число циклов N_1, вызывающее разрушение образца. Для второго и последующих образцов напряжения σ_2, σ_3 и т.д. каждый раз снижают или повышают на 19,62 или 39,24 МПа (на 2 или 4 кгс/мм^2) в зависимости от числа циклов, вызвавшего разрушение первого образца. Разность между напряжениями для двух последних образцов проверяемой серии не должна превышать 19,62 МПа. С уменьшением нагрузки число выдержанных циклов возрастает.

Минимальная амплитуда:

$$\sigma_a^{ср} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 48 \text{ МПа}; \ \sigma_{max} = 0{,}64\sigma_{вр} = 702 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{min} = 0{,}0{,}55\sigma_{вр} = 606 \text{ МПа}; \ \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 654 \text{ МПа}.$$

Средняя амплитуда:

$$\sigma_a^{ср} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 118 \text{ МПа}; \ \sigma_{max} = 0{,}7\sigma_{вр} = 772 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{min} = 0{,}49\sigma_{вр} = 536 \text{ МПа}; \ \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 654 \text{ МПа}.$$

Максимальная амплитуда:

$$\sigma_a^{ср} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 218 \text{ МПа}; \ \sigma_{max} = 0{,}8\sigma_{вр} = 87{,}2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{min} = 0{,}4\sigma_{вр} = 436 \text{ МПа}; \ \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 65{,}4 \text{ МПа}.$$

5.4. Технологические испытания

Если для основного металла технологические испытания дают возможность оценить поведение металла при пластической деформации, при сварке, при механической обработке, при износе и т.п., то такие испытания характерны и для сварных соединений. С точки зрения сварочной техники, поведение металла при сварке является оценкой его свариваемости. В отличие от измерения отдельных характеристик при технологических испытаниях для определения свариваемости оценивается общее состояние сварного соединения.

К технологическим испытаниям относят измерение угла загиба, испытание сварного соединения на сплющивание (ГОСТ 6996-66), а также испытания на способность сварных соединений к глубокой вытяжке, например в условиях сверхпластической деформации, испытания на обрабатываемость резанием, на износ, особенно для техники износостойкой наплавки и напыления.

5.5. Методы оценки свариваемости

Конечная цель исследований сварных соединений состоит в разработке критериев и расчетных методов определения режимов сварки, обеспечивавших эксплуатационную надежность сварной конструкции. Для оценки свариваемости в принципе достаточно измерить характеристики сварного соединения и сопоставить их с одноименными характеристиками основного металла. Оценка будет справедлива для диапазона выбранных

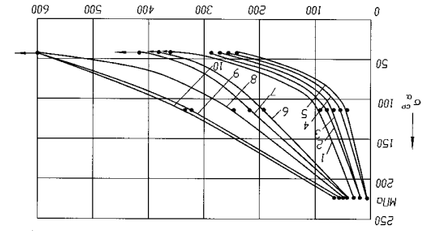


Рис. 5.45. Кривые малоциклоной усталости образцов из сплава ВТ20 в зависимости от температуры формообразования, состояния поверхности (1 – состояние поставки, 2 – 995 °С; 3 – 995 °С и травление; 4 – 920 °С; 5 – 920 °С и травление; 6 – 950 °С, 7 – 950 °С и травление) и среды отжига при 630 °С 1 ч (8 – в вакууме; 9 – в аргоне; 10 – в воздушной атмосфере), формообразование при 950 °С и травление перед отжигом

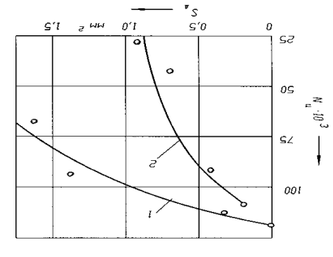


Рис. 5.46. Зависимость числа циклов $N_ц$ до разрушения сварных образцов сплава ВТ20 от условной суммарной площади пор $S_д$ в сварном шве и места их расположения ($\sigma_в = (600 - 200)/2$ МПа): 1 – поры у поверхности; 2 – поры в центре

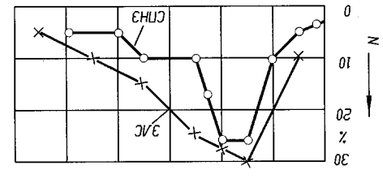


Рис. 5.47. Кривые распределения числа циклов до разрушения штампосварных конструкций из сплава ВТ20 в зависимости от вида сварки: ЭЛС – электронно-лучевая сварка; СПНЭ – сварка погруженным неплавящимся электродом

B23K 37/00	Вспомогательные устройства или способы, специально не предназначенные для способов, предусмотренных только в одной из предшествующих групп (предохранительные щитки для сварщиков A61F 9/00; для металлообрабатывающих станков B23Q; прочие предохранительные щитки F16P 1/06)
Схема кодирования для групп B23K 1/00-B23K 31/00, относящаяся к изделиям, полученным пайкой, сваркой или резкой, или к материалам, подвергаемым пайке, сварке или резке. Индексы кодирования – «несвязанные»	
B23K101:00	Изделия, изготовленные пайкой, сваркой или резкой
B23K103:00	Материалы, подвергаемые пайке, сварке или резке

B23K 1/00 – Пайка металлов, например пайка твердым припоем, или распаивание (B23K 3/00 имеет преимущество; отличающиеся применением специальных материалов или средств B23K 35/00; пайка погружением для изготовления печатных схем H05K 3/34)	
1/002	пайка с использованием индукционного нагрева
1/005	пайка с использованием лучистой энергии
1/008	пайка в печи (B23K 1/012 имеет преимущество)
1/012	пайка с использованием горячего газа
1/015	пайка в паро-конденсатной фазе
1/018	удаление пайки, удаление расплавленного припоя или других отходов
1/06	с использованием колебаний, например ультразвуковых
1/08	погружение в расплавленный припой
1/14	специально предназначенная для пайки швов (изготовление труб иными способами, чем пайкой, B21C)
1/16	продольных
1/18	поперечных
1/19	с учетом свойств материалов, подвергаемых пайке
1/20	предварительная обработка изделий или поверхностей, подлежащих пайке (подготовка поверхности изделий особыми способами см. в классах, соответствующих способам обработки или обрабатываемым материалам, например в C04B, C23C)

H05K 3/00 – Способы и устройства для изготовления печатных схем (фотомеханическое изготовление текстурированных поверхностей или поверхностей с рисунком, материалы и оригиналы для этого, аппаратура, специально предназначенная для этого, вообще G03F; использование для изготовления полупроводниковых приборов H01L)	
3/02	путем нанесения токопроводящего материала на поверхность изоляционного основания, а затем удаления его с тех участков этой поверхности, которые не должны служить для прохождения тока или для экранирования
3/04	удаление токопроводящего материала механическим путем, например путем пробивки
3/06	удаление токопроводящего материала химическим или электролитическим способом, например фототравлением
3/07	электролитическим способом
3/08	удаление токопроводящего материала с помощью электрических разрядов, например искровой эрозии

25. **Рыкалин, Н. Н.** Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М. : Машгиз, 1951. – 296 с.

