

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Утверждено в качестве лабораторного практикума  
Учёным советом Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Б. Н. Марьина

Комсомольск-на-Амуре  
2015

УДК 621(07)  
ББК 34.5я7  
О-753

*Рецензенты:*

Кафедра «Литейное производство и технология металлов»  
ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет»,  
зав. кафедрой доктор технических наук, профессор Ри Хосен;  
В. М. Козин, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией  
«Механика деформирования» ИМиМ ДВО РАН

*Авторы:*

Вин Зо Хейн, С. Б. Марьин, Б.Н. Марьин, В.А. Ким,  
А.А. Шпилёва, А.В. Свиридов

**Основы технологии машиностроения** : лаб. практикум / под общ.  
О-753 ред. Б. Н. Марьина. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО  
«КнАГТУ», 2015. – 83 с.  
ISBN 978-5-7765-1174-5

Практикум знакомит с технологическими особенностями основных процессов обработки материалов: резания,ковки, волочения, штамповки, прокатки, литья, сварки, сборки и др. Рассмотрены принципы назначения основных технологических параметров процессов, методы интенсификации производства листов, профилей, труб и деталей из них, а также повышения качества выпускаемых изделий.

Лабораторный практикум предназначен для закрепления и расширения знаний, полученных студентами при изучении соответствующих разделов дисциплины «Основы технологии машиностроения» (ОТМ).

Лабораторный практикум предназначен для студентов направления 150700.62 – «Машиностроение».

УДК 621(07)  
ББК 34.5я7

ISBN 978-5-7765-1174-5

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ.....	5
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИМА И РАЗДАЧИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК.....	10
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ НА ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	16
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	18
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТОК ПРИ РАЗДАЧЕ.....	21
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ.....	28
7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ.....	33
8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВКИ РЕЗАНИЕМ.....	44
9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПА СОВМЕЩЁННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОБЖИМА-РАЗДАЧИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ.....	52
10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ.....	53
11. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ.....	65
12. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11. ВЛИЯНИЕ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ. ИННОВАЦИОННАЯ СХЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА....	81

## ВВЕДЕНИЕ

Достижение технического прогресса в развитии современного машиностроения должно ориентироваться на применении новейших достижений науки. Для этого требуется подготовка высокообразованных бакалавров, инженеров, магистров, обладающих глубокими знаниями и хорошо владеющих новой техникой и технологией машиностроительного производства, в том числе CALS-технологиями. Особенно это касается таких наукоёмких отраслей машиностроения, как авиастроение, производство плавательных средств, химическое, нефте- и газоперерабатывающее производство, тяжёлое машиностроение.

В связи с этим для дальнейшего развития высшей школы и повышения качества подготовки специалистов в настоящее время необходимо сосредоточиться на всестороннем улучшении качества профессиональной подготовки и укреплении связи с машиностроительным производством, постоянно совершенствовать учебные планы и программы на основе повышения значимости фундаментальных наук в теоретической и профессиональной подготовке специалистов широкого профиля, более полного отражения новейших достижений науки и передового опыта.

В предлагаемом лабораторном практикуме рассматриваются отдельные вопросы механики деформированного твёрдого тела в связи с определением технологических параметров процессов обработки материалов (металлов) давлением, в литейном производстве, сварке, пайке, сборочных операциях и др. Кроме того, изучаются некоторые элементы физики твёрдого тела (теории дислокаций и др.) в связи с разработкой технологических методов повышения качества изделий и изменением состояния металла поверхностного слоя в процессе обработки заготовок, отдельные вопросы теоретической механики (элементы теории связей, элементы теории колебаний, используемые при изучении динамики технологической системы, элементы теории трения поверхностей на основе триботехники).

В лабораторном практикуме сделан акцент на интенсификацию технологии на основе научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), в частности изобретательства, создания программ для ЭВМ и полезных моделей, CALS-технологий.

В лабораторном практикуме подробно излагаются вопросы теории и методики проектирования техпроцессов обработки металлов, сборки в условиях единичного и серийного типа производства. В нём рассматриваются методика и особенности проектирования оснастки для приготовления деталей из листов, профилей и труб. При этом особое внимание уделяется вопросам влияния типа серийности производства на структуру технологических операций, характер технологической оснастки и содержание процессов с применением CALS-технологий.

Последовательность изложения материала в лабораторном практикуме соответствует технологической схеме производства изделий, начиная от заготовительного производства и кончая вопросами обеспечения качества и эксплуатационной надёжности, включая требования правил техники безопасности и жизнедеятельности.

В лабораторном практикуме изложена технология производства конструкций, разработанная и применяемая на самолетостроительных заводах, в ОКБ А. Н. Туполева, А. И. Микояна, П. О. Сухого, явившихся пионерами в освоении титановых сплавов в самолётостроении.

Отдельные технологии, описанные в лабораторном практикуме, разработаны при непосредственном участии Комсомольского-на-Амуре авиационного завода им. Ю. А. Гагарина (КнААЗ), Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (КнАГТУ), Московского государственного авиационного технологического университета им. К. Э. Циолковского (МАТИ), Национального института авиационных технологий (НИАТ), Всероссийского института легких сплавов (ВИЛС), Всероссийского института авиационных материалов (ВИАМ) и других и применены на КнААЗ при производстве самолетов Суперджет-Сухой, Су-27 и его модификаций, которые по своим лётно-техническим и эксплуатационным характеристикам являются одними из лучших в мире. В процессе разработки и освоения данных технологий более 150 технических решений признаны изобретениями, полезными моделями, программами для ЭВМ. Некоторые из них экспонировались на выставке Заслуженных изобретателей РФ (1991 г.), где были удостоены Золотой медали, на Всемирных салонах изобретений «Брюссель – Эврика» (1995-2004 гг.), международных салонах изобретений инноваций в Женеве, Париже, Сеуле, Шаньяне и Москве (Архимед), где отмечены золотыми, серебряными и бронзовыми медалями.

Можно надеяться, что подобное сближение научно-теоретических и инженерных проблем в специальных дисциплинах будет способствовать повышению общенаучной и теоретической подготовки бакалавров, инженеров, магистров и ускорению практического применения достижений фундаментальных наук для решения производственных задач.

Предназначен для бакалавров направления «Машиностроение», изучающих дисциплину «Основы технологии машиностроения».

## **1. СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ.**

### **Силовая интенсификация**

Сущность способа силовой интенсификации заключается в обеспечении увеличения степени деформации за одну операцию посредством изменения напряжённого состояния заготовки в благоприятную сторону

для формоизменения. Напряжённое состояние при этом достигается путём дополнительного силового воздействия, прикладываемого к заготовке рабочими органами оборудования, специальными конструктивными элементами оснастки или благодаря применению некоторых технологических средств.

Наиболее эффективна силовая интенсификация при осуществлении процессов листовой штамповки тонкостенных деталей переменного сечения. В этих процессах набор материала в местах утолщений происходит при нагружении очага деформации дополнительными сжимающими напряжениями, что повышает пластичность и, следовательно, предельную степень деформации.

Как показала практика, наиболее эффективно использование силовой интенсификации в сочетании с термической. Конкретные конструкторско-технологические решения, основанные на принципе силовой интенсификации, будут рассмотрены в лабораторных работах.

### **Термическая интенсификация**

Способ термической интенсификации основан на совместном использовании нагрева и охлаждения, обеспечивающих наиболее благоприятный для получения детали заданной формы и размеров перепад температур в заготовке, а следовательно, и оптимальный перепад сопротивления деформированию  $\sigma_T$  и пластических свойств по очагу деформации. Для металлов с низкой теплопроводностью (например, титановых сплавов) производится нагрев зоны деформации без охлаждения зоны передачи усилия, что объясняется тем, что в процессе формоизменения зона передачи усилия не успевает прогреться и не снижает своих прочностных свойств.

Нагрев заготовки может осуществляться двумя методами: прямым, когда тепло образуется непосредственно в нагреваемой зоне заготовки, и косвенным, при котором тепло, создаваемое внешним источником, тем или иным способом передаётся в заготовку.

Прямой метод нагрева предусматривает два самостоятельных способа создания тепла в заготовке: индукционный нагрев токами высокой частоты и нагрев электросопротивлением путём пропускания через заготовку больших токов.

При косвенном нагреве тепло передаётся в заготовку контактным, конвективным или радиационным путями. В случае контактного нагрева заготовка разогревается в результате прямой теплопередачи от горячей оснастки. Этот способ нагрева для изготовления тонкостенных деталей наиболее эффективен.

Охлаждение заготовок, являющееся составной частью теоретической интенсификации, осуществляется только контактным и конвективным

путями. При контактном способе тепло отводится от заготовки вследствие прямой теплопередачи в металлический охладитель в зоне их контакта. В случае конвективного охлаждения тепло отнимается от заготовки путём непосредственного омывания различными хладагентами (сжатым воздухом, водой, охлаждёнными или сжиженными газами).

Температура нагрева зоны деформации зависит от материала заготовки. Для алюминия и его сплавов она составляет 400...450 °С, для магниевых сплавов 360...380 °С. Время выдержки для нагрева заготовки зависит, в основном, от её толщины. Для заготовок из алюминиевых сплавов время выдержки определяют из расчёта 6...8 с на 1 мм толщины.

Основными недостатками штамповки с локальным нагревом являются конструктивная сложность штамповой оснастки и относительно низкая производительность, преимуществом – сокращение числа операций за счёт расширения технологических возможностей.

### **Электроимпульсная интенсификация**

Одним из перспективных направлений интенсификации процессов листовой штамповки является использование воздействия импульсного электрического тока (ИЭТ).

ИЭТ может вводиться в детали и заготовки как прямым (контактным), так и непрямым (индукционным) способами. Причиной повышения пластичности при введении ИЭТ считают электрон-дислокационное воздействие, возникающее в металле, градиенты температур, интенсифицирующие перемещение дислокаций. Наиболее обоснованной представляется последняя из перечисленных физических моделей, которая ниже описывается более подробно.

При введении в металлы ИЭТ происходит концентрация электромагнитного поля на дефектах структуры (поры, трещины, расслоения и др.), при которой возникают градиенты температур между нагретыми вследствие выделения тепла дефектными зонами и нагретыми бездефектными. Это, в свою очередь, приводит к образованию значительных термоупругих сжимающих напряжений на дефектах. Совместное воздействие этих напряжений, возникающих между обтекающими дефекты параллельными токами, в условиях интенсивной активизации процессов диффузии приводит к залечиванию дефектов структуры. Одновременно – за время пропускания импульса тока – происходит рекристаллизация во всех множественных микрообластях. Итогом воздействия ИЭТ является большее, чем при традиционном отжиге в печах, повышение пластичности, сопровождающееся незначительным снижением прочностных характеристик.

Повышение пластичности имеет место при введении в металлы в зависимости от их свойств удельной электрической энергии  $q = (1...12) \cdot 10^9$  Дж/м и длительности импульса тока  $\tau = 0,01...1$  с, в тече-

ние которого в металлах сохраняются градиенты температур и механических напряжений (условие адиабатичности). Эффект воздействия ИЭТ может быть использован для интенсификации формообразующих операций, для импульсного межоперационного отжига и для повышения эксплуатационных характеристик деталей путём направленного изменения их структуры и свойств.

### **Влияние сил внешнего трения**

Силы трения, возникающие в процессах листовой штамповки, в большинстве случаев являются вредными. Исключение составляют операции, в которых возникающие силы трения способствуют течению деформируемой заготовки, т.е. являются активно действующей нагрузкой. Это возможно, если скорости перемещения частиц заготовки и поверхности штамповой оснастки имеют одинаковое направление, а величина последней равна или больше первой.

В остальных же случаях трение по контактными поверхностям является нежелательным, т.к. приводит к неоднородности деформаций, нарушающей однородность металла (за счёт различной степени упрочнения, различной величины зерна и т.п.), увеличению деформирующего усилия и износа инструмента.

Существует много теорий, на основе которых установлены зависимости для определения сил контактного трения. Наиболее простой и широко распространённой является зависимость  $F = fN$ , где  $F$  – сила трения;  $f$  – коэффициент трения, не зависящий от размеров контактной поверхности;  $N$  – сила нормального давления со стороны инструмента на поверхность металла.

Нормальное давление равно пропорциональному напряжению на контактной поверхности, а элементарная сила трения равна касательному напряжению  $\sigma_n$  на контактной поверхности  $\tau_k$ . Следовательно,  $\tau_k = \mu\sigma_n$ .

Однако по условию пластичности вводится ограничение  $0 \leq \tau_k \leq \beta\sigma_T/2$ , где  $1 \leq \beta \leq \frac{2}{\sqrt{3}}$  – коэффициент Лодэ, зависящий от вида напряжённого состояния.

На величину коэффициента контактного трения при пластическом деформировании влияет ряд факторов:

1. Состояние поверхности рабочего инструмента, зависящее от качества её обработки. Очевидно, что чем выше качество, тем меньше коэффициент трения при прочих равных условиях.

2. Вид обработки контактной поверхности деформируемого тела. Данный фактор значим лишь в начальный момент деформации, при дальнейшем развитии поверхность деформируемого металла «сглаживается».



3. Температура деформации: при холодном деформировании коэффициент трения минимален.

4. Характер нагрузки. Так, например, при деформировании вибрационной или ультразвуковой нагрузкой деформирующее усилие уменьшается.

5. Вид используемой смазки. К смазке предъявляются следующие требования: способность удерживаться на поверхности под действием высоких давлений, высокая адгезионная способность, низкая теплопроводность, лёгкая удаляемость с поверхности детали и др. По механизму действия смазки разделяются на две группы: с наполнителем и химически активные. К первой группе относятся минеральные масла и водные растворы, в качестве наполнителей могут использоваться графит, тальк, дисульфит молибдена и др. Ко второй группе относятся смазки, содержащие химически активные соединения фосфора, хлора, серы, азота. Механизм их действия основан на том, что трущейся поверхностью является плёнка, образующаяся на поверхности заготовки.

Наиболее эффективными способами уменьшения сил контактного трения являются повышение качества поверхности инструмента и рациональный выбор технологической смазки.

### **Влияние скорости деформации**

При проектировании технологических процессов листовой штамповки необходимо также учитывать влияние скорости деформации на пластические свойства материала. В первом приближении можно сказать, что при увеличении скорости деформации напряжение текучести возрастает, а пластичность падает. Особенно ярко это выражается для магниевых и медных сплавов, высоколегированных сталей, значительно менее чувствительны к скорости деформации алюминиевые сплавы и низколегированные стали.