26. **Шоршоров, М. Х.** Фазовые превращения и изменение свойств стали при сварке. Атлас. / М. Х. Шоршоров, В. В. Белов. – М. : Наука, 1972. – 219 с.

27. **Кан, Р. У.** Физическое металловедение : в 3 т. Т. 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах, и сплавы с особыми физическими свойствами / Р. У. Кан, П. Т. Хаазен. – М. : Металлургия, 1987. – 623 с.

28. **Багрянский, К. В.** Теория сварочных процессов / К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов. – Киев : Высш. шк., 1976. – 424 с.

29. **Гривняк, И.** Свариваемость сталей / пер. со словац. Л. С. Гончаренко ; под ред. Э. Л. Макарова. – М. : Машиностроение, 1984. – 216 с.

К разделу 5

30. **Кан, Р. У.** Физическое металловедение. В 3 т. Т. 3. Физико-механические свойства металлов и сплавов / Р. У. Кан, П. Т. Хаазен. – М. : Металлургия, 1987. – 663 с.

31. **Чепрасов, Д. П.** Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений : учеб. пособие / Д. П. Чепрасов. – Барнаул : Алт. гос. тех. ун-т им. И. И. Ползунова, 2011. – 108 с.

32. **Горелик, С. С** Рентгенографический и электронно-оптический анализ : учеб. пособие для вузов / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – 3-е изд. доп. и перераб. – М. : МИСИС, 1994. – 328 с.

33. **Лившиц, Л. С.** Металловедение для сварщиков / Л. С. Лившиц. М. : Машиностроение, 1979. – 253 с.

34. **Уманский, Я. С.** Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков [и др.]. – М. : Металлургия, 1982. – 632 с.

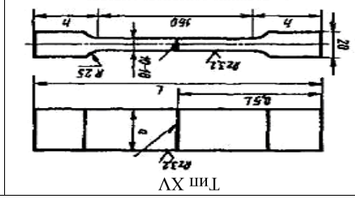
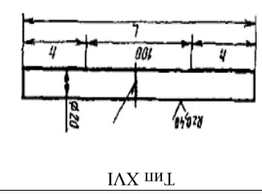
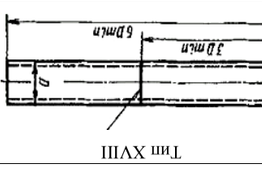
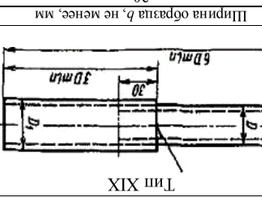
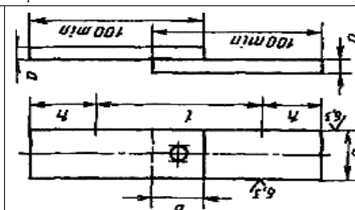
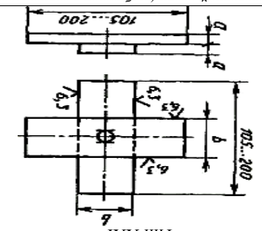
35. **Блюменлуэр, Х**. Испытание материалов : справ. / Х. Блюменлуэр ; пер. с нем. – М. : Машиностроение, 1979. – 448 с.

36. **Фридман, Я. Б.** Механические свойства металлов : моногр. В 2 ч. Ч. 2. Механические испытания. Конструкционная прочность / Я. Б. Фридман. – М. : Машиностроение, 1972. – 368 с.

37. **Розенфельд, И. Л.** Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. Теория и практика / И. Л. Розенфельд К. А Жигалова. – М. : Металлургия, 1966.

38. Неразрушающий контроль и диагностика : справ. / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.] ; под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2003. – 656 с. : ил.

39. Методы исследований микроструктуры и механических свойств металлов и сплавов : учеб. пособие / Л. М. Полторацкий, А. Б. Юрьев, О. Д. Сидорова, В. Е. Громов. – Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2008. – 163 с.

Тип XV	Тип XVI
	
a – толщина основного металла	
Тип XVII	Тип XVIII
	
Тип XVIIIa	Тип XIX
	
Толщина основного металла *a*, мм	Ширина образца *b*, не менее, мм
До 1 включ.	20
Более 1 до 2 включ.	25
« 2 « 3 «	30
« 3 « 4 «	35
« 4 « 5 «	40
« 5	45
Тип XX	Тип XXI
	

Примечание: *a* – толщина основного металла, мм; *h* – длина захватной части (выбирают в зависимости от конструкции испытательной машины), мм; *l* – длина рабочей части образца, мм

ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.

ГОСТ 14766-69 Машины и приборы для определения механических свойств материалов. Термины и определения.

Стандарты: безопасность труда, требования безопасности к сварочному оборудованию

ГОСТ 12.4.001-80 Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Термины и определения.

ГОСТ 12.4.023-84 Система стандартов безопасности труда. Щитки защитные лицевые. Общие технические требования и методы контроля.

ГОСТ Р 12.4.238-2007 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. Общие технические условия.

ГОСТ 4997-75 Ковры диэлектрические резиновые. Технические условия.

ГОСТ 12.4.010-75 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия

Стандарты: методы химического анализа сварочных материалов

ГОСТ 11930.0-79 Материалы наплавочные. Общие требования к методам анализа.

ГОСТ 11930.1-79 Материалы наплавочные. Методы определения углерода.

ГОСТ 11930.2-79 Материалы наплавочные. Метод определения серы.

ГОСТ 11930.3-79 Материалы наплавочные. Метод определения кремния.

ГОСТ 11930.4-79 Материалы наплавочные. Метод определения хрома.

ГОСТ 11930.5-79 Материалы наплавочные. Методы определения марганца.

ГОСТ 11930.6-79 Материалы наплавочные. Методы определения никеля.

ГОСТ 11930.7-79 Материалы наплавочные. Методы определения железа.

ГОСТ 11930.8-79 Материалы наплавочные. Метод определения фосфора.

ГОСТ 11930.9-79 Материалы наплавочные. Методы определения бора.

ГОСТ 11930.10-79 Материалы наплавочные. Метод определения вольфрама.

ГОСТ 11930.11-79 Материалы наплавочные. Метод определения молибдена.

ГОСТ 11930.12-79 Материалы наплавочные. Метод определения сурьмы.

ГОСТ 27974.0-96 Флюсы сварочные плавленые. Общие требования к методам анализа.