Аналитически зависимость напряжения текучести от скорости деформации при заданной температуре и степени деформации можно описать формулами

$$\sigma_T = \sigma_{T0} + n \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0},$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \left( \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^m,$$

где  $\sigma_T$  и  $\sigma_{T0}$  – напряжения текучести соответственно при скоростях деформации  $\dot{\varepsilon}$  и  $\dot{\varepsilon}_0$ ;  $m, n$  – константы, определяемые экспериментально.

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИМА И РАЗДАЧИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК

Лабораторная работа включает выявление влияния схемы напряжённого состояния на характер проявления пластических свойств и сопротивление деформированию.

Основным показателем, определяющим способность металла к пластической деформации в условиях реальных процессов, является предельно-достижимая степень деформации  $\varepsilon_{пр}$ . По значению  $\varepsilon_{пр}$  определяется степень влияния на протекание пластической деформации различных факторов.

В большинстве операций штамповки тонкостенных деталей из листа, труб и профилей (вытяжка, обтяжка, отбортовка, обжим, раздача, гибка и др.) имеет место схема напряжённого состояния, близкая к плоской. В связи с этим выявление влияния схемы главных напряжений на протекание пластической деформации выполняется в процессах обжима и раздачи труб, характеризующихся различными плоскими схемами главных напряжений (одноимённой и разноимённой). Предельная степень деформации в этих процессах определяется минимальным предельным значением коэффициентов обжима

$$K_{o_{пр}} = \frac{R_{к_{мин}}}{R_0} = 1 - \varepsilon_{пр}$$

и раздачи

$$K_{P_{пр}} = \frac{R_0}{R_{к_{макс}}} = \frac{1}{1 + \varepsilon_{пр}},$$

где  $R_0$  и  $R_k$  – соответственно начальный и конечный (после деформации) радиусы трубчатой заготовки.

Влияние схемы главных напряжений на сопротивление металла пластической деформации в обоих рассматриваемых процессах оценивается по величине усилий и напряжений, потребных для заданного формоизменения заготовок.

### **Краткие теоретические сведения**

Обжим представляет собой процесс, в ходе которого трубчатая заготовка под воздействием усилия  $P_o$  запрессовывается в матрицу (конической, полусферической или другой формы), в результате чего происходит уменьшение её диаметра (рис. 1, а).

В очаге деформации при обжиге действуют напряжения меридиональные сжимающие  $\sigma_p$ , изменяющиеся по очагу деформации, и окруж-

ные сжимающие  $\sigma_\theta$ , постоянные в окружном направлении ввиду осевой симметрии.

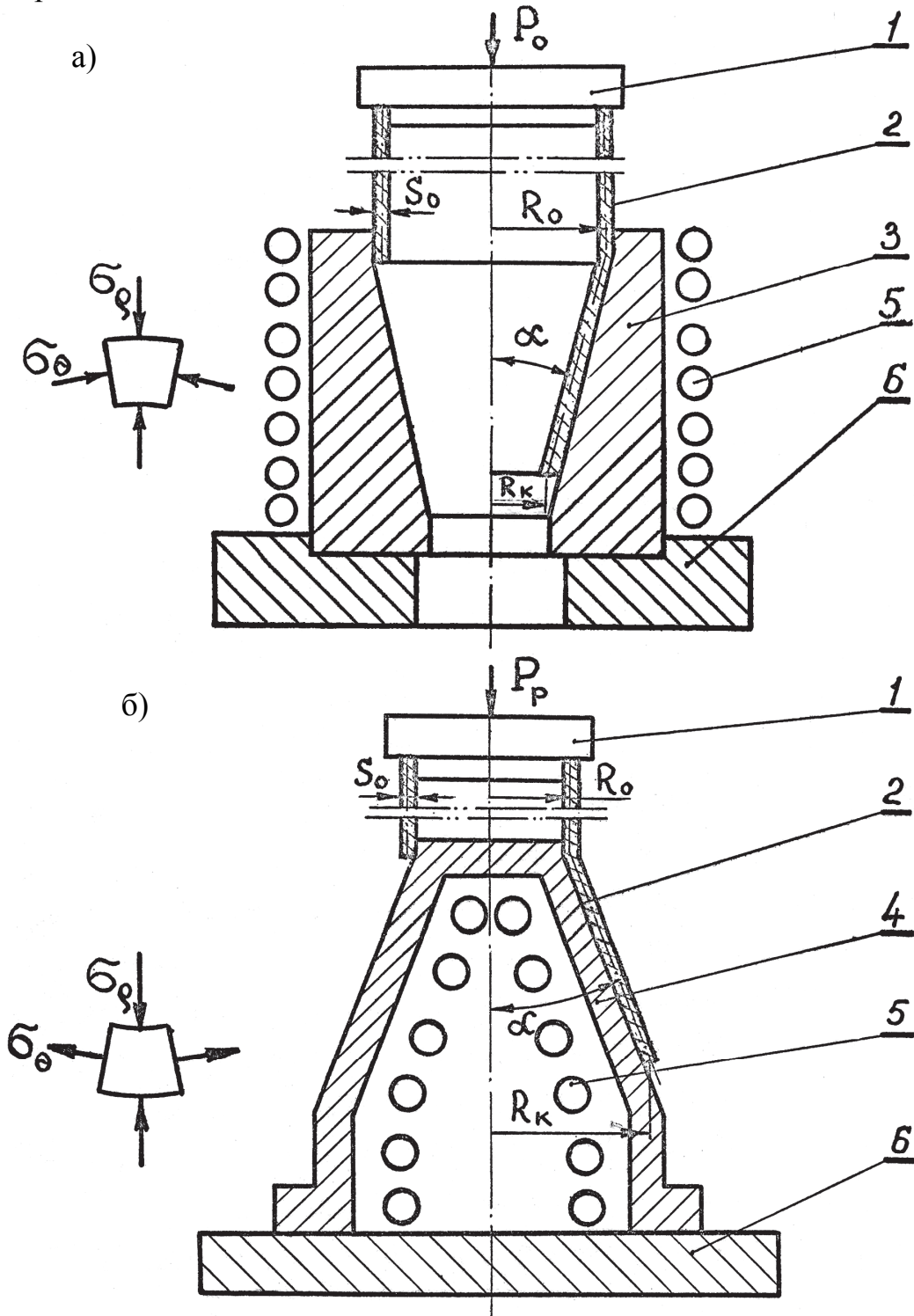


Рис. 1. Схемы обжима (а) и раздачи (б) трубчатых заготовок:  
 1 – толкатель; 2 – заготовка; 3 – матрица; 4 – пуансон;  
 5 – нагревательные элементы; 6 – плита опорная

Максимальное значение меридиональных напряжений  $\sigma_{\rho_{\max}}$  имеет место в недеформируемой части заготовки (в зоне передачи усилия). Величина этих напряжений может быть рассчитана по формуле

$$\sigma_{\rho_{\max}} = - \left[ \sigma_o + \frac{\Pi}{2} \cdot (1 - K_{OK}) \right] \cdot (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (1 - K_{OK}), \quad (1)$$

где  $\sigma_o$  – экстраполированный предел текучести на ориентировочной прямой упрочнения, численно равный пределу прочности  $\sigma_B$ ;  $\Pi$  – модуль упрочнения;

$K_{OK} = \frac{R_K}{R_o}$  – коэффициент обжима;  $\mu$  – коэффициент трения;

$\alpha$  – половина угла конусности матрицы.

Первый сомножитель правой части уравнения (1) учитывает упрочнение материала, второй – влияние трения, третий – величину формоизменения при обжиге.

Усилие деформирования при обжиге  $P_o$  с учётом разложения сил на выходе в конический участок рассчитывается по формуле

$$P_o = |\sigma_{\rho_{\max}}| \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R_o \cdot S_o}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Лимитирующим фактором при обжиге является потеря устойчивости (образование кольцевой складки) в зоне передачи усилия. Потеря устойчивости происходит при степенях формоизменения, при которых  $\sigma_{\rho_{\max}}$  становятся равными или больше критических напряжений потери устойчивости.

Раздача (рис. 1, б) представляет собой процесс, в котором под воздействием усилия  $P_p$  трубчатая заготовка напрессовывается на пуансон (конической или криволинейной формы), в результате чего происходит увеличение её исходного диаметра. Меридиональные напряжения  $\sigma_\rho$  в очаге деформации так же, как и при обжиге, являются сжимающими, а окружные  $\sigma_\theta$  – растягивающими.

Максимальное значение меридиональных напряжений  $\sigma_{\rho_{\max}}$  в зоне передачи усилий при раздаче может быть определено по формуле [5]

$$\sigma_{\rho_{\max}} = - \left[ \sigma_o + \frac{\Pi \cdot (1 - K_{PK})}{2} \right] \cdot \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\mu} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{K_{PK}} \right), \quad (3)$$

где  $K_{PK} = \frac{R_o}{R_K}$ .

Усилие раздачи  $P_p$  определяется по уравнению (2), в которое подставляется значение  $\sigma_{\rho_{\max}}$ , подсчитанное по соотношению (3).

Лимитирующим фактором при раздаче является разрушение (разрыв) кромки деформируемой трубной заготовки. Разрушение происходит при таких степенях формоизменения, при которых окружные растягивающие напряжения  $\sigma_\theta$  становятся равными или больше предела прочности материала кромки заготовки, деформирующейся в условиях линейного растяжения.

### **Экспериментальная часть**

1. Заготовки. Представляют собой отрезки труб из материала АМг6М или Д16М. С кромок труб перед деформацией тщательно снимаются заусенцы.

2. Оборудование. Гидравлический пресс с максимальным усилием 30 тс, оборудованный силоизмерительным устройством и имеющий регулируемую скорость перемещения рабочей траверсы.

3. Оснастка. Для обжима используется матрица с углом конусности  $\alpha = 15^\circ$ . Раздача выполняется на пуансоне с таким же углом конусности. Пуансон и матрица изготавливаются из стали 5ХНВ, HRC = 48...52, чистота обработки рабочих поверхностей  $\nabla 8$ . Усилие от рабочей траверсы прессы передаётся через закреплённую на ней направляющую – толкатель.

4. Режим штамповки. Скорость перемещения рабочей траверсы  $v = 5$  см/мин, смазка – машинное масло.

5. Фиксируемые параметры:

а) Исходные размеры заготовки: радиус по срединной поверхности  $R_o$  и толщина стенки  $S_o$ .

б) Толщина заготовки на кромке  $S_K$  после окончания формоизменения.

в) Минимальный (при обжиме) и максимальный (при раздаче) срединные радиусы заготовки после деформации ( $R_K$ ).

г) Усилие деформирования.

6. Содержание экспериментов:

а) Обжим двух заготовок с доведением их до потери устойчивости и двух заготовок с одинаковым коэффициентом обжима без потери устойчивости ( $K_{OK} = 0,75$ ).

б) Раздача двух заготовок с доведением их до разрушения кромки и двух заготовок с одинаковым коэффициентом раздачи без разрыва кромки ( $K_{PK} = 0,75$ ).

Экспериментальные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 1).

Таблица 1

## Протокол испытаний

Заготовка: труба из ;  $R_0 =$  мм;  $S_0 =$  мм;  $\alpha = 15^\circ$ 

Процесс	Условия проведения процесса	№ заготовки	$R_K$ , мм	$K_{o(p)}$	$S_K$ , мм	$\frac{S_K}{S_o}$	$P_{o(p)}$ , кгс
Обжим	До потери устойчивости	1					
		2					
	Без потери устойчивости	3					
		4					
Раздача	До разрыва кромки	5					
		6					
	Без разрыва кромки	7					
		8					

**Расчётная часть**

Расчётная часть включает:

1. Определение расчётных значений  $\sigma_{\rho_{\max}}$  для обжима – по уравнению (1), для раздачи – по уравнению (3), усилий деформирования – по соотношению (2). Расчёт ведётся для степеней формоизменения, полученных в экспериментальной части работы. Значение коэффициента трений принимается  $\mu = 0,165$ .

2. Вычисление относительной толщины деформированной заготовки на кромке  $\frac{S_K}{S_o}$  для тех же степеней формоизменения по соотношениям:

- для обжима

$$\frac{S_K}{S_o} = \frac{1}{\sqrt{K_{OK}}};$$

- для раздачи

$$\frac{S_K}{S_o} = \sqrt{K_{PK}}.$$

**Сопоставление данных и оценка результатов**

1. Сравниваются предельные значения коэффициентов обжима и раздачи. Делается вывод о влиянии схемы напряжённого состояния на проявление пластических свойств в изучаемых процессах.

2. Выполняется сопоставление осреднённых экспериментальных значений усилий  $P_s$  обжима и раздачи, полученных при одинаковых коэффициентах формоизменения. Делается вывод о влиянии схемы напряжённого состояния на сопротивление деформированию.

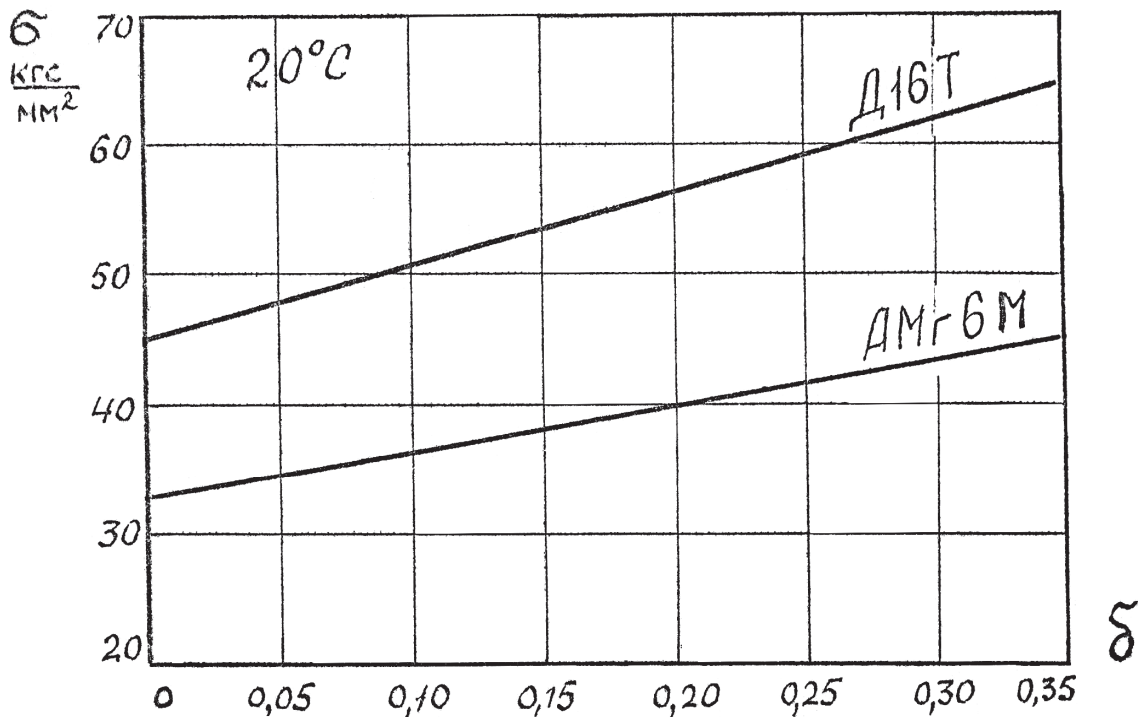


Рис. 2. Ориентировочные прямые упрочнения первого рода для Д16Т и АМГ16М

3. Производится сопоставление расчётных  $P_p$  и осреднённых экспериментальных величин усилий  $P_p$  обжима и раздачи для обоих принятых в экспериментах условий проведения процессов. Оценивается сходимость данных.