ГОСТ 21639.0-93 Флюсы для электрошлакового переплава. Общие требования к методам анализа.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

КЛАССИФИКАТОР МКИ ПО СВАРКЕ

B23K – Пайка или распаивание; сварка; плакирование или нанесение покрытий пайкой или сваркой; резка путем местного нагрева, например газопламенная резка; обработка металла лазерным лучом (изготовление изделий с металлическими покрытиями экструдированием металла B21C 23/22; нанесение облицовки или покрытий литьем B22D 19/08; литье погружением B22D 23/04; изготовление составных слоистых материалов путем спекания металлического порошка B22F 7/00; устройства для копирования и регулирования на металлообрабатывающих станках B23Q; покрытие металлов или материалов металлами, не отнесенными к другим классам C23C; горелки F23D).

Примечание:

1) Электрические схемы, специально предназначенные для этих целей, отнесены к данному подклассу.

2) В данном подклассе под используемым термином пайка следует понимать: соединение металлов с использованием припоя и применением тепла без расплавления соединяемых частей.

3) В группах B23K 1/00-B23K 31/00 желательно добавлять после двойной наклонной черты индексы кодирования групп B23K 101:00 или B23K 103:00, которые используются как «несвязанные» индексы.

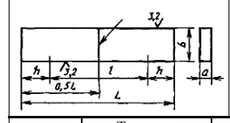
Содержание

ПАЙКА	B23K 1/00,B23K 3/00
СВАРКА	
Отличающаяся приспособлениями для получения тепла	
с помощью пламени	B23K 5/00
с помощью электричества	B23K 9/00,B23K 11/00, B23K 13/00
с помощью плазмы	B23K 10/00
с помощью ядерных частиц	B23K 15/00,B23K 17/00
с помощью алюминотермических устройств	B23K 23/00
с помощью лазерного луча	B23K 26/00
с помощью прочих устройств	B23K 25/00,B23K 28/00
Отличающаяся использованием удара или давления	B23K 20/00
Отличающаяся другими особенностями, способы, не ограниченные ни одной специальной группой этого подкласса	B23K 28/00
РЕЗКА ПУТЕМ МЕСТНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕПЛА; РАЗДЕЛЕНИЕ	B23K 7/00,B23K 9/00, B23K15/00,B23K26/00, B23K 28/00,B23K 11/00
УДАЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ, СНЯТИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ	B23K 7/00
МАТЕРИАЛЫ; ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА	B23K 35/00,B23K 37/00
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ	B23K 31/00,B23K 33/00

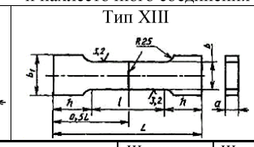
Испытание сварного соединения на статическое растяжение

А. Определение прочности наиболее слабого участка стыкового и нахлесточного соединения

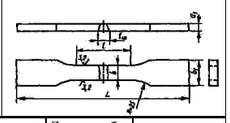
Тип XII



Тип XIII



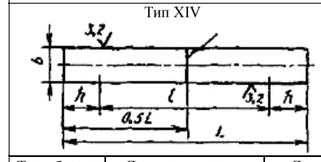
Тип XIIIa



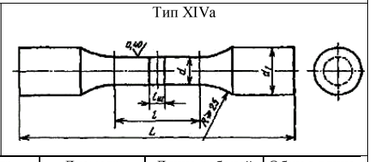
Тип образца	Толщина основного металла a	Толщина образца a_1	Ширина рабочей части образца b	Ширина захватной части образца b_1	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
XII, XIII	До 6	Равна толщине основного металла	15 ± 0,5	25	50	$l + 2h$
	Св. 6 до 10 включ.		20 ± 0,5	30	60	
	« 10 « 25 «		25 ± 0,5	35	100	
	« 25 « 50 «		30 ± 0,5	40	160	
	« 50 « 75 «		35 ± 0,5	45	200	
XIIIa	Равна и менее 20	Равна толщине металла	Не менее 1, 2 толщины образца, но не менее 10 и не более 50	$b + 12$	$l_Ш + 60$	Равна или более 200
	Св. 20 до 40	Равна толщине металла или 20				
	Св. 40	20 или 40				

Примечания: $l_Ш$ – максимальная ширина шва. Длину захватной части образца h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины. Размеры образцов типов XII и XIII при толщине основного металла более 75 мм устанавливают стандартом или другой НТД. Длину рабочей части образца можно увеличить, если конструкция испытательной машины делает невозможным испытание образца предписанной длины

Тип XIV



Тип XIVa



Тип образца	Диаметр круглого стержня или диаметр окружности, вписанной в многогранный стержень, b	Диаметр захватной части образца d_1	Диаметр рабочей части образца d	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
XIV	До 10 Св. 10 до 25 « 25 « 50 « 50 « 70	-	D_C или b	60 100 160 200	$l+2h$
XIVa	Не ограничивается	D_C или B, но не более 40	$0{,}8d_1$	$l_Ш + 60$	≥ 200

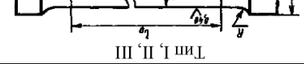
Примечания: $l_Ш$ – максимальная ширина шва. Длину захватной части h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины. При D_C более 75 мм размеры образца типа XIV устанавливают в стандартах или другой НТД

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

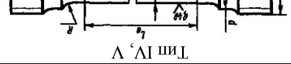
ТИПЫ, ФОРМА И РАЗМЕРЫ ОБРАЗЦОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА И СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПО ГОСТ 6996-66

Испытания на статическое растяжение наплавленного металла

Тип I, II, III



Тип IV, V

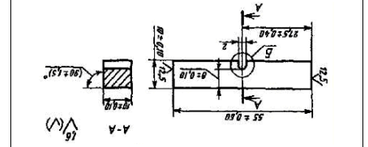


Тип образца	d_0	d	K	D	h	h_1	R	l_0	l	$L \pm 1$
I	3 ± 0,1	-	0,03	6	4	2	1	15	18	30
II	6 ± 0,1	-	0,03	12	10	2,5	1,5	30	36	61
III	10 ± 0,2	-	0,04	16	10	3	3	50	60	86
IV	6 ± 0,1	10	0,03	M12	15	5	5	30	36	86
V	10 ± 0,2	12	0,04	M16	15	5	5	50	60	110

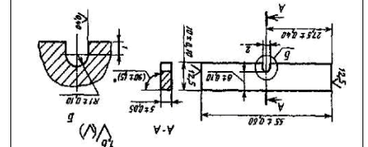
Примечание: K - допускаемая разность наибольшего и наименьшего диаметров на длине рабочей части образца

Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах)