4. Сопоставляются осреднённые экспериментальные и расчётные значения  $\sigma_{p_{max}}$ . Оценивается сходимость данных.

5. При сопоставлении данных используются диаграммы, приведённые на рис. 2.

*Примечание.* Сопоставление данных по всем показателям оценивается в процентах [8].

**Литература:**[5; 6; 7; 8; 9].

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите технологические параметры, которые исследуются при обработке металлов давлением.

2. Какие задачи решаются при разработке технологических процессов и операций?

3. Какие основные методы решения задач применяются при пластическом деформировании заготовок?

4. Дайте определение процессов обжима и раздачи трубчатых заготовок.
5. Какова схема напряжённо-деформированного состояния при обжиме трубчатых заготовок?
6. Какова схема напряжённо-деформированного состояния при раздаче трубчатых заготовок?

### 3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ НА ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Процесс трения при пластическом деформировании существенно отличается от трения-скольжения в деталях машин. При пластическом формоизменении происходит смятие поверхности заготовки и её упрочнение, а при значительных степенях деформации – непрерывный процесс обновления трущейся контактной поверхности. Трение при пластическом деформировании вызывает увеличение усилий и работы деформирования, повышает износ инструмента, ухудшает качество изделия и т.д. В связи с этим большое значение для выбора оптимальных режимов штамповки имеет не только качественная оценка проявления внешнего трения, но и правильное определение коэффициента внешнего трения в условиях конкретного технологического процесса.

#### Краткие теоретические сведения

Определение значений коэффициента внешнего трения в данной работе производится косвенным методом – за счёт использования расчётных уравнений, в которые подставляются экспериментальные значения усилий деформирования. Определение коэффициента трения производится в процессе обжима трубных заготовок.

Из уравнения (2) следует

$$\sigma_{P_{\max}} = \frac{P_o \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \pi \cdot R_o \cdot S_o} \quad (4)$$

Подставляя (4) в (1), получим из последнего в явном виде выражение для определения коэффициента трения  $\mu$ :

$$\mu = \frac{P_o \cdot \cos \alpha - \left[ \sigma_o + \frac{\Pi}{2} \cdot (1 - K_{OK}) \right] \cdot (1 - K_{OK}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_o \cdot S_o}{\left[ \sigma_o + \frac{\Pi}{2} \cdot (1 - K_{OK}) \right] \cdot (1 - K_{OK}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_o \cdot S_o \cdot \operatorname{ctg} \alpha} \quad (5)$$



### Экспериментальная часть

1. Заготовки, оборудование, оснастка для обжима, режимы штамповки и фиксируемые параметры принимаются теми же, что и в лабораторной работе 1.

2. Содержание экспериментов:

а) Обжим двух заготовок до  $K_{OK} = 0,75$  со смазкой (машинное масло) и двух заготовок без смазки.

б) Обжим заготовок до потери устойчивости (две со смазкой, две без смазки).

Экспериментальные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 2).

Таблица 2

#### Протокол испытаний

Заготовка: труба из \_\_\_\_\_ ;  $R_0 =$  \_\_\_\_\_ мм;  $S_0 =$  \_\_\_\_\_ мм;  $\alpha = 15^\circ$

Условия проведения процесса	№ заготовки	$R_K$ , мм	$K_{OK}$	$P_o$ , кгс	$\mu$
Без потери устойчивости	1				
	2				
До потери устойчивости	3				
	4				

### Расчётная часть

Расчётная часть включает:

а) Определение значений коэффициента трения  $\mu$  по уравнению (5) для обжима без потери устойчивости.

б) Расчёт значений коэффициента трения  $\mu$  для обжима с потерей устойчивости при предельных значениях коэффициента обжима  $K_{опр}$ .

### Сопоставление данных и оценка результатов

а) Оценивается влияние смазки на величину усилий деформирования, предельный коэффициент обжима, получаемый со смазкой и без неё, а также на качество поверхности деталей и инструмента.

б) Сопоставляются значения коэффициента трения  $\mu$ , полученные обжимом без смазки и со смазкой.

**Литература:** [5; 6; 7; 8].

### Контрольные вопросы

1. Какие факторы ограничивают предельные возможности обжима трубчатых заготовок?

2. Какие факторы ограничивают предельные возможности раздачи трубчатых заготовок?

3. Какие виды смазок применяются при обработке давлением?
4. Как влияет термообработка инструмента на контактное трение, возникающее в процессе деформирования заготовок?

#### 4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

#### Краткие теоретические сведения

При статическом погружении с невысокими скоростями, соответствующими скоростям деформирования на современных механических и гидравлических прессах, влияние температуры проявляется в том, что с её повышением происходит снижение сопротивления деформированию и повышение показателей пластических свойств (исключая температурные зоны фазовых превращений). В результате этого в большинстве случаев при нагреве очага деформации заготовки оказывается возможным достигнуть за одну операцию штамповки значительно большей степени формоизменения, чем без нагрева, и снизить при этом потребное усилие деформирования. В настоящей работе оценивается влияние температурного фактора в процессе обжима трубных заготовок.

Нагрев очага деформации заготовки при обжиме производится за счёт её контакта с предварительно разогретой матрицей. Нагрев матрицы до заданной температуры наиболее часто выполняется с помощью размещённых вокруг неё нагревательных элементов (см. рис. 1, *a*). В ходе процесса в матрицу поступают ненагретые части заготовки, в результате чего по очагу деформации создаётся естественный перепад температур, величина которого определяется как теплофизическими свойствами материала заготовки и матрицы, так и скоростью подачи трубы в матрицу (скоростью деформирования). Перепад температур по очагу деформации может быть искусственно увеличен за счёт принудительного охлаждения зоны трубной заготовки над матрицей. В этом случае через эту зону может быть передано в очаг деформации большее усилие и достигнута большая степень формоизменения.

Точный расчёт напряжений, действующих в очага деформации при обжиме с нагревом, и усилий обжима представляет достаточно сложную задачу. Приближённый расчёт усилия обжима с достаточной для практики точностью может быть выполнен [5; 6] по уравнению

$$P_o = \sigma_{S_o} \cdot (1 + K_{OK}^2) \cdot (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (1 - K_{OK}) \cdot \frac{\pi \cdot R_o \cdot S_o}{\cos \alpha},$$

где  $\sigma_{S_o}$  – сопротивление деформированию материала заготовки на входе в матрицу, определяемое по экспериментальному графику  $\sigma_B = f(t^o)$  для реальной температуры нагрева этого сечения (рис. 3).

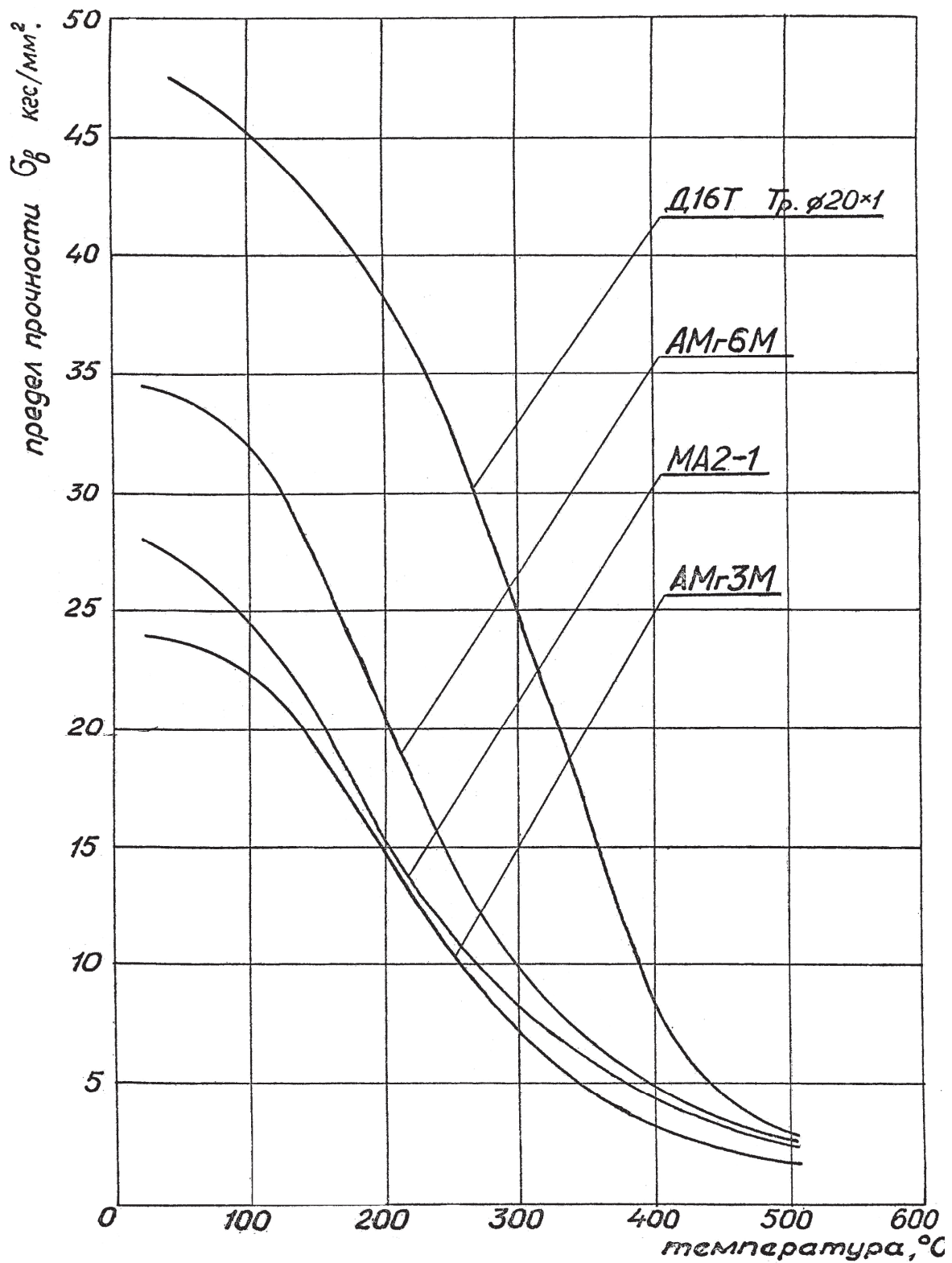


Рис. 3. Зависимость предела прочности от температуры

### Экспериментальная часть

1. Заготовки. Представляют собой отрезки труб того же материала и размеров, что использовались в лабораторных работах 1 и 2.

2. Оборудование. Гидравлический пресс, использовавшийся в лабораторных работах 1 и 2.

3. Оснастка. Матрица тех же размеров, что и в лабораторных работах 1 и 2, но снабжённая электронагревателями (см. рис. 1, а).

4. Оборудование и аппаратура для нагрева. Нагрев матрицы до заданной температуры осуществляется от низковольтного трансформатора, питающего нагревательные элементы электросопротивления. Контроль температуры матрицы и заготовки осуществляется контактными хромель-алюмелевыми термопарами.

5. Режимы штамповки.

а) Максимальная температура нагрева заготовки в зоне наибольшей деформации не должна превышать 400 °С для алюминиевых и 750 °С для титановых сплавов.

б) Скорость деформации при штамповке с нагревом  $v = 5$  см/мин.

в) Время предварительного прогрева заготовки 30...40 с на 1 мм толщины стенки.

6. Смазка. В качестве смазки при обжиге с нагревом используется коллоидно-графитовый препарат Воскресенского Химкомбината.

7. Фиксируемые параметры:

а) Геометрические параметры заготовки до деформации и после неё (см. лабораторную работу 1).

б) Усилия обжима.

в) Температура заготовки у входа в матрицу  $t_o$  после окончания процесса обжима.

8. Содержание экспериментов:

а) Обжим с нагревом двух заготовок до  $K_{OK} = 0,75$ .

б) Обжим с нагревом двух заготовок до получения предельного коэффициента обжима  $K_{опр}$  (до потери устойчивости).

Экспериментальные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 3).

Таблица 3

#### Протокол испытаний

Заготовка: труба из ;  $R_0 =$  мм;  $S_0 =$  мм;  $\alpha = 15^\circ$

Условия проведения процесса	№ заготовки	$t_o, ^\circ\text{C}$	$R_K, \text{мм}$	$K_{OK}$	$P_o, \text{кгс}$
Без потери устойчивости	1				
	2				
С потерей устойчивости	3				
	4				

### **Расчётная часть**

Расчётная часть включает определение усилий  $P_o^p$  для обоих вариантов формоизменения ( $K_{OK} = 0,75$  и  $K_{OK} = K_{опр}$ ).

### **Сопоставление данных и оценка результатов**

1. Сравняются экспериментальные значения усилий обжима с нагревом и усилий обжима без нагрева (из лабораторной работы 1) для одинаковых степеней формоизменения. Делается вывод о влиянии температуры на сопротивление деформированию.

2. Сопоставляются предельные коэффициенты обжима при проведении процесса с нагревом и без него (из лабораторной работы 1). Оценивается влияние температуры на проявление пластических свойств.

3. Проводится сопоставление расчётных  $P_o^p$  и экспериментальных  $P_o^э$  значений усилий обжима с нагревом. Оценивается сходимость данных.

*Литература:* [5; 6; 7; 8].

### **Контрольные вопросы**

1. Какие способы нагрева и другие виды воздействия применяются при обработке металлов давлением?

2. Перечислите основные способы интенсификации при обработке металлов давлением.

3. В чем состоит отличие стационарного очага деформации от нестационарного?

4. Как влияет на напряжённо-деформированное состояние контактное трение, возникающее между заготовкой и инструментом?

## **5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТОК ПРИ РАЗДАЧЕ**

### **Краткие теоретические сведения**

Определение напряжённо-деформированного состояния при различных технологических процессах оказывается необходимым как для правильного их анализа, так и для производства различных технологических расчётов. Одним из наиболее простых и в то же время сравнительно точных методов определения напряжённо-деформированного состояния является метод Г. А. Смирнова-Аляева с графической интерпретацией В. М. Розенберг. Этот метод позволяет определить разности главных напряжений по разностям главных деформаций тел геометрического

построения, устанавливать геометрическим путём вид напряжённо-деформированного состояния, характеристики стадии деформации и интенсивность напряжённого состояния материала. Применительно к процессам штамповки деталей из листа профилей и труб, когда делительная сетка наносится на свободной поверхности заготовки и когда, следовательно, одно из главных напряжений, нормальных к свободной поверхности, равно нулю, оказывается возможным определить не только разности, но и сами главные напряжения.

Методика определения напряжённо-деформированного состояния сводится к выполнению следующих действий:

1. На свободной поверхности заготовки наносится делительная сетка малых параметров, после чего производится деформация заготовки в данном техпроцессе или виде испытания.

2. Измеряются две из трёх главных истинных деформаций, например,  $e_\tau$  и  $e_\rho$  после проведения испытаний, и из условия постоянства объёма

$$e_\theta + e_\rho + e_\tau = 0$$

находится третья главная истинная деформация  $e_\theta$ .

3. По разностям главных истинных деформаций  $(e_\theta - e_\rho)$ ,  $(e_\rho - e_\tau)$  и  $(e_\tau - e_\theta)$  строится в любом масштабе треугольник напряжённо-деформированного состояния (рис. 4). Этот треугольник равносторонний. Длина его сторон равна наибольшей разности главных истинных деформаций, например,  $(e_\theta - e_\rho)$ . На одной из сторон треугольника, например  $AB$ , откладываются в принятом масштабе две другие разности истинных деформаций, а полученная точка  $D$  соединяется с вершиной  $C$ . Из геометрических соотношений длина отрезка  $CD$  будет равна

$$CD = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{AB^2 + DB^2 + AD^2}.$$

Если сравнить это соотношение с выражением для интенсивности деформации

$$e_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(e_\theta - e_\rho)^2 + (e_\rho - e_\tau)^2 + (e_\tau - e_\theta)^2},$$

можно увидеть аналогию указанных формул, откуда следует, что

$$CD = \frac{3}{2} \cdot e_i.$$

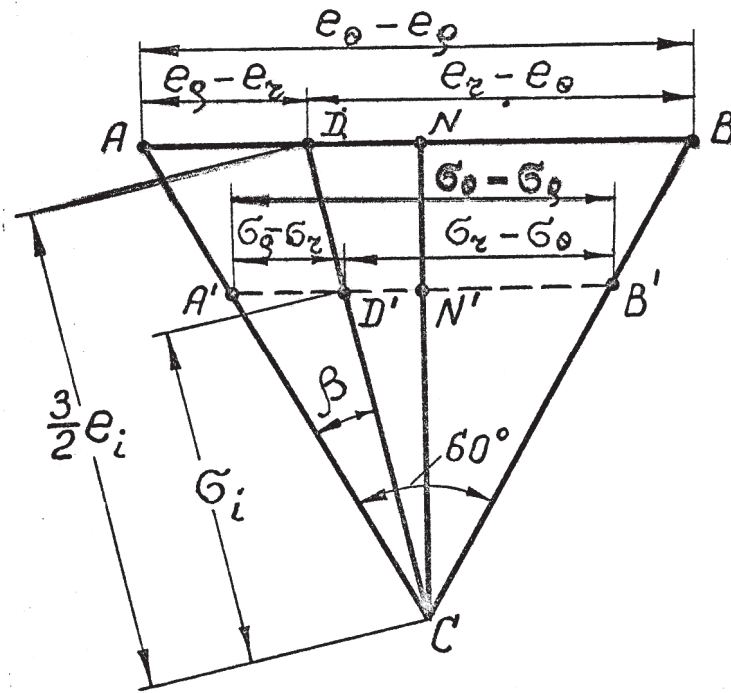


Рис. 4. Треугольник напряжённо-деформированного состояния В. М. Розенберг

Аналогичный треугольник ( $A'B'C$ ) можно построить для разностей главных напряжений, причём на основе геометрического подобия длине отрезка  $CD' = e_i$ .

4. По диаграмме  $\sigma_i = f(e_i)$  и известному значению  $e_i$  определяется интенсивность напряжений  $\sigma_i$ . Так как функция  $\sigma_i = f(e_i)$  не зависит от характера напряжённого состояния, то интенсивность напряжений  $\sigma_i$  будет равна истинному напряжению  $\sigma$ , а интенсивность деформаций  $e_i$  — относительной деформации (удлинению или сужению) при растяжении. Поэтому интенсивность напряжений определяется по истинной кривой деформирования в аддитивных деформациях.

5. Из условия подобия треугольников  $ADC$  и ( $A'D'C$ ), а также  $DBC$  и ( $D'B'C$ ) следует

$$\sigma_\tau - \sigma_\theta = \frac{\sigma_i}{\frac{3}{2} \cdot e_i} \cdot (\sigma_\tau - \sigma_\theta).$$

В процессе раздачи труб, где  $\sigma_\tau = 0$ , используют следующие соотношения:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_i}{\frac{3}{2} \cdot e_i} \cdot (\sigma_p - \sigma_\tau), \quad (6)$$

$$\sigma_{\theta} = -\frac{\sigma_i}{\frac{3}{2} \cdot e_i} \cdot (\sigma_{\tau} - \sigma_{\theta}). \quad (7)$$

Угол наклона луча  $\beta$  к сторонам треугольника В. Д. Розенберг определяет вид напряжённого состояния, а длина луча даёт наглядное количественное представление о напряжённости деформируемого элемента.

Описанный метод применим при исследовании процессов гибки, резки, вытяжки, отбортовки, обтяжки, обжима, раздачи и других процессов штамповки тонкостенных заготовок. В настоящей лабораторной работе изучение студентами указанного метода производится применительно к процессу раздачи с местным нагревом.

Делительная сетка может наноситься на заготовки фотографическим или типографский способом [6]. При значительных степенях деформации и с наличием контактного трения или же при исследованиях, производящихся при повышенных температурах, следует наносить прорезные или вдавленные риски. В лабораторной работе на заготовки наносятся прорезные риски.

### **Экспериментальная часть**

1. Оборудование. Гидравлический пресс, применявшийся в лабораторных работах 1...3.

2. Оснастка. Пуансон для раздачи тех же размеров, что и в лабораторной работе 1, но с нагревательными элементами, встроенными во внутренней части (см. рис. 1, б).

3. Режимы штамповки. Трубы тех же размеров, что использовались в лабораторной работе 1.

4. Содержание экспериментов.

а) Нанесение на внешнюю поверхность двух трубных заготовок делительной сетки малых параметров (круговые риски или ортогональная сетка рисок). Круговые риски наносятся не менее чем в трёх диаметральных сечениях. Количество круговых рисок по длине очага деформации – не менее четырёх (рис. 5).

б) Измерение исходных размеров рисок  $U_o = U_o$ .

в) Раздача заготовок с рисками на нагретом до оптимальной температуры пуансоне до коэффициента раздачи, близкого к предельному.

г) Измерение рисок после деформации  $U$  или  $U$  и толщины материала  $S$  в центре каждой круговой риски.

5. Обработка опытных данных.

Данные опытов и измерений заносятся в протокол (табл. 4), в котором одновременно производится их обработка. Расчёты ведутся по осреднённым значениям размеров круговых рисок и толщины  $S$ .



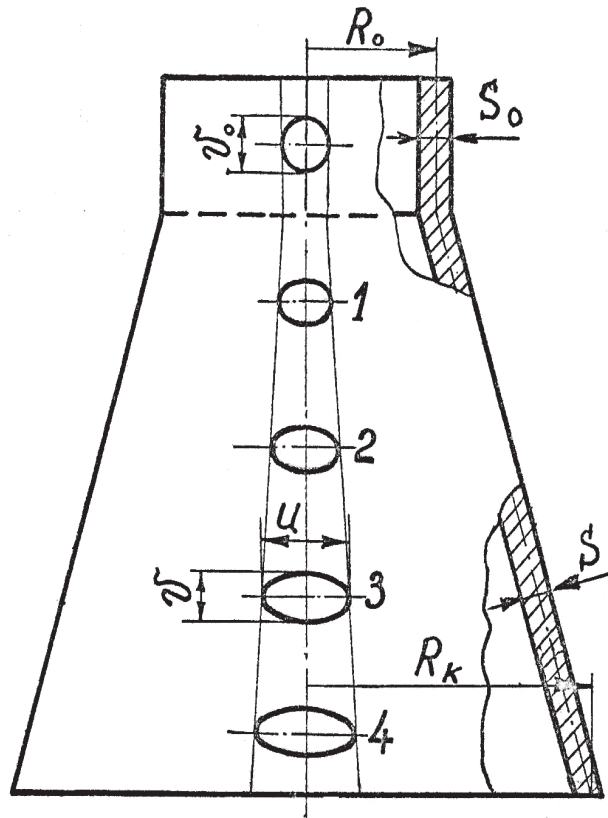


Рис. 5. Расположение круговых рисок по образующей конуса после раздачи

Таблица 4

Протокол

Труба:  $R_o =$  мм;  $U_o =$  мм;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $U_o = v_o =$  мм;  $P_3 =$  кгс

№ риски	$R,$ мм	$v,$ мм	$U,$ мм	$v_{cp},$ мм	$U_{cp}$	$e_g$	$e_p$	$e_t$	$e_i$	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$
1											
2											
3											
4											

Значения истинных деформаций в центре деформированных круговых рисок определяются из отношений

$$e_p = \ln \frac{v}{v_0}, \quad e_\theta = \ln \frac{U}{U_0}, \quad e_\tau = -(e_p + e_\theta).$$

Для каждой из 4...5 круговых рисок по образующей на миллиметровке строится треугольник напряжённо-деформированного состояния, определяется графическим путём значение  $e_i$ , а затем по диаграмме  $\sigma = f(e)$  (рис. 6) устанавливается значение интенсивности напряжений  $\sigma_i$ .

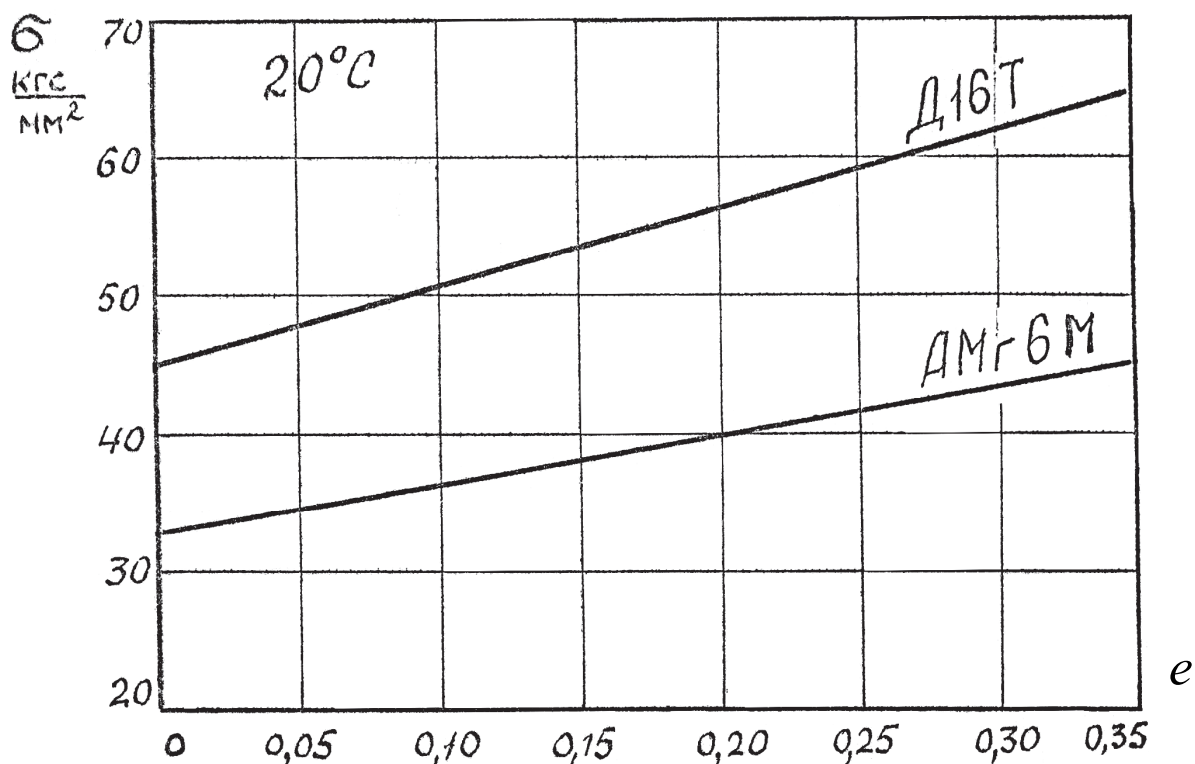


Рис. 6. Ориентировочные прямые упрочнения III рода для Д16Т и АМг6М

### Расчётная часть

Расчётная часть включает:

а) Вычисление значений главных напряжений  $\sigma_p$  и  $\sigma_\theta$  по соотношениям (6), (7).

б) Расчёт усилия раздачи по уравнению (3).

### Оформление данных и оценка результатов

а) Производится построение графиков, характеризующих распределение напряжений  $\sigma_p$  и  $\sigma_\theta$  по очагу деформации (рис. 7).