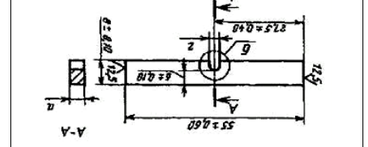
Тип VI



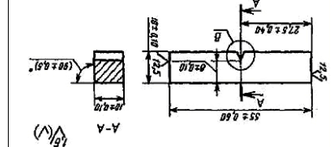
Тип VII



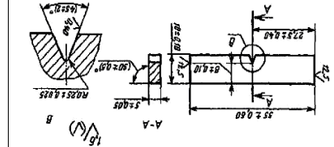
Тип VIII



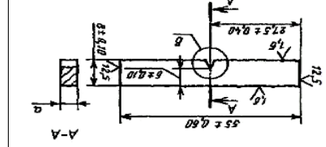
Тип IX



Тип X



Тип XI



a – толщина основного металла, мм

B23K 1/00	Пайка металлов, например пайка твердым припоем, или распаивание (B23K 3/00 имеет преимущество; отличающиеся применением специальных материалов или средств B23K 35/00; пайка погружением для изготовления печатных схем H05K 3/34)
B23K 3/00	Инструменты, устройства или специальные приспособления общего назначения для пайки, например твердым припоем, или распаивания, специально не предназначенные для особых процессов (материалы, применяемые при пайке, B23K 35/00)
Газовая сварка или резка	
B23K 5/00	Газовая сварка
B23K 7/00	Резка, выжигание поверхностных дефектов или удаление поверхностного слоя с помощью пламени
Электрическая сварка или резка	
B23K 9/00	Электродуговая сварка или резка (электрошлаковая сварка B23K 25/00; сварочные трансформаторы H01F; сварочные генераторы H02K)
B23K 10/00	Сварка или резка с использованием плазмы
B23K 11/00	Контактная сварка (сварка сопротивлением); разделение путем контактного нагрева (электрическим током)
B23K 13/00	Сварка нагревом токами высокой частоты
Прочие способы сварки или резки; обработка металлов лазерным лучом	
B23K 15/00	Сварка или резка электронным лучом (электронно- или ионно-лучевые трубки H01J 37/00)
B23K 17/00	Использование энергии ядерных частиц в сварочной или близкой к ней области техники
B23K 20/00	Неэлектрические способы сварки с использованием ударного или другого давления с применением нагрева или без него, например наиссе-ние покрытий или плакировка
B23K 23/00	Термитная (алюминотермитная) сварка
B23K 25/00	Электрошлаковая сварка , т.е. сварка с применением слоя или массы расплавленного порошка, шлака и т.п., соприкасающихся с материалом, подлежащим соединению (B23K 23/00 имеет преимущество; электродуговая сварка под флюсом B23K 9/18)
B23K 26/00	Обработка металла лазерным лучом, например сварка, резка, образование отверстий (лазеры H01S 3/00)
B23K 28/00	Способы сварки или резки, не отраженные в предыдущих группах (соединение заготовок электролизом C25D 2/00; электрополитические способы удаления материалов C25F)
B23K 31/00	Способы пайки, сварки или резки, приспособленные для специальных целей или для изготовления особых изделий, не охватываемых какой-либо одной из предыдущих групп (изготовление труб или сортового проката фасонного сечения способами, иными чем пайкой или сваркой B21C 37/04,B21C 37/08)
B23K 33/00	Придание особого профиля отдельным участкам кромок при изготовлении пайных или сварных изделий; заполнение швов
B23K 35/00	Присадочные прутки, электроды, материалы или среды, применяемые при пайке, сварке или резке

ГОСТ 12.3.039-85 Система стандартов безопасности труда. Плазменная обработка металлов. Требования безопасности.

ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.

ГОСТ 4.41-85 Система показателей качества продукции. Машины для термической резки металлов. Номенклатура показателей.

ГОСТ 5614-74 Машины для термической резки металлов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 17356-89 Горелки на газообразном и жидком топливах. Термины и определения.

ГОСТ 5.917-71 Горелки ручные для аргонодуговой сварки типов РГА-150 и РГА-400. Требования к качеству аттестованной продукции.

ГОСТ 1077-79 Горелки однопламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева. Типы, основные параметры и размеры и общие технические требования.

ГОСТ 29091-91 Горелки ручные газовоздушные инжекторные. Технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 5191-79 Резаки инжекторные для ручной кислородной резки. Типы, основные параметры и общие технические требования.

ГОСТ 10796-74 Резаки ручные воздушно-дуговые. Типы и основные параметры.

ГОСТ 8856-72 Аппаратура для газопламенной обработки. Давление горючих газов.

ГОСТ 12221-79 Аппаратура для плазменно-дуговой резки металлов. Типы и основные параметры.

ГОСТ 13861-89 Редукторы для газопламенной обработки. Общие технические условия.

ГОСТ 29090-91 Материалы, используемые в оборудовании для газовой сварки, резки и аналогичных процессов. Общие требования.

ГОСТ 30829-2002 Генераторы ацетиленовые передвижные. Общие технические условия.

ГОСТ Р 50379-92 Герметичность оборудования и аппаратуры для газовой сварки, резки и аналогичных процессов. Допустимые скорости внешней утечки газа и метод их измерения.

ГОСТ Р 50402-92 Устройства предохранительные для горючих газов и кислорода или сжатого воздуха, используемые при газовой сварке, резке и аналогичных процессах. Основные понятия, общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 2405-88 Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры. Общие технические условия.

ГОСТ 9356-75 Рукава резиновые для газовой сварки и резки металлов. Технические условия.

ГОСТ 949-73 Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на $P_p \leq 19{,}6$ МПа (200 кгс/см^2). Технические условия.

ГОСТ 26294-84 Соединения сварные. Методы испытаний на коррозионное растрескивание.

ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.

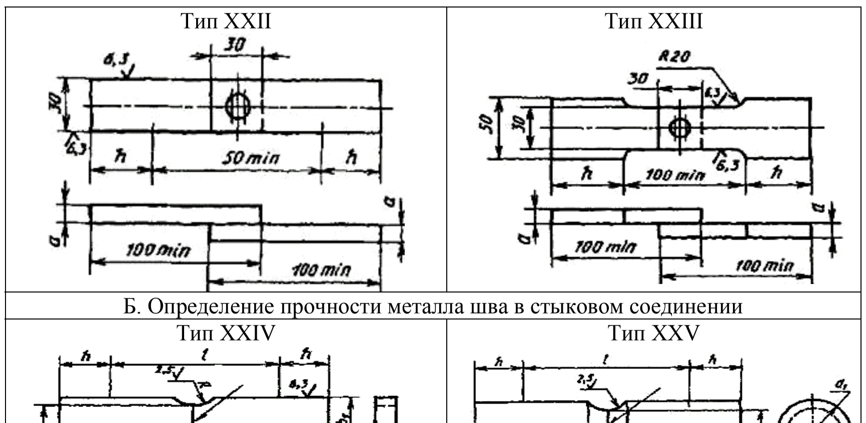
ГОСТ 20415-82 Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.

ГОСТ 24289-80 Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения.

ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.

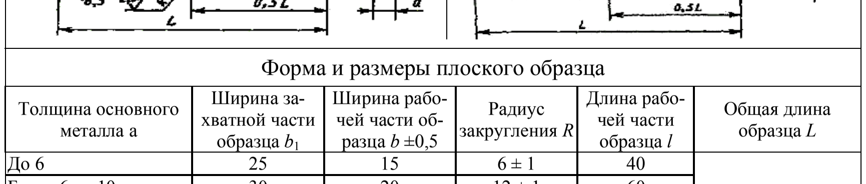
ГОСТ 24522-80 Контроль неразрушающий капиллярный. Термины и определения.

Тип XXII | Тип XXIII



Б. Определение прочности металла шва в стыковом соединении

Тип XXIV | Тип XXV



Форма и размеры плоского образца

Толщина основного металла a	Ширина захватной части образца b_1	Ширина рабочей части образца $b \pm 0{,}5$	Радиус закругления R	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 6	25	15	6 ± 1	40	$L = l + 2h$
Более 6 до 10	30	20	12 ± 1	60	
Более 10 до 25	38	25	20 ± 2	70	
Более 25 до 40	45	30	25 ± 2	90	
Более 40 до 50	55	35	30 ± 2	110	

Форма и размеры цилиндрического образца

Диаметр захватной части образца d_1	Диаметр рабочей части образца d	Радиус закругления R	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 5			40	
Более 5 до 10	$d = 0{,}6d_1$	$R = 0{,}5d_1$	60	$L = l + 2h$
Более 10 до 15			70	
Более 15 до 30	$d = 0{,}7d_1$		90	
Более 30 до 50			110	

Примечания: Длины захватной части образца $h(L)$ устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины. Размеры образца при толщине металла более 50мм устанавливают соответствующими техническими условиями

ГОСТ 19521-74 Сварка металлов. Классификация.

ГОСТ 29273-92 Свариваемость. Определение.

ГОСТ 23870-79 Свариваемость сталей. Метод оценки влияния сварки плавлением на основной металл.

ГОСТ 30430-96 Сварка дуговая конструкционных чугунов. Требования к технологическому процессу.

ГОСТ 30482-97 Сварка сталей электрошлаковая. Требования к технологическому процессу.

ГОСТ 29297-92 Сварка, высокотемпературная и низкотемпературная пайка, пайкосварка металлов. Перечень и условные обозначения процессов.

ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.

ГОСТ Р ИСО 17659-2009 Сварка. Термины многоязычные для сварных соединений.

ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Процессы сварки металлов. Термины и определения.

ГОСТ 20549-75 Диффузионная сварка в вакууме рабочих элементов разделительных и формообразующих штампов. Типовой технологический процесс.

ГОСТ 7871-75 Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.

ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия.

ГОСТ 2246-70 Проволока стальная сварочная. Технические условия.

ГОСТ 9467-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.

ГОСТ 10051-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы.

ГОСТ 10052-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы.

ГОСТ 10543-98 Проволока стальная наплавочная. Технические условия.

ГОСТ 16130-90 Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные. Технические условия.

ГОСТ 21448-75 Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия.

ГОСТ 21449-75 Прутки для наплавки. Технические условия.

ГОСТ 23949-80 Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия.

ГОСТ 26101-84 Проволока порошковая наплавочная. Технические условия.

ГОСТ 26271-84 Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия.

ГОСТ 26467-85 Лента порошковая наплавочная. Общие технические условия.

ГОСТ 9087-81 Флюсы сварочные плавленые. Технические условия.

ГОСТ 28555-90 Флюсы керамические для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия.

ГОСТ 30756-2001 Флюсы для электрошлаковых технологий. Общие технические условия.

ГОСТ 5.1215-72 Электроды металлические марки АНО-4 для дуговой сварки малоуглеродистых конструкционных сталей. Требования к качеству аттестованной продукции.

ГОСТ 22366-93 Лента электродная наплавочная спеченная на основе железа. Технические условия.

ГОСТ 4417-75 Песок кварцевый для сварочных материалов.

ГОСТ 4421-73 Концентрат плавиковошпатовый для сварочных материалов. Технические условия.

ГОСТ 4416-94 Мрамор для сварочных материалов. Технические условия.

ГОСТ 22938-78 Концентрат рутиловый. Технические условия.

ГОСТ 14327-82 Слюда мусковит молотая электродная. Технические условия.

ГОСТ 5583-78 Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия.

ГОСТ 10157-79 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.

ГОСТ 8050-85 Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия.

ГОСТ 5457-75 Ацетилен растворенный и газообразный технический. Технические условия.

ГОСТ 3022-80 Водород технический. Технические условия.

ГОСТ 1460-81 Карбид кальция. Технические условия.

ГОСТ 9293-74 Азот газообразный и жидкий. Технические условия.

ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 11534-75 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 11533-75 Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 23518-79 Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 14806-80 Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 27580-88 Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 14776-79 Дуговая сварка. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 28915-91 Сварка лазерная импульсная. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 16038-80 Сварка дуговая. Соединения сварные трубопроводов из меди и медно-никелевого сплава. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 15164-78 Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 15878-79 Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 16098-80 Соединения сварные из двухслойной коррозионностойкой стали. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 16310-80 Соединения сварные из полиэтилена, полипропилена и винипласта. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 4.140-85 Система показателей качества продукции. Оборудование электросварочное. Номенклатура показателей.

ГОСТ 95-77 Трансформаторы однофазные однопостовые для ручной дуговой сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 7012-77 Трансформаторы однофазные однопостовые для автоматической дуговой сварки под флюсом. Общие технические условия.

ГОСТ 18130-79 Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия.

ГОСТ 25445-82 Барабаны, катушки и сердечники для сварочной проволоки. Основные размеры.

ГОСТ 304-82 Генераторы сварочные. Общие технические условия.

ГОСТ 2402-82 Агрегаты сварочные с двигателями внутреннего сгорания. Общие технические условия.

ГОСТ 7237-82 Преобразователи сварочные. Общие технические условия.

ГОСТ 8213-75 Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия.

ГОСТ 24376-91 Инверторы полупроводниковые. Общие технические условия.

ГОСТ 14651-78 Электрододержатели для ручной дуговой сварки. Технические условия.

ГОСТ 22990-78 Машины контактные. Термины и определения.

ГОСТ 297-80 Машины контактные. Общие технические условия.

ГОСТ 14111-90 Электроды прямые для контактной точечной сварки. Типы и размеры.

ГОСТ 25444-90 Электроды прямые и электрододержатели для контактной точечной сварки. Посадки конические. Размеры.