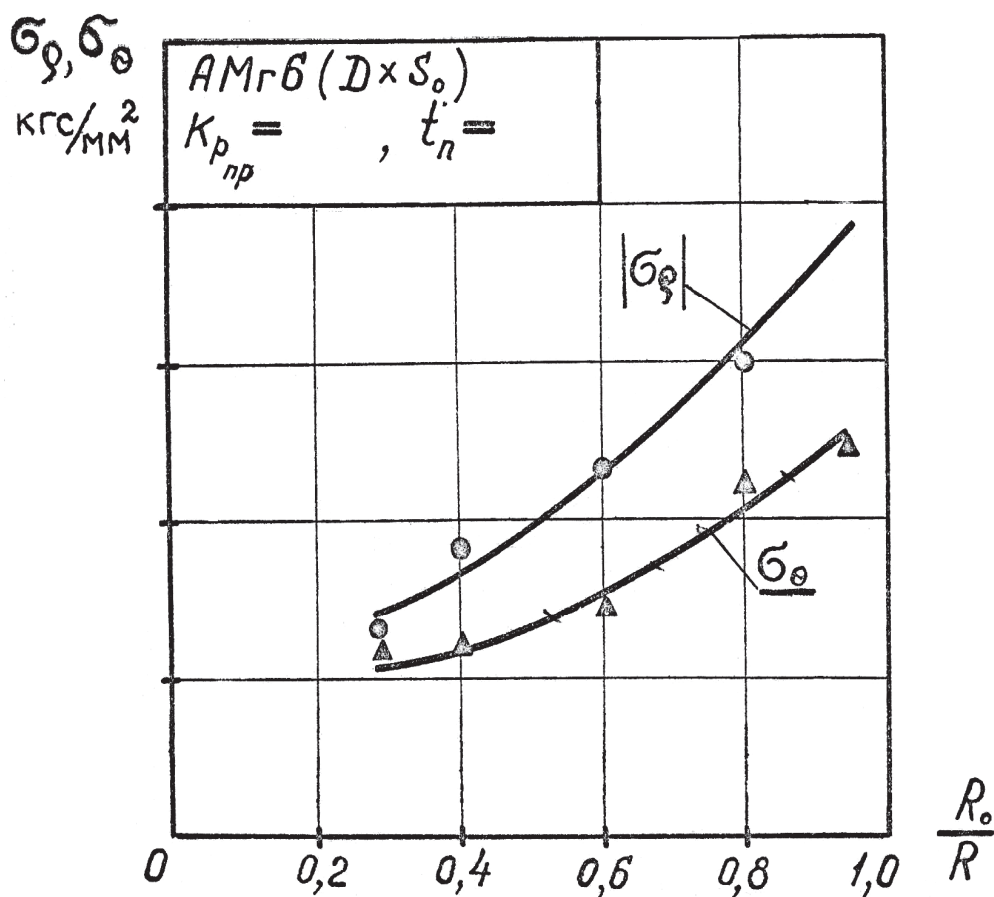


Рис. 7. Распределение напряжений  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  по очагу деформации

б) Сопоставляются экспериментальные и расчётные значения усилий раздачи. Оценивается сходимость данных.

*Литература:* [10; 11].

### **Контрольные вопросы**

1. Как влияет термообработка заготовок на предельные возможности технологических процессов?
2. Назовите методы и средства контроля качества изготовления листов, профилей, труб и деталей из них.
3. Какие основные способы применяются при подготовке и обработке заготовок перед процессом их деформирования?
4. Перечислите основные способы увеличения предельных возможностей формоизменения заготовок из листов, профилей и труб.

## 6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ

Напряжением волочения  $\sigma_{\text{вол}}$  называется продольное напряжение растяжения, возникающее под действием приложенной внешней силы в переднем, вышедшем из очага деформации конце обрабатываемого изделия.

Напряжение волочения равно

$$\sigma_{\text{вол}} = P/F,$$

где  $P$  – усилие волочения;  $F$  – площадь сечения изделия после волочения.

Напряжение волочения является важнейшей характеристикой процесса волочения. Оно используется при проверке надёжности применяемых и разработке новых режимов волочения, для определения усилия волочения с целью подбора соответствующего волочильного оборудования.

Основное влияние на напряжение волочения оказывают следующие факторы:

- сопротивление деформации (прочностные характеристики деформируемого металла);
- величина деформации за проход (переход);
- форма продольного профиля канала волокна;
- условия трения на контактной поверхности (свойства и качество поверхностей скольжения, свойства смазки и способ её ввода в зону деформации);
- форма начального и конечного поперечных сечений протягиваемого изделия;
- противонатяжение;
- скорость и температура волочения;
- диаметр (толщина) протягиваемого изделия.

Напряжение волочения определяется экспериментально или по теоретическим, полуэмпирическим и эмпирическим формулам.

Упрощённая формула И. Л. Перлина для определения напряжения волочения сплошных круглых профилей имеет вид

$$\sigma_{\text{вол}} = \ln \frac{F_0}{F_1} (\sigma_{\text{scp}} + f \operatorname{ctg} \alpha_{\text{П}} (\sigma_{\text{scp}} - \sigma_q)) + \sigma_q, \quad (8)$$

где  $\sigma_{\text{scp}}$  – среднее значение сопротивления деформации;  $f$  – коэффициент контактного трения;  $\sigma_q$  – напряжение противонатяжения;  $\alpha_{\text{П}}$  – приведённый угол канала волокна, град;  $F_0, F_1$  – площадь сечения заготовки и протянутого изделия соответственно.

Приведённый угол  $\alpha_{\text{П}}$ , учитывающий влияние на напряжение волочения калибрующего участка волочильного канала, определяется в соответствии со схемой, приведённой на рис. 8, по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{\Pi} = \frac{(D_H - D_K) \operatorname{tg} \alpha}{(D_H - D_K) + 2L_K \cdot \operatorname{tg} \alpha}.$$

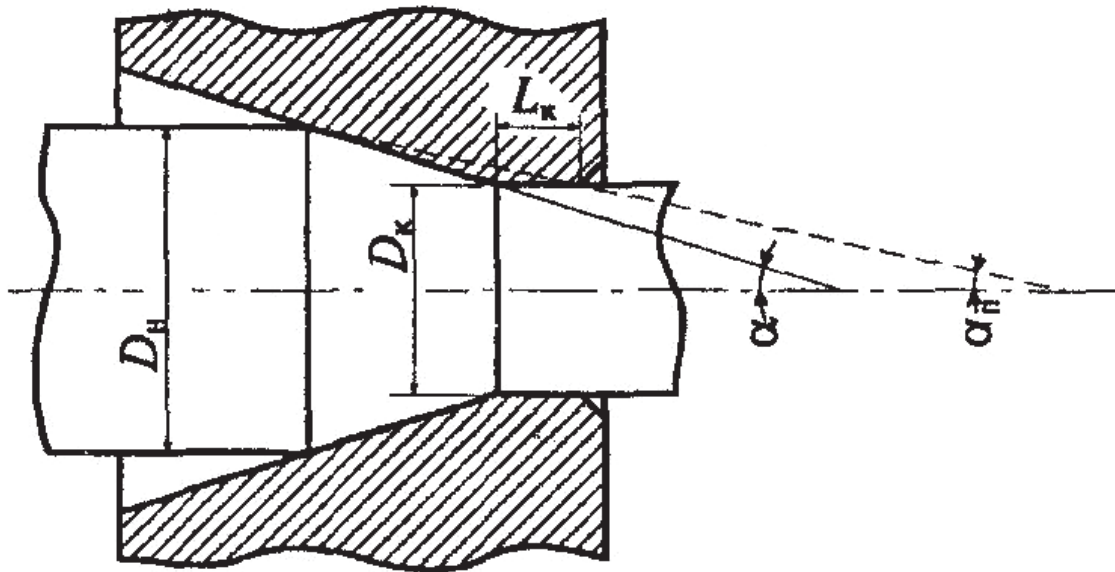


Рис. 8. Схема к определению приведённого угла волокна

В данной работе исследуется зависимость напряжения волочения от величины деформации за проход (степени деформации), которую можно охарактеризовать с помощью следующих показателей:

$$\frac{F_0 - F_1}{F_0}, \quad \frac{F_0 - F_1}{F_1}, \quad \ln \frac{F_0}{F_1}.$$

Таким образом, степень деформации можно регулировать с помощью изменения величины начального или конечного сечения или путём одновременного изменения величины того и другого сечений.

Степень деформации влияет на напряжение волочения как непосредственно, так и путём изменения сопротивления деформации обрабатываемого металла, а также изменения размеров контактной поверхности.

Так, при увеличении степени деформации возрастает величина  $\sigma_{scp}$ , что вызывает рост напряжения волочения. Величину  $\sigma_{scp}$  можно определить по формуле

$$\sigma_{scp} = \frac{\sigma_{SH} + \sigma_{SK}}{2},$$

где  $\sigma_{SH}$  и  $\sigma_{SK}$  – соответственно сопротивление деформации металла в начале и в конце деформационной зоны; можно принять, что  $\sigma_{SH} \sim \sigma_{bh}$ , а  $\sigma_{SK} \sim \sigma_{bk}$ , здесь  $\sigma_{bh}$  и  $\sigma_{bk}$  – соответственно временное сопротивление разрушению металла до и после деформации.

Увеличение деформации при сохранении профиля волокни вызывает прирост контактной поверхности и контактных сил трения, которые, в свою очередь, влияют на величину напряжения волочения.

Напряжение волочения  $\sigma_{\text{вол}}$  должно быть меньше величины сопротивления пластической деформации металла после его выхода из деформационной зоны, т.е.  $\sigma_{\text{вол}} < \sigma_{SK}$ . В противном случае пластическая деформация будет происходить и после выхода металла из волокни, что может привести к образованию шейки и разрыву переднего конца обрабатываемого изделия, что недопустимо.

Один из важных технологических показателей процесса волочения – коэффициент запаса:

$$\gamma_3 = \frac{\sigma_{SK}}{\sigma_{\text{вол}}}. \quad (9)$$

Необходимо отметить, что существующие расчётные формулы для определения  $\sigma_{\text{вол}}$  многие факторы учитывают приближённо, а некоторые не учитывают вообще (например, наличие поверхностных и внутренних дефектов, ослабляющих вытягиваемый конец изделия, несовпадение осей протягиваемого изделия и канала волокни, вибрация, динамические нагрузки и т.п.), а данные, полученные в ходе лабораторных экспериментов, не всегда можно перенести в промышленные условия.

Поэтому рекомендуется принимать следующие значения коэффициента запаса:

- при волочении прутков, толстостенных труб и профилей  $\gamma_3 = 1,3 \dots 1,4$ ;
- при волочении тонкостенных труб и профилей, а также проволоки малых диаметров  $\gamma_3 = 1,6 \dots 1,8$ .

### **Оборудование, инструмент, образцы**

Для проведения лабораторной работы применяется типовой токарный станок с трёхкулачковым патроном. Данное приспособление показано на рис. 9. В волоку вводят заготовку с заранее подготовленным концом, диаметр которого меньше выходного диаметра волокни. Этот конец зажимается в подвижном захвате суппорта токарного станка.

Для проведения данной работы может быть также использован волоочильный стан с винтовым приводом тянущей каретки. Измерение усилий волочения на стане осуществляется при помощи месдозы, запись усилий производится на ленту осциллографа.

Исследование влияния степени деформации на напряжение волочения проводят на образцах, изготовленных из одного и того же металла или сплава с использованием одной твёрдосплавной волокни. Переменным параметром является начальный диаметр образцов, который выбирается исходя из условия обеспечения относительного обжатия, равного пример-

но 10, 20 и 30 %. Измерение диаметра образцов до и после волочения проводится при помощи микрометра с точностью до 0,01 мм.

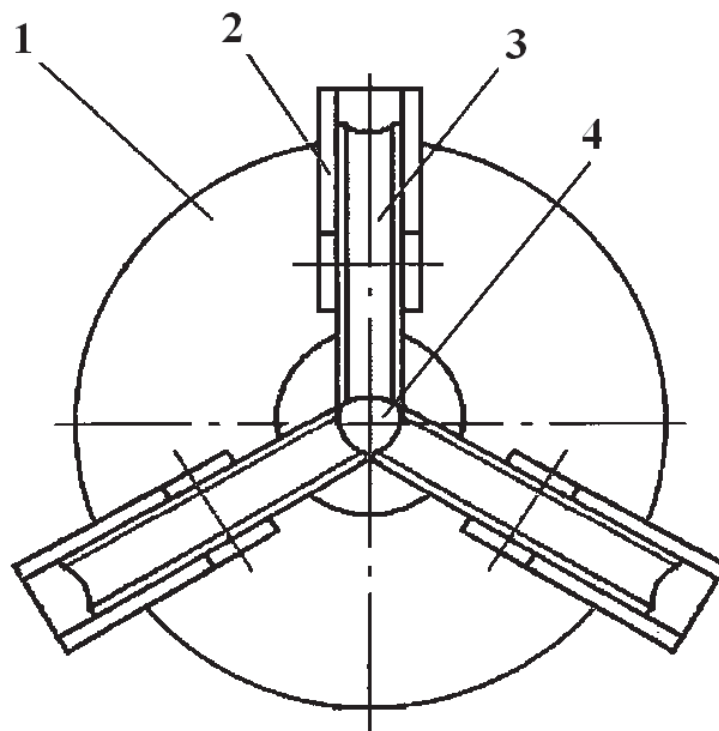


Рис. 9. Приспособление для проведения волочения на токарном станке в трёхкулачковом патроне: 1 – патрон; 2 – кулачок; 3 – ролик; 4 – изделие

### Порядок проведения работы

1. Использовать образцы из одного металла или сплава, но трёх разных диаметров, по три образца каждого диаметра; измерить микрометром диаметры исходных образцов в средней части их длины –  $D_n$  (по три измерения на образец).

2. Найти по справочнику [2] значения  $\sigma_b$  металла исследуемых образцов.

3. Провести волочение всех образцов с измерением силы волочения  $P_{вол}$ . Смазка – минеральное масло.

**Внимание!** Перед волочением необходимо убедиться в исправности инструмента и оборудования. Установку приспособления с волокой и образцом следует осуществлять только при выключенном приводе. В процессе волочения запрещается поправлять образец или волоку. Извлекать приспособление с волокой и образцом следует только при выключенном оборудовании.

4. Измерить микрометром диаметр протянутых образцов  $D_k$  в средней части их длины (по три измерения на образец).

5. Провести испытание на растяжение – по одному образцу на каждую степень деформации – с целью определения временного сопротивле-

ния разрушению протянутого металла  $\sigma_{bk}$ . При испытании зафиксировать максимальное усилие  $P_{K \max}$ .

### Обработка экспериментальных данных

Обработка экспериментальных данных состоит из нескольких пунктов:

1. Подсчитать степень относительной деформации образцов по формуле

$$\varepsilon = \frac{D_H^2 - D_K^2}{D_H^2} \cdot 100\%.$$

2. Определить фактическое значение напряжения волочения по формуле

$$\sigma_{\text{вол}}^3 = \frac{4P_{\text{вол}}}{\pi D_K^2}.$$

3. Определить значения временного сопротивления разрушению исходных образцов и образцов после волочения

$$\sigma_{BH} = \frac{4P_{H \max}}{\pi D_H^2}, \quad \sigma_{BK} = \frac{4P_{K \max}}{\pi D_K^2}.$$

4. По выражению (9) определить коэффициент запаса  $\gamma_3$ .

5. Рассчитать по формуле (8) напряжение волочения  $\sigma_{\text{вол}}$  для условий данного эксперимента. При этом величину напряжения противонапряжения  $\sigma_q$  принять равной  $0,15 \sigma_{bh}$ , а коэффициент трения – равным  $0,08$ .