ГОСТ 10594-80 Оборудование для дуговой, контактной, ультразвуковой сварки и для плазменной обработки. Ряды параметров.

ГОСТ 25616-83 Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств.

ГОСТ Р 50664-94 Аппараты ультразвуковые технологические. Рабочие частоты.

ГОСТ Р 51526-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для дуговой сварки. Требования и методы испытаний.

ГОСТ 13821-77 Выпрямители однопостовые с падающими внешними характеристиками для дуговой сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 4.44-89 Система показателей качества продукции. Оборудование сварочное механическое. Номенклатура показателей.

ГОСТ 21694-94 Оборудование сварочное механическое. Общие технические условия.

ГОСТ 28944-91 Оборудование сварочное механическое. Методы испытаний.

ГОСТ 19140-94 Вращатели сварочные горизонтальные двухстоечные. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 19141-94 Вращатели сварочные вертикальные. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 19143-94 Вращатели сварочные универсальные. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 28920-95 Вращатели сварочные роликовые. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 30295-96 Кантователи сварочные. Типы, основные параметры и размеры.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОСНОВНЫЕ СТАНДАРТЫ ПО СВАРКЕ (ПЕРЕЧЕНЬ)

Стандарты: неразрушающие испытания, методы контроля сварных соединений, качество сварки

ГОСТ 3242-79 Соединения сварные. Методы контроля качества.

ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств.

ГОСТ 7122-81 Швы сварные и металл наплавленный. Методы отбора проб для определения химического состава.

ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.

ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

ГОСТ 23055-78 Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля.

ГОСТ 23240-78 Конструкции сварные. Метод оценки хладостойкости по реакции на ожог сварочной дугой.

ГОСТ 25225-82 Контроль неразрушающий. Швы сварных соединений трубопроводов. Магнитографический метод.

ГОСТ 26388-84 Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением.

ГОСТ 26389-84 Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке плавлением.

ГОСТ 28277-89 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Электрорадиографический метод. Общие требования.

ГОСТ 16971-71 Швы сварных соединений из винипласта, поливинилхлоридного пластиката и полиэтилена. Методы контроля качества. Общие требования.

ГОСТ 30242-97 Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения.

ГОСТ 23338-91 Сварка металлов. Методы определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле и металле шва.

ГОСТ 25997-83 Сварка металлов плавлением. Статистическая оценка качества по результатам неразрушающего контроля.

ГОСТ Р ИСО 3834-1-2007 Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 1. Критерии выбора соответствующего уровня требований.

ГОСТ Р ИСО 3834-2-2007 Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 2. Всесторонние требования к качеству.

ГОСТ Р ИСО 3834-3-2007 Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 3. Стандартные требования к качеству.

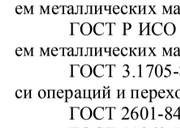
ГОСТ Р ИСО 3834-4-2007 Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 4. Элементарные требования к качеству.

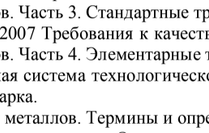
ГОСТ 3.1705-81 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Сварка.

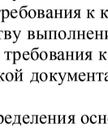
ГОСТ 2601-84 Сварка металлов. Термины и определения основных понятий.

ГОСТ 11969-79 Сварка плавлением. Основные положения и их обозначения.

Испытание сварного соединения на статический изгиб (загиб)



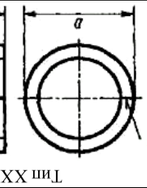




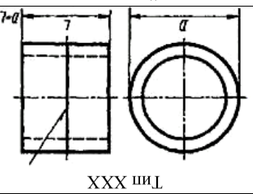
Тип образца	Толщина основного металла и образца a	Ширина образца b	Общая длина образца L	Длина рабочей части образца l
XXVI	5	$a + 15$	$2{,}5D + 80$	$0{,}33L$
	Св. 5 до 50	$a + 20$		
XXVIa	До 25	$l_m + 10$, но не менее 20	Не более 250	Не устанавливается
XXVII	До 50	$1{,}5\,a$, но не менее 10	$2{,}5D + 80$	$0{,}33L$
XXVIIa	До 25	Не менее $1{,}5a$, но не менее 20 и не более 50	Не более 250	Не устанавливается
XXVIII	До 10	20	$3{,}0D + 80$	$0{,}33L$
	Св. 10 до 45	30		
XXVIIIa	До 40	$0{,}7a$, но не более 15	Не более 250	Не устанавливается

Примечания: D – диаметр оправки; l_m – максимальная ширина шва. Общая длина образцов типов XXVI, XXVII и XXVIII принята равной не менее указанной величины. Форма поперечного сечения образца должна быть постоянной по всей длине

Тип XXIX

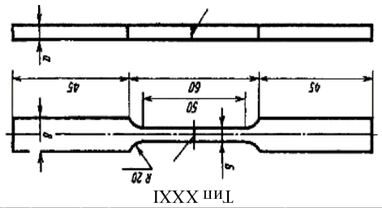


Тип XXX



Испытание сварного соединения на ударный разрыв

Тип XXXI



a – толщина основного металла, мм

ГОСТ 23556-95 Колонны для сварочных автоматов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 26408-85 Колонны для сварочных полуавтоматов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 30260-96 Оборудование для наплавки поверхностей тел вращения. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 30261-96 Оборудование для сварки кольцевых швов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 30275-96 Манипуляторы для контактной точечной сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 30220-95 Манипуляторы для контактной точечной сварки. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 27776-88 Модули производственные гибкие дуговой сварки и плазменной обработки. Основные параметры.

ГОСТ 28332-89 Модули производственные гибкие дуговой сварки. Нормы надежности и основные требования к методам контроля.

ГОСТ 26056-84 Роботы промышленные для дуговой сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 26054-85 Роботы промышленные для контактной сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 27387-87 Роботы промышленные для контактной точечной сварки. Основные параметры и размеры.

ГОСТ 31.211.41-93 Детали и сборочные единицы сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ. Основные конструктивные элементы и параметры. Нормы точности.

ГОСТ 31.211.42-93 Детали и сборочные единицы сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ. Технические требования. Правила приемки. Методы контроля. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

ГОСТ 31.2031.01-91 Приспособления сборно-разборные переналаживаемые для сборки деталей под сварку. Типы, параметры и размеры.

ГОСТ 31.2031.02-91 Приспособления сборно-разборные переналаживаемые для сборки деталей под сварку. Технические условия.

ГОСТ 12.1.035-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений.

ГОСТ 12.2.007.8-75 Система стандартов безопасности труда. Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности.

ГОСТ 12.2.052-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование, работающее с газообразным кислородом. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.054.1-89 Система стандартов безопасности труда. Установки ацетиленовые. Приемка и методы испытаний.

ГОСТ 12.2.054-81 Система стандартов безопасности труда. Установки ацетиленовые. Требования безопасности.