6. Определить относительную разность между экспериментальными и расчётными значениями напряжения волочения:

$$m = \frac{\sigma_{\text{вол}}^3 - \sigma_{\text{вол}}^p}{\sigma_{\text{вол}}^3} \cdot 100\%.$$

7. Все данные, полученные в ходе измерений и расчётов, занести в табл. 5.

Таблица 5

Результаты измерения усилия и расчёта технологических параметров процесса

$D_H$ , мм	$D_K$ , мм	$\varepsilon$ , %	$P_{H \max}$ , кН	$P_{K \max}$ , кН	$\sigma_{bh}$ , МПа	$\sigma_{bk}$ , МПа	$P_{\text{вол}}$ , кН	$\sigma_{\text{вол}}^3$ , МПа	$\sigma_{\text{вол}}^p$ , МПа	$m$ , %	$\gamma_3$



## **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение напряжения волочения.
2. Перечислите основные параметры, от которых зависит напряжение волочения.
3. Как зависит напряжение волочения от степени деформации?
4. За счёт каких факторов возрастает напряжение волочения при увеличении степени деформации?
5. Каким образом можно изменять степень деформации при волочении и какими показателями она определяется?
6. Каково значение  $\sigma_{\text{вол}}$  для технологии волочения?
7. С помощью каких факторов можно уменьшить напряжение волочения и, следовательно, повысить деформацию за проход?
8. Что произойдёт, если напряжение волочения будет больше  $\sigma_{sk}$ ?
9. Что такое коэффициент запаса при волочении и как его определяют?
10. Почему при расчёте режима волочения необходимо принимать коэффициент запаса?
11. Каковы численные значения коэффициента запаса при волочении прутков, толстостенных труб и профилей?
12. Каковы численные значения коэффициента запаса при волочении тонкостенных труб и профилей, проволоки малых диаметров?

## **7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Важным параметром технологического процесса дуговой сварки (варианты задания 1...5) является подготовка кромок и сборка заготовок. Поэтому необходимо прежде всего указать тип соединения, форму разделки кромок, сборку под сварку (зазор). Подготовку кромок под сварку выполняют по стандарту, номер которого указывают на чертеже. Например, на рисунке заготовки задания указано Аф-С5 (ГОСТ 8713-79), что означает: Аф – автоматическая сварка под слоем флюса; С5 – условное обозначение шва сварного соединения. В этом же стандарте приведены поперечные сечения сварных швов с указанием геометрических размеров для заданных толщин металла.

Режим сварки – один из основных элементов технологического процесса, который определяет качество и производительность сварки.

При *ручной дуговой сварке* (вариант задания 1) основными параметрами режима сварки являются: диаметр электрода в миллиметрах, сварочный ток в амперах ( $I_{\text{св}}$ ), напряжение на дуге в вольтах ( $U_{\text{д}}$ ) и скорость сварки в метрах в час ( $V_{\text{св}}$ ).

Определение режима сварки начинают с выбора диаметра электрода, его типа и марки. Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, а его марка – от химического состава. При выборе типа и марки электрода следует исходить из требований, предъявляемых к качеству сварного шва.

Производительность процесса сварки определяется величиной коэффициента наплавки  $a_n$  (г/А·ч). Поэтому из группы электродов, обеспечивающих заданные физико-механические свойства сварного шва, следует выбирать те, которые имеют более высокий коэффициент наплавки и, следовательно, обеспечивают большую производительность процесса.

Величину сварочного тока в зависимости от диаметра электрода определяют по формуле  $I_{св} = k d_{эл}$ , где  $k$  – коэффициент, равный 50 А/мм;  $d_{эл}$  – диаметр электрода, мм.

Напряжение на дуге для наиболее широко применяемых электродов в среднем составляет 25...28 В. Скорость сварки, м/ч, определяется из выражения

$$V_{св} = \frac{a_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_{н.м} \cdot 100},$$

где  $a_n$  – коэффициент наплавки, г/(А·ч);  $\gamma$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>;  $F_{н.м}$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, см<sup>2</sup>, представляющая сумму площадей элементарных геометрических фигур, составляющих сечение шва.

Зная площадь наплавленного металла, плотность и длину сварных швов, можно определить его массу на всё изделие по формуле

$$G_{н.м} = F_{н.м} \cdot L \cdot \gamma,$$

где  $G_{н.м}$  – масса наплавленного металла, г;  $F_{н.м}$  – площадь наплавленного шва, см<sup>2</sup>;  $L$  – длина сварных швов на изделии, см;  $\gamma$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>.

Расход толстопокрывых электродов с учётом потерь приближённо можно принять равным 1,6...1,8 от массы наплавленного металла.

Количество электроэнергии (кВт·ч), идущей на сварку изделия, определяется как произведение сварочного тока на напряжение дуги и на время сварки. Время сварки изделия легко подсчитать, зная скорость сварки, или определить по формуле

$$t_{св} = \frac{G_{н.м}}{a_n \cdot I_{св}}.$$

При автоматической сварке под флюсом (варианты 2 и 10) в режим входят: диаметр электродной проволоки, сварочный ток, напряжение на дуге, скорость подачи электродной проволоки и скорость сварки. Они

выбираются в зависимости от толщины свариваемого металла по справочникам или рассчитываются.

Марку электродной проволоки и флюс назначают в зависимости от химического состава свариваемого металла. При сварке низкоуглеродистых сталей в большинстве случаев применяются флюсы марок АН-348А и ОСЦ-45 (ГОСТ 9087-81) и низкоуглеродистые электродные проволоки марок Св-08 и Св-08А (ГОСТ 2246-70).

Режим автоматической сварки под флюсом назначают в такой последовательности: устанавливают требуемую глубину проплавления  $h$ , мм. При односторонней сварке она равна толщине ( $s$ ) металла  $h = s$ ; а при двусторонней  $h = 0,6s$ . Выбирают ориентировочно сварочный ток из расчёта 80...100 А на 1 мм глубины проплавления:

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100)h,$$

где  $I_{\text{св}}$  – сварочный ток, А;  $h$  – глубина проплавления, мм.

Назначают напряжение на дуге в диапазоне 30...40 В.

Масса наплавленного металла на изделие подсчитывается по той же методике, что и для ручной дуговой сварки.

При определении расхода электродной проволоки следует учитывать потери металла на угар и разбрызгивание (не весь металл проволоки переходит в шов), которые составляют для сварки под флюсом 2...5 %.

Расход флюса при автоматической сварке принимают равным массе наплавленного металла.

Диаметр электродной проволоки  $d_{\text{эл}}$  выбирают расчётом или по справочнику. Так, для толщин металла 8...10 мм он составляет 5 мм. Коэффициент наплавки  $a_{\text{н}}$  выбирают в зависимости от сварочного тока и диаметра электродной проволоки, что составляет в среднем 14...16 г/(А·ч).

Скорость сварки, расход электроэнергии и время сварки подсчитываются по той же методике, что и для ручной дуговой сварки.

При сварке в среде защитного газа плавящимся электродом основными параметрами технологического режима являются: сварочный ток в амперах ( $I_{\text{св}}$ ), напряжение на дуге в вольтах ( $U_{\text{д}}$ ), диаметр электродной проволоки ( $d_{\text{эл}}$ ), скорость сварки ( $V_{\text{св}}$ ), вылет электрода в миллиметрах ( $l_{\text{эл}}$ ), род тока и полярность.

Для назначения режима автоматической сварки в углекислом газе необходимо выбрать марку и диаметр электродной проволоки. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей широкое применение получили проволоки с повышенным содержанием элементов раскислителей марок Св-08Г2С, Св-08ГС (ГОСТ 2246-70). Для автоматической сварки обычно применяют проволоку диаметром 2...5 мм, причём диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины металла по справочнику. Так, для толщин 4...12 мм рекомендуется проволока диаметром 2 мм.

Ориентировочное напряжение на дуге ( $U_d$ ) можно определить по формуле  $U_d = 8 (d_{эл} + 1,6)$ .

Сварочный ток  $I_{св}$  следует рассчитать приближённо.

Устанавливают вылет электрода, который для электродных проволок  $d_{эл} = 2...5$  мм составляет 20...30 мм, а также род и полярность тока.

Далее определяют массу наплавленного металла, время и скорость сварки по той же методике, что и при ручной сварке.

Коэффициент наплавки  $a_n$  для вариантов заданий 3 и 5 можно принять равным 18...20 г/(А·ч). При определении расхода электродной проволоки следует учитывать потери металла на угар и разбрызгивание, которые составляют 5...10 % от массы наплавленного металла.

Расход защитного газа зависит от способа и режима сварки и устанавливается по справочным данным. Если знать минутный расход защитного газа и время сварки, то легко подсчитать общее количество газа, идущего на сварку изделия. Расход электроэнергии определяют так же, как и для ручного процесса.

В режим полуавтоматической сварки в среде углекислого газа входят те же технологические параметры, что и для автоматической сварки. Расход материалов (начиная с определения массы наплавленного металла), электроэнергии и времени сварки подсчитывается по той же методике, что и для автоматической сварки в среде углекислого газа.

В режим сварки в среде аргона (инертного газа) входят те же технологические параметры, что и для автоматической сварки в среде углекислого газа (активного), которые выбирают по справочнику.

Марку электродной проволоки выбирают в зависимости от химического состава свариваемого материала. Для сварки коррозионно-стойких нержавеющей сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т и других применяют электродные проволоки марок СВ-01Х19Н9 и СВ-06Х19Н9Т (ГОСТ 2246-70). Все расчёты по определению расхода материалов, электроэнергии и времени сварки ведут по той же методике, что и для автоматической сварки в среде углекислого газа. В среде аргона потери на угар и разбрызгивание составляют 2...3 % от массы наплавленного металла. Коэффициент наплавки  $a_n$ , который необходим при определении некоторых параметров режима, можно принять равным 17 г/(А·ч).

*Примечание.* При сварке заготовок, имеющих форму цилиндра, необходимо на рисунке указать последовательность выполнения сварных швов. В конце задания следует привести описание наиболее рациональных методов контроля качества сварного соединения.

При выполнении заданий по **контактной сварке** (варианты заданий 6...9) после изображения схемы процесса, описания его сущности следует указать причины нагрева металла в месте контакта соединяемых заготовок. Необходимо начертить и описать циклограмму сварки (изменение

давления и сварочного тока во времени), а также область применения способов сварки.

Вторую часть задания следует начинать с описания подготовки заготовок под сварку и её назначения, а затем приступать к выбору типа контактной машины. При контактной сварке тип машины выбирают по справочнику в зависимости от параметров свариваемых заготовок и их химического состава: так, при стыковой сварке **сопротивлением и оплавлением** – от площади поперечного сечения заготовок, мм<sup>2</sup>; при **точечной и шовной сварке** – от толщины свариваемых заготовок, мм. После выбора типа машины необходимо указать её техническую характеристику.

Режим сварки – это совокупность основных показателей процесса. В режим стыковой сварки сопротивлением и оплавлением входят: установочная длина  $l$  (мм) – суммарное расстояние между электродами  $2l$ ; плотность тока  $j$  (А/мм) (сварочный ток); усилие осадки  $P$  (Н); длительность прохождения тока  $t_{св}$  (с).

Установочная длина при сварке сопротивлением равна  $l = (0,5 \dots 0,7)D$ , где  $D$  – диаметр заготовки, мм.

При сварке оплавлением установочную длину с учётом припусков на оплавление и осадку приближённо можно считать равной  $l = (0,5 \dots 1,0)D$ .

*Примечание.* На схеме процесса стыковой сварки сопротивлением и оплавлением необходимо указать установочную длину.

Сварочный ток и усилие при осадке приближённо можно определить из следующих условий:  $I_{св} = j \cdot F_{заг}$  и  $P = p \cdot F_{заг}$ , где  $I_{св}$  – сварочный ток, А;  $j$  – плотность тока, А/мм;  $F_{заг}$  – площадь заготовки;  $P$  – давление, Н/мм<sup>2</sup>.

При этом следует учитывать, какие режимы более выгодно применять: жёсткие или мягкие. Время сварки изделия ориентировочно подсчитывают из условия часовой производительности выбранной машины.

Для расчёта основных технологических параметров при точечной сварке следует определить диаметр контактной поверхности электрода, который зависит от толщины свариваемых заготовок:  $d_{Г} = 2s + 3$  мм, где  $s$  – толщина более тонкой заготовки, мм.

Таким образом можно определить и площадь контактной поверхности  $F_{эл}$  при точечной и шовной (для случая отсутствия вращения ролика) сварке. Сварочный ток и усилие, приложенное на электродах для этих видов сварки, подсчитывают как произведение площади контактной поверхности  $F_{эл}$  электрода на плотность тока  $j$  и давление  $p$ :  $I_{св} = j \cdot F_{эл}$  (для сталей плотность тока  $j \approx 0,2 \dots 0,4$  кА/мм<sup>2</sup>) и  $P = p \cdot F_{эл}$  (для малоуглеродистых сталей давление  $p \leq 120$  Н/мм<sup>2</sup>). Следует учитывать, какие режимы более целесообразно применять: жёсткие (при малом значении  $t_{св}$  – большое значение сварочного тока  $I_{св}$ ) или мягкие (при большом значении  $t_{св}$  – малое значение сварочного тока  $I_{св}$ ). Зная время сварки одной

точки, а при шовной сварке – оптимальную скорость, определяют время сварки изделия.

*Примечание.* Для **шовной** сварки ток и усилие на электродах определяют расчётом этих параметров для точечной сварки с последующим увеличением тока в 1,5...2 раза, а усилия – на 10...30 %.

В конце работы необходимо описать наиболее характерные дефекты и причины их возникновения при заданном способе контактной сварки.

## Варианты контрольного задания

### Вариант 1

Изобразите схему и опишите сущность процесса ручной электродуговой сварки покрытыми электродами. Укажите назначение покрытия. Разработайте процесс сварки цилиндрической части резервуара из стали марки Ст3. Производство мелкосерийное. Укажите тип соединения, форму разделки кромок под сварку (по стандарту) и приведите эскиз сечения шва с указанием размеров.

Подберите марку и диаметр электрода, определите режим сварки. По размерам шва подсчитайте массу наплавленного металла. Определите расход электродов с учётом потерь, расход электроэнергии и время сварки изделия. Укажите методы контроля качества сварного шва (рис. 10).