ГОСТ 12.2.060-81 Система стандартов безопасности труда. Трубопроводы ацетиленовые. Требования безопасности.

ГОСТ Р МЭК 60974-1-2004 Источники питания для дуговой сварки. Требования безопасности.

ГОСТ 12.3.036-84 Система стандартов безопасности труда. Газопламенная обработка металлов. Требования безопасности.

3/10	путем нанесения токопроводящего материала на изоляционное основание так, что на последнем образуется требуемая токопроводящая схема
3/12	нанесение токопроводящего материала путем печатания
3/14	нанесение токопроводящего материала путем распыления
3/16	катодным распылением
3/18	нанесение токопроводящего материала путем осаждения
3/20	нанесение токопроводящего материала в виде предварительно изготовленной схемы
3/22	повторная обработка печатных схем
3/24	закрепление токопроводящей схемы
3/26	очистка и(или) полировка токопроводящей схемы
3/28	нанесение неметаллического защитного покрытия
3/30	монтаж печатных схем с электрическими элементами, например резистором
3/32	гальваническое подключение электрических элементов или проводов к печатным схемам
3/34	путем пайки
3/36	соединение печатных схем с другими печатными схемами
3/38	улучшение адгезии между изолирующей подложкой и металлом
3/40	формирование печатных элементов для обеспечения электрического соединения с печатными схемами или печатных схем между собой
3/42	сквозные отверстия с металлизированной поверхностью
3/44	изготовление схем на изолированном металлическом сердечнике
3/46	изготовление многослойных схем

B23K 3/00 – Инструменты, устройства или специальные приспособления общего назначения для пайки, например твердым припоем, или распаивания, специально не предназначенные для особых процессов (материалы, применяемые при пайке, B23K 35/00)	
3/02	паяльники; головки паяльников
3/03	с электронагревом
3/04	нагревательные устройства (паяльные лампы или паяльные трубки F23D; электронагрев вообще H05B)
3/047	электрические
3/053	использующие проволоку высокого сопротивления
3/06	устройства для подачи припоя; ванны для расплавленного припоя
3/08	вспомогательные устройства для этих целей (чистка труб или систем трубопроводов, например перед пайкой B08B 9/02)

B23K 5/00 – Газовая сварка	
5/02	шовная сварка (изготовление труб иными способами, чем сваркой B21C)
5/04	с использованием дополнительных профилированных подкладок и т.п. из направляемого металла вдоль шва
5/06	продольным
5/08	кольцевым
5/10	изделий, в частности содержащих слой различных металлов, например изделий с гальваническим покрытием
5/12	с учетом свойств свариваемого материала
5/14	цветных металлов (B23K 5/16 имеет преимущество)

13/01	индукционным нагревом
13/02	шовная сварка
13/04	теплопроводностью
13/06	отличающаяся защитой сварочной зоны от влияния окружающей атмосферы (выбор среды B23K 35/38)
13/08	электрические схемы питания или управления

B23K 15/00 – Сварка или резка электронным лучом (электронно- или ионно-лучевые трубки H01J 37/00)	
15/02	схемы управления для этих целей
15/04	сварка круговых швов
15/06	в вакуумной камере (B23K 15/04 имеет преимущество)
15/08	удаление материала, например резанием, сверлением отверстий
15/10	невакуумная сварка или резка электронным лучом

B23K 20/00 - Бесконтактные способы сварки с использованием ударного или другого давления с применением нагрева или без него, например нанесение покрытий или плакировка	
20/02	на прессах
20/04	на прокатных станах
20/06	с использованием импульсов высокой мощности, например магнитной энергии
20/08	сварка взрывом
20/10	с использованием колебаний, например ультразвуковая сварка
20/12	нагревом, создаваемым трением; сварка трением
20/14	предотвращение или доведение до минимума доступа газа или использование защитных газов или вакуума при сварке (при помощи материала, размещаемого между свариваемыми деталями B23K 20/18)
20/16	с размещением специального материала для облегчения соединения деталей, например материала, служащего для абсорбирования или выделения газа
20/18	сварка отдельных участков, при которой между участками, не подлежащими сварке, размещают препятствующие сварке материалы
20/20	особыми методами, допускающими последующее отделение металла высокого качества от отходов
20/22	с учетом свойств свариваемых материалов
20/227	со слоем на основе железа
20/233	без слоя на основе железа
20/24	предварительная обработка
20/26	вспомогательное оборудование

B23K 26/00 – Обработка металла лазерным лучом, например сварка, резка, обработка отверстий (лазеры H01S 3/00)	
26/02	установка или наблюдение за обрабатываемым изделием, например в отношении места воздействия луча; выравнивание или фокусирование луча лазера
26/03	наблюдение за обрабатываемым изделием

9/16	с использованием защитных газов
9/167	и неплавящегося электрода
9/173	и плавящегося электрода
9/18	дуговая сварка под флюсом
9/20	торцовая приварка шпилек
9/22	ударная сварка
9/23	с учетом свойств материалов, подвергаемых сварке
9/235	предварительная обработка
9/24	конструктивные элементы электродов (форма или состав электродов B23K 35/00)
9/26	приспособления для электродов, например зажигатели
9/28	держатели электродов (не только для электродуговой сварки или резки B23K 37/02)
9/29	держатели электродов, установленные в качестве защитных средств
9/30	вибрационные держатели электродов (B23K 9/022 имеет преимущество)
9/32	вспомогательные устройства (заземления H01R)

B23K 10/00 – Сварка или резка с использованием плазмы	
10/02	плазменная сварка

B23K 11/00 – Контактная сварка (сварка сопротивлением); разделение путем контактного нагрева (электрическим током)	
11/02	стыковая сварка давлением
11/04	стыковая сварка оплавлением
11/06	с помощью роликовых электродов
11/08	шовная сварка, не относимая к какой-либо одной из предыдущих рубрик
11/087	для прямолинейных швов
11/093	для плоских криволинейных швов
11/10	точечная сварка; строчечная сварка (сварка серией точек)
11/11	точечная сварка
11/12	с использованием колебаний
11/14	рельефная сварка
11/16	сварка с учетом свойств свариваемого материала
11/18	цветных металлов (B23K 11/20 имеет преимущество)
11/20	разнородных металлов
11/22	разделение путем контактного нагрева электрическим током
11/24	электрические схемы питания или управления
11/25	управляющие устройства
11/26	сварка разрядом накопленной энергии (импульсная сварка)
11/28	переносное сварочное оборудование
11/30	конструктивные элементы электродов (форма и состав электродов B23K 35/00)
11/31	держатели электродов (отнесенные не только к контактной сварке или разделению путем контактного нагрева B23K 37/02)
11/34	предварительная обработка
11/36	вспомогательное оборудование (B23K 11/31 имеет преимущество)