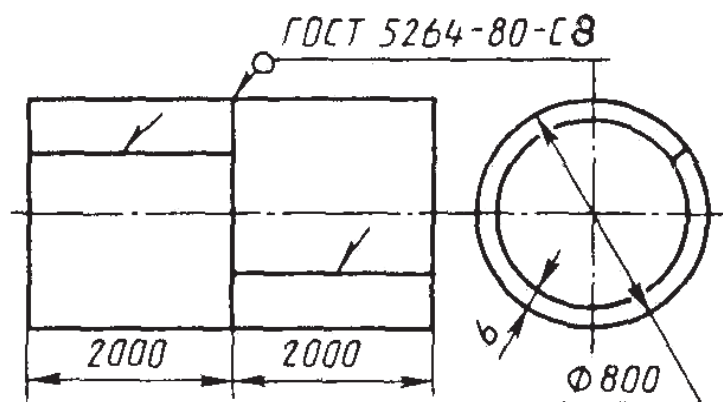


Рис. 10. Свариваемые цилиндры

### Вариант 2

Изобразите схему и опишите сущность процесса автоматической сварки под слоем флюса. Укажите назначение флюса и флюсовой подушки. Разработайте процесс односторонней сварки плиты из стали марки Ст3. Производство крупносерийное. Укажите тип соединения и форму разделки кромок под сварку по стандарту. Приведите эскиз сечения шва с указанием размеров. Выберите марку и диаметр электродной проволоки и флюса. Подберите режим сварки. По размерам шва подсчитайте массу наплавленного металла. Определите расход электродной проволоки и флюса с учё-

том потерь, расход электроэнергии и время сварки изделия. Укажите методы контроля качества сварного шва (рис. 11).

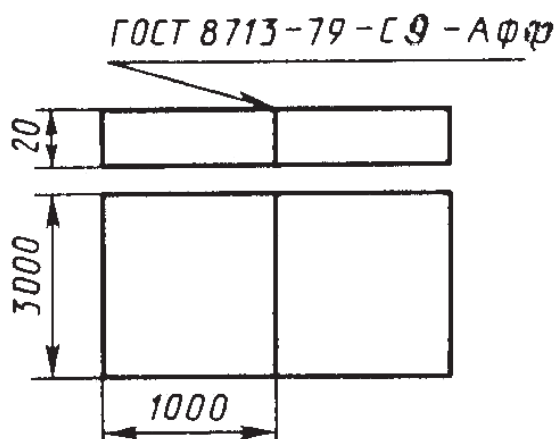


Рис. 11. Свариваемые плиты

### Вариант 3

Изобразите схему и опишите сущность процесса полуавтоматической сварки в среде углекислого газа. Укажите особенности и достоинства сварки в углекислом газе. Разработайте процесс сварки двутавровой балки из стали марки Ст3. Шов прерывистый:  $l/t = 100/200$ . Укажите тип соединения и форму разделки кромок под сварку по стандарту. Приведите эскиз сечения шва с указанием размеров. Выберите марку и диаметр электродной проволоки. Подберите режим сварки. Укажите вылет электрода, род тока и полярность. По размерам шва подсчитайте массу наплавленного металла. Определите расход электродной проволоки с учётом потерь и защитного газа, расход электроэнергии и время сварки изделия. Укажите методы контроля качества сварного шва (рис. 12).

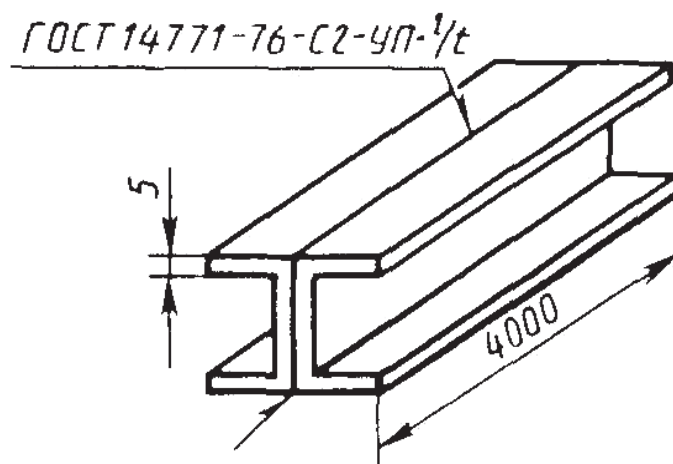


Рис. 12. Двутавровая балка

#### **Вариант 4**

Изобразите схему автоматической сварки в среде аргона плавящимся электродом и опишите сущность процесса. Укажите особенности и достоинства сварки в среде инертных газов. Разработайте процесс сварки сосуда из стали 12Х18Н10Т. Укажите тип соединения и форму разделки кромок под сварку по стандарту. Приведите эскиз сечения шва с указанием размеров. Выберите марку и диаметр электродной проволоки. Подберите режим сварки. Укажите вылет электрода, род тока и полярность. По размерам шва подсчитайте массу наплавленного металла. Определите расход электродной проволоки с учётом потерь, защитного газа, электроэнергии и время сварки изделия. Укажите методы контроля качества сварного шва (рис. 13).

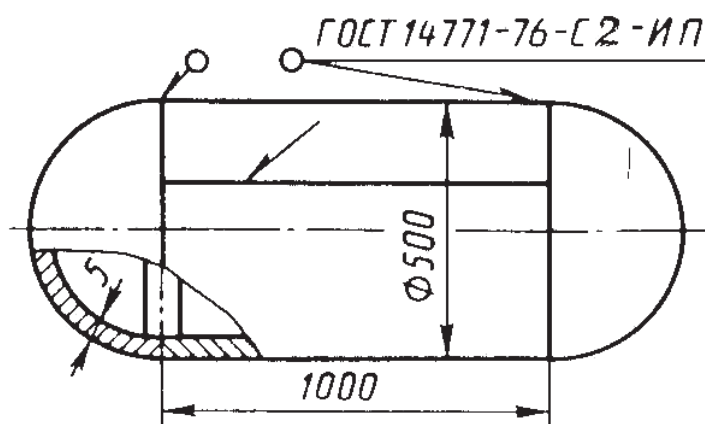


Рис. 13. Конструкция сосуда

#### **Вариант 5**

Изобразите схему и опишите сущность процесса автоматической сварки в среде углекислого газа. Укажите особенности и достоинства сварки в углекислом газе. Разработайте процесс сварки коробчатой балки из стали марки Ст3. Укажите тип соединения и форму разделки под сварку по стандарту. Приведите эскиз сечения шва с указанием размеров. Выберите марку и диаметр электродной проволоки. Подберите режим сварки. Укажите вылет электрода, род тока и полярность. По размерам шва подсчитайте массу наплавленного металла. Определите расход электродной проволоки с учётом потерь, защитного газа, расход электроэнергии и время сварки изделия. Укажите методы контроля качества сварного шва (рис. 14).



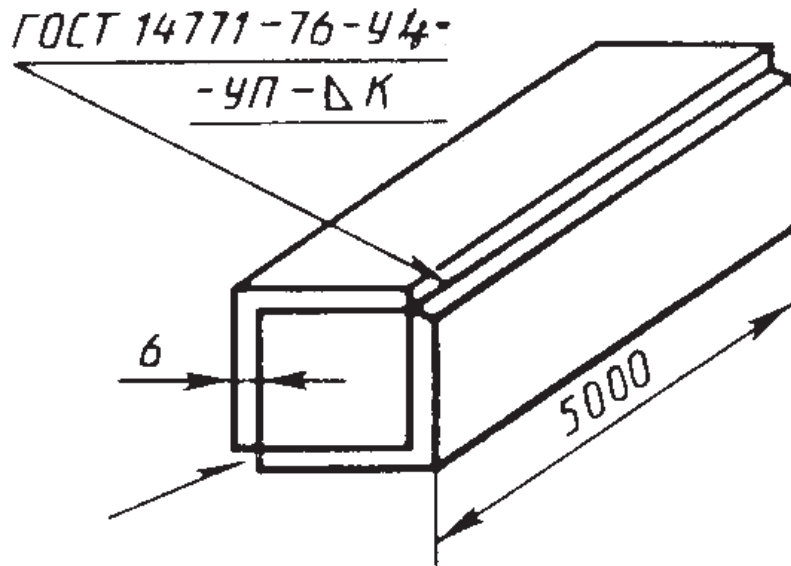


Рис. 14. Конструкция коробчатой балки

### Вариант 6

Изобразите схему и опишите сущность процесса контактной точечной электросварки. Начертите и опишите циклограмму процесса точечной сварки. Объясните, за счёт чего металл ядра в месте контакта заготовок доводится до жидкопластичного состояния. Разработайте процесс сварки панели из стали марки Ст3. Шаг точек  $t = 5d_T$ . Производство массовое. Укажите подготовку заготовок под сварку. По толщине свариваемых заготовок выберите тип машины и укажите её технические данные. Рассчитайте, площадь контактной поверхности электрода. По значениям  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) и  $p$  (Н/мм<sup>2</sup>) определите сварочный ток и усилие, приложенное на электродах. Определите время сварки изделия. Укажите возможные дефекты и причины их возникновения (рис. 15).

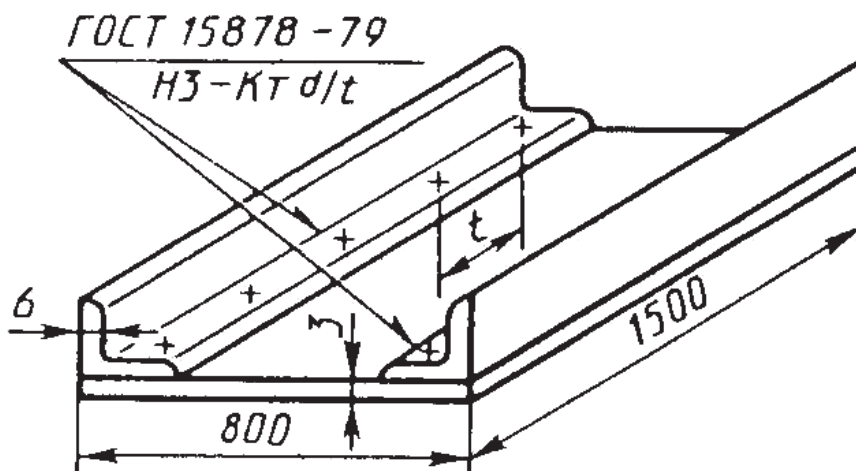


Рис. 15. Схема панели

### Вариант 7

Изобразите схему и опишите сущность процесса контактной шовной (роликовой) сварки. Начертите и опишите циклограмму процесса шовной сварки. Объясните, за счёт чего металл ядра в месте контакта заготовок доводится до жидкопластичного состояния. Разработайте процесс сварки бензобака из стали марки Ст3. Производство массовое. Укажите подготовку заготовок под сварку. По толщине свариваемых заготовок выберите тип машины и укажите её технические данные. Рассчитайте площадь контактной поверхности электрода (для случая отсутствия вращения ролика). По значениям  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) и  $p$  (Н/мм<sup>2</sup>) определите сварочный ток и усилие, приложенное на роликах, время сварки изделия. Укажите возможные дефекты и причины их возникновения (рис. 16).

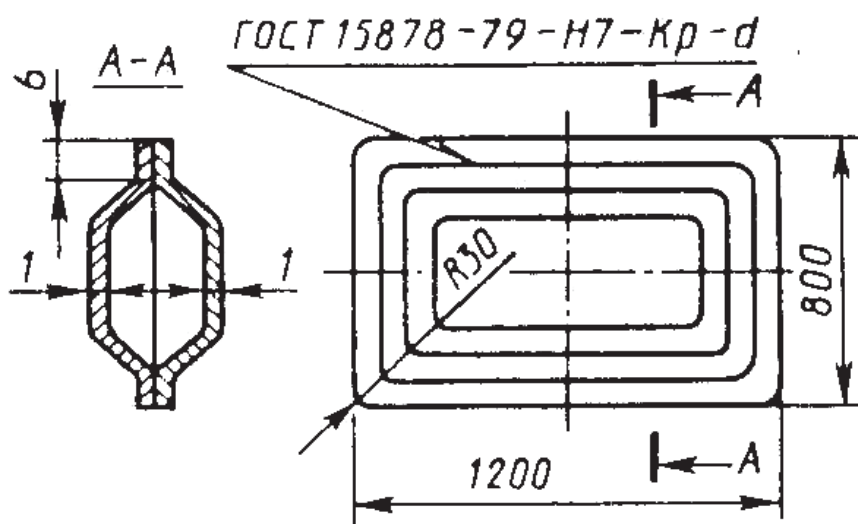


Рис. 16. Схема бензобака

### Вариант 8

Изобразите схему и опишите сущность процесса контактной стыковой сварки сопротивлением. Начертите и опишите циклограмму процесса стыковой сварки сопротивлением. Объясните, почему в месте контакта заготовок выделяется наибольшая тепловая энергия. Разработайте процесс сварки стержней из стали марки Ст3. Производство крупносерийное. Укажите подготовку заготовок под сварку. По площади сечения заготовок выберите тип машины и укажите её технические данные. По значениям  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) и  $p$  (Н/мм<sup>2</sup>) определите ток и усилие осадки. Подсчитайте установочную длину и время сварки изделия. Укажите возможные дефекты и причины их возникновения (рис. 17).

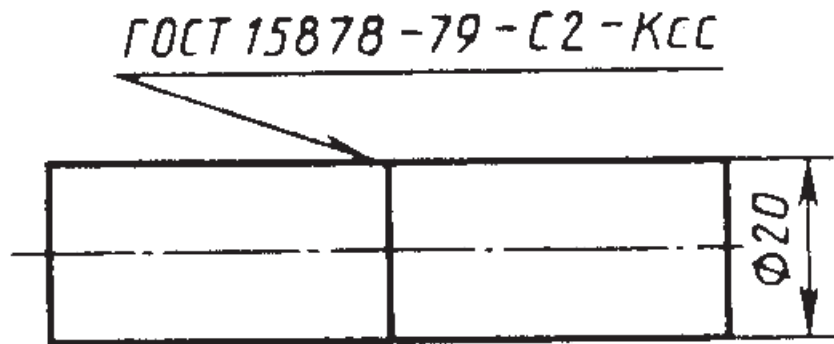


Рис. 17. Схема стержня

**Вариант 9**

Изобразите схему и опишите сущность процесса контактной стыковой сварки оплавлением. Начертите и опишите циклограмму процесса стыковой сварки оплавлением. Объясните, за счёт чего происходит процесс сварки труб из стали марки Ст3. Производство массовое. Укажите подготовку заготовок под сварку. По площади сечения свариваемых заготовок выберите тип машины и укажите её технические данные. По значениям  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) и  $p$  (Н/мм<sup>2</sup>) определите сварочный ток и усилие осадки. Определите установочную длину с учётом припуска на оплавление и осадку, время сварки изделия. Укажите возможные дефекты и причины их возникновения (рис. 18).