5/16	разнородных металлов
5/18	для иных целей, чем соединение частей, например с целью наплавки
5/20	с использованием колебаний, например ультразвуковых
5/213	предварительная обработка
5/22	вспомогательное оборудование, например подкладки, направляющие
5/24	устройства для поддерживания горелок (не только для газовой сварки B23K 37/02)

B23K 7/00 – Резка, выжигание поверхностных дефектов или удаление поверхностного слоя с помощью пламени	
7/06	устройства для выжигания поверхностных дефектов или для удаления поверхностного слоя с помощью пламени
7/08	с применением добавочных составов или средств, способствующих процессам резки, выжигания поверхностных дефектов или удаления поверхностного слоя с помощью пламени
7/10	вспомогательные устройства, например для направления или поддерживания горелки (направляющие устройства для металлообрабатывающих станков B23Q)

B23K 9/00 – Электродуговая сварка или резка (электрошлаковая сварка B23K 25/00; сварочные трансформаторы H01F; сварочные генераторы H02K)	
9/007	точечная дуговая сварка
9/013	электродуговая резка, поверхностная резка, зачистка или удаление поверхностного слоя
9/02	шовная сварка; подкладки и вставки, используемые при этом
9/022	сварка с использованием вибрации электродов
9/025	для прямолинейных швов
9/028	для плоских криволинейных швов
9/032	для пространственных швов
9/035	с подкладками, расположенными под швом
9/038	с использованием формующих средств (отнесенные не только к дуговой сварке B23K 37/06)
9/04	для иных целей, чем соединение, например с целью наплавки
9/06	схемы или устройства для зажигания или устойчивости дуги, например созданием напряжения зажигания
9/067	зажигание дуги
9/073	устойчивость дуги
9/08	схемы или приборы для магнитного управления дугой
9/09	схемы или устройства для дуговой сварки импульсами тока или напряжения
9/095	управление или автоматическое регулирование параметров сварки
9/10	прочие электрические схемы для дуговой сварки или резки; защитные схемы; дистанционное управление
9/12	автоматическая подача или перемещение электродов или изделий для точечной или шовной сварки или резки
9/127	средства для направления линий при дуговой сварке или резке (обработка по копирам вообще B23Q 35/00)
9/133	средства для подачи электродов, например барабаны, ролики, моторы
9/14	с помощью покрытых обмазанных электродов

Учебное издание

Бахматов Павел Вячеславович, **Муравьев** Василий Илларионович

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СВАРКЕ

Учебное пособие

Научный редактор д-р техн. наук, профессор Б. И. Долотов

Редактор Ю. Н. Осинцева

Подписано в печать 05.04.2012.
Формат 60 × 84 1/16. Бумага 65 г/м^2. Ризограф FR3950EP-α.
Усл. печ. л. 11,85. Уч.-изд. л. 11,65. Тираж 75 экз. Заказ 24746.

Редакционно-издательский отдел Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

35/06	некруглого поперечного сечения; особой конструкции
35/08	с несколькими сердечниками; пучковые электроды
35/10	с несколькими слоями покрытия или обмазки
35/12	многоцелевого назначения, т.е. предназначенные для использования не только в качестве электродов
35/14	для пайки
35/16	некруглого поперечного сечения; особой конструкции (B23K 35/14 имеет преимущество)
35/18	с несколькими сердечниками; пучковые электроды
35/20	с несколькими слоями покрытия или обмазки
35/22	отличающиеся по составу или роду используемых материалов
35/24	выбор материалов для пайки или сварки (B23K 35/34 имеет преимущество)
35/26	с основным компонентом, плавящимся при температуре ниже 400 °C
35/28	с основным компонентом, плавящимся при температуре ниже 950 °C
35/30	с основным компонентом, плавящимся при температуре ниже 1550 °C
35/32	с основным компонентом, плавящимся при температуре выше 1550 °C
35/34	с соединениями, придающими металлам текучесть при нагреве
35/36	подбор неметаллических составов, например покрытий, флюсов (B23K 35/34 имеет преимущество); выбор материалов для пайки или сварки в сочетании с подбором неметаллических составов (выбор материалов для пайки или сварки B23K 35/24)
35/362	выбор составов флюсов (B23K 35/365,B23K 35/368 имеют преимущество)
35/363	для пайки твердым и мягким припоем
35/365	выбор неметаллических составов материалов только покрытий либо совместно с выбором материалов для пайки или сварки
35/368	выбор неметаллических составов материалов электродного стержня, в том числе совместно с выбором материалов для пайки или сварки
35/38	выбор среды, например специальной атмосферы, в которой производится сварка
35/40	изготовление проволоки или прутков для пайки или сварки (способы изготовления с однооперационной технической обработкой, см. соответствующие подклассы, например B05D, B21C)

B23K 37/00 – Вспомогательные устройства или способы, специально не предназначенные для способов, предусмотренных только в одной из предшествующих групп (предохранительные щитки для сварщиков A61F 9/00; для металлообрабатывающих станков B23Q; прочие предохранительные щитки F16P 1/06)	
37/02	каретки для поддерживания сварочных или режущих элементов
37/04	для установки и крепления изделий в положении для сварки
37/047	для перемещения заготовки с целью установки ее между отдельными ступенями пайки, сварки или резки (B23K 37/053 имеет преимущество)
37/053	для центрирования цилиндрических заготовок; зажимные устройства для этих целей
37/06	для принудительного формирования расплавленного металла (шва), например для удержания его на требуемом участке пространства
37/08	для удаления грата

B23K101:00 – Изделия, изготовленные пайкой, сваркой или резкой	
101:02	ячеистые структуры
101:04	трубчатые или полые изделия
101:06	трубы
101:08	ребристые
101:10	трубопроводы
101:12	резервуары
101:14	теплообменники
101:16	полосы или листы произвольной длины
101:18	листовые панели
101:20	инструменты
101:22	сетки, проволочные изделия и т.п.
101:24	каркасные изделия
101:26	железнодорожные или другие рельсы
101:28	балки (брусья)
101:30	цепи, ободья или кольца
101:32	проволока
101:34	изделия с покрытием
101:36	электротехнические или электронные устройства
101:38	провода, проводники
101:40	полупроводниковые приборы
101:42	печатные схемы

B23K103:00 – Материалы, подвергаемые пайке, сварке или резке	
103:02	железо или сплавы на основе железа
103:04	стали
103:06	чугуны
103:08	цветные металлы или сплавы
103:10	алюминий или его сплавы
103:12	медь или ее сплавы
103:14	титан или его сплавы
103:16	составные материалы
103:18	разнородные материалы
103:20	сплавы черных металлов и алюминий или его сплавы
103:22	сплавы черных металлов и медь или ее сплавы
103:24	сплавы черных металлов и титан или его сплавы