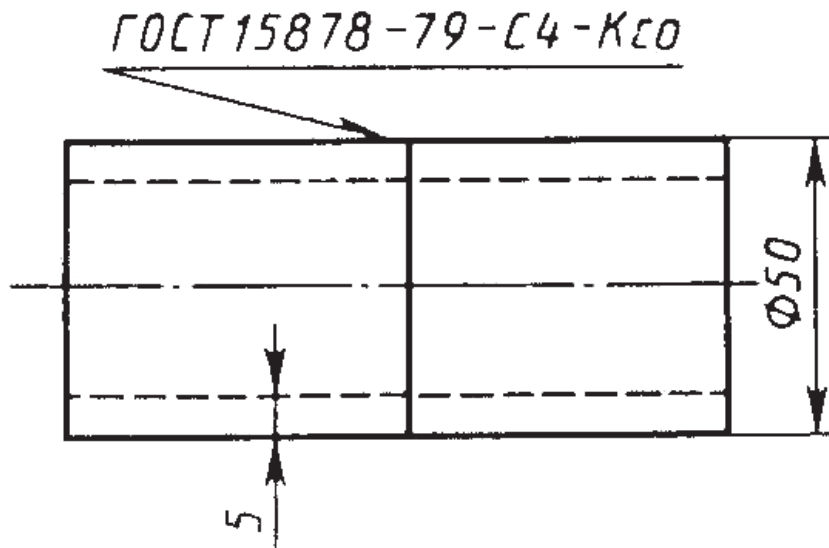


Рис. 18. Схема свариваемых заготовок труб

**Вариант 10**

Изобразите схему и опишите сущность процесса автоматической сварки под слоем флюса. Укажите назначение флюса и медного ползуна. Разработайте процесс односторонней сварки трубы из стали марки Ст3. Производство крупносерийное. Укажите тип соединения и форму разделки

кромки под сварку по стандарту. Дайте эскиз сечения шва с указанием размеров.

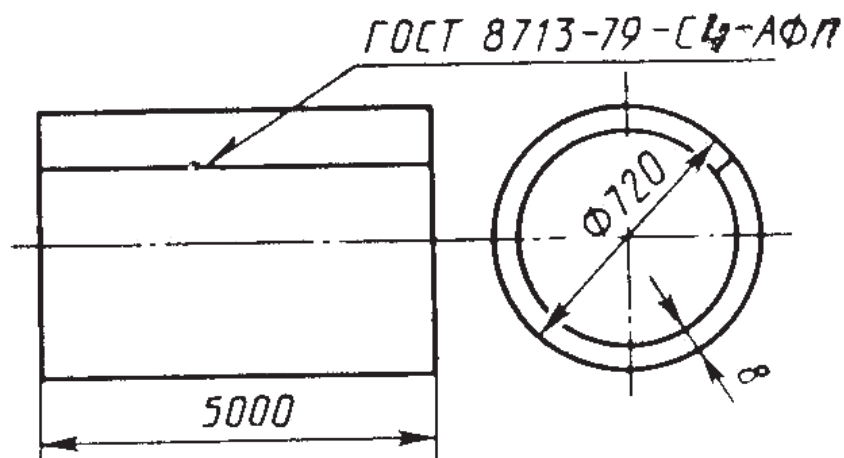


Рис. 19. Схема свариваемых заготовок труб

Выберите марку и диаметр электродной проволоки и флюса. Подберите режим сварки. По размерам шва подсчитайте массу наплавленного металла. Определите расход электродной проволоки и флюса с учётом потерь, расход электроэнергии и время сварки изделия. Укажите методы контроля сварного шва (рис. 19).

*Литература:* [1; 2; 3; 4].

## 8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВКИ РЕЗАНИЕМ

Вопрос обработки заготовок резанием обобщённый, и ответ на него требует тщательного изучения соответствующих тем и методических указаний к ним. На рис. 20, а приведён эскиз детали, для которой необходимо дать схемы обработки поверхностей. Прежде чем приступить к выполнению схем обработки, выберите технологические методы.

Например, поверхность 1 целесообразно обрабатывать точением, поверхность 2 – сверлением, поверхность 3 – фрезерованием (рис. 21). Изучите эти методы по [17; 18] и лекционному материалу. Убедитесь в правильности выбора технологических методов обработки.

Назначив метод обработки для каждой поверхности, выберите станок, режущий инструмент и приспособления для закрепления заготовки на станке. Затем нарисуйте схемы обработки, в которых укажите стрелками движения, участвующие в формообразовании поверхности в процессе резания: движения резания и движения подачи; обозначьте их и укажите размерность.

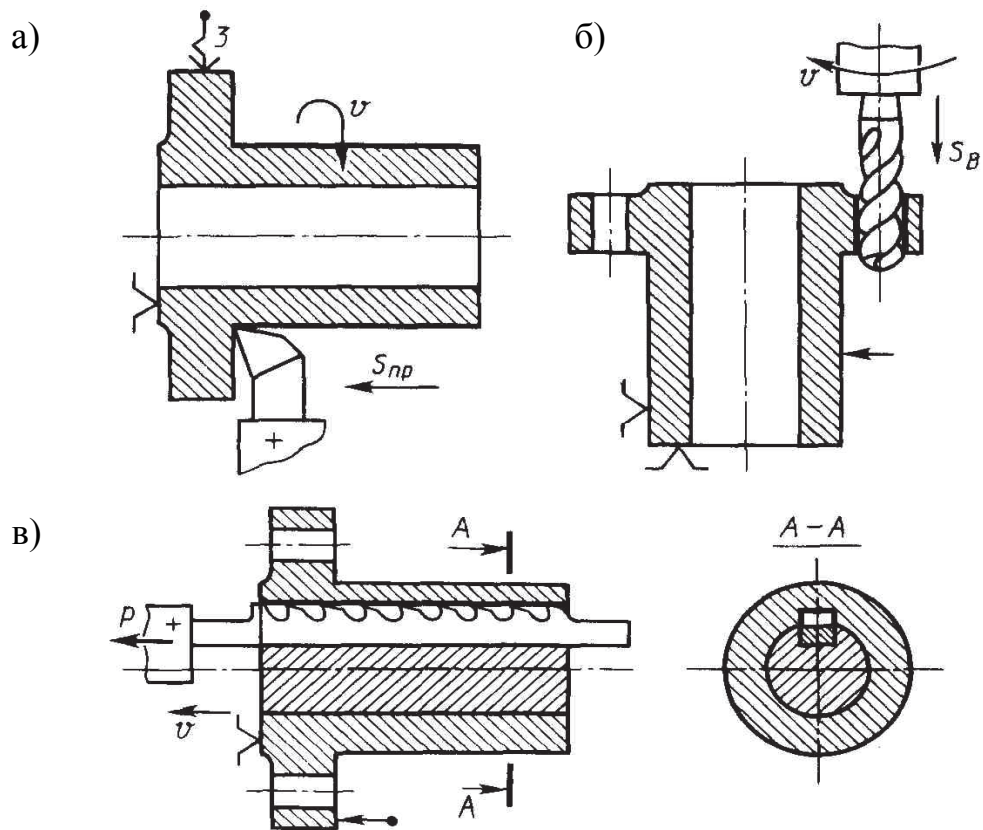


Рис. 20. Схемы обработки поверхностей:  
 а – схема точения; б – схема сверления; в – схема фрезерования

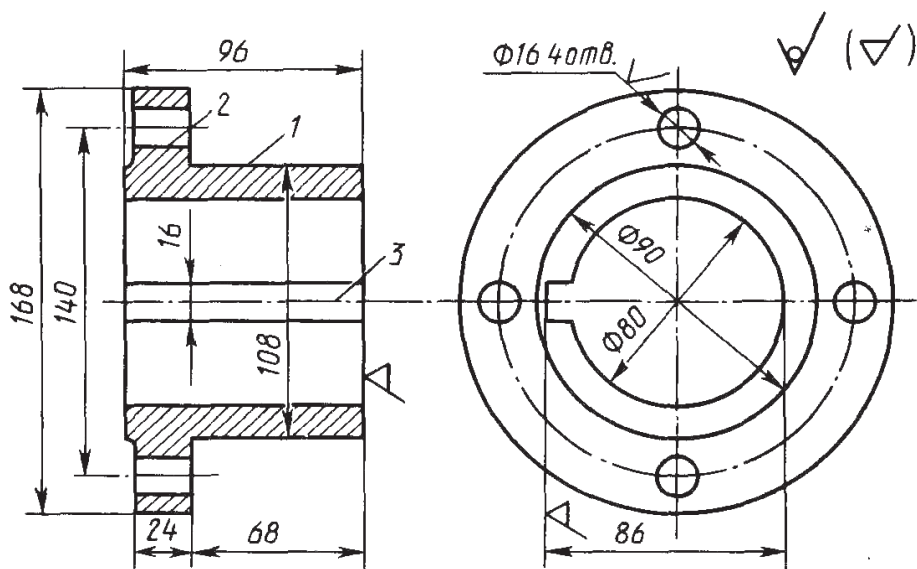


Рис. 21. Эскиз детали

Пример изображения схем обработки для заданных поверхностей детали приведён на рис. 20.

Приведите эскиз режущего инструмента для обработки поверхностей (по варианту задания).

Приведите эскиз приспособления для закрепления заготовки или инструмента (по варианту задания), опишите принцип его работы, указав позициями основные части приспособления (см. рис. 21).

### Варианты контрольного задания

#### Вариант 1

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 22. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 3 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 1.

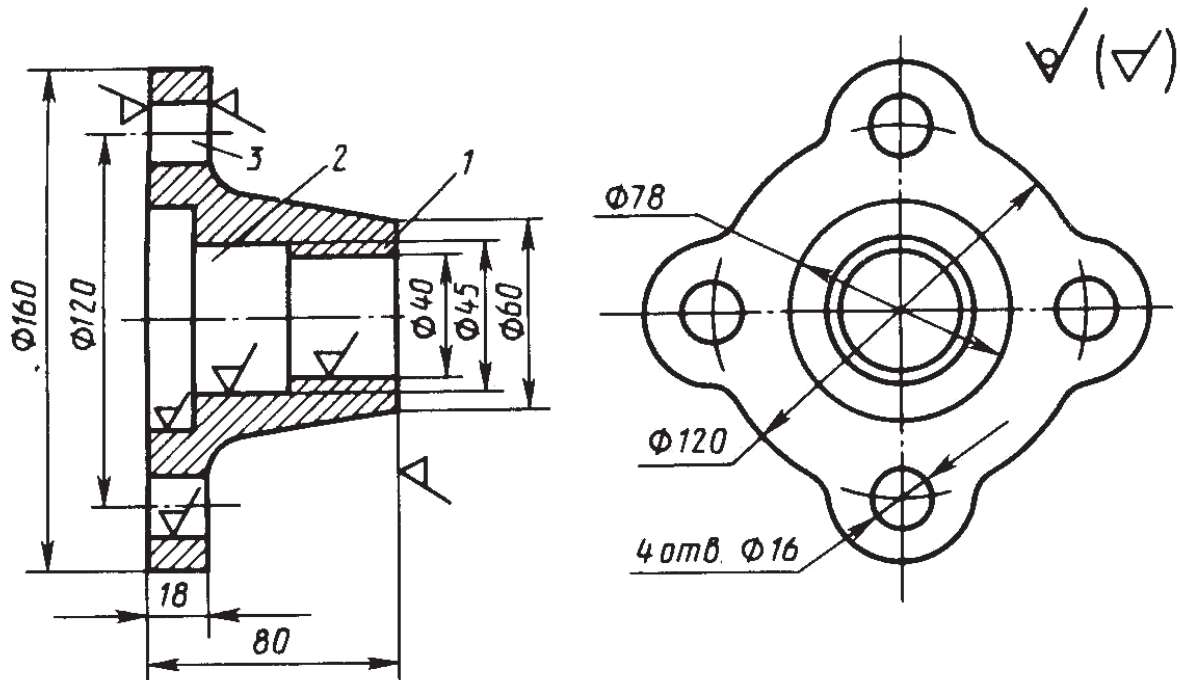


Рис. 22. Эскиз детали к варианту 1

#### Вариант 2

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 23. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 3 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 1.

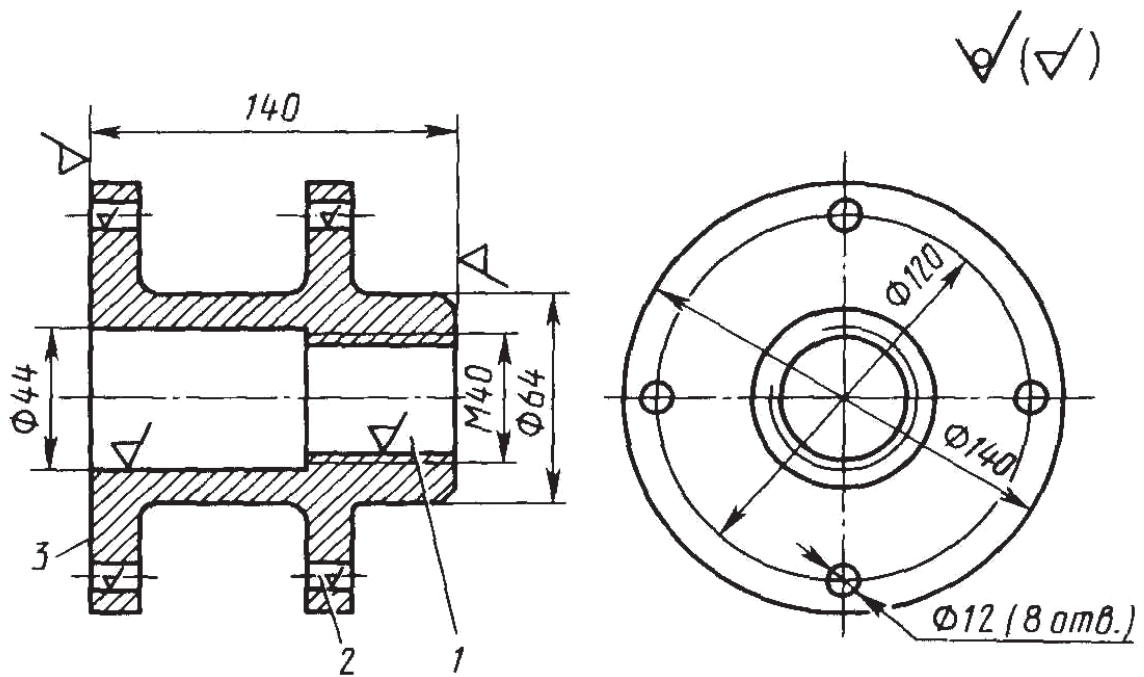


Рис. 23. Эскиз детали к варианту 2

### Вариант 3

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 24. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 1 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 2.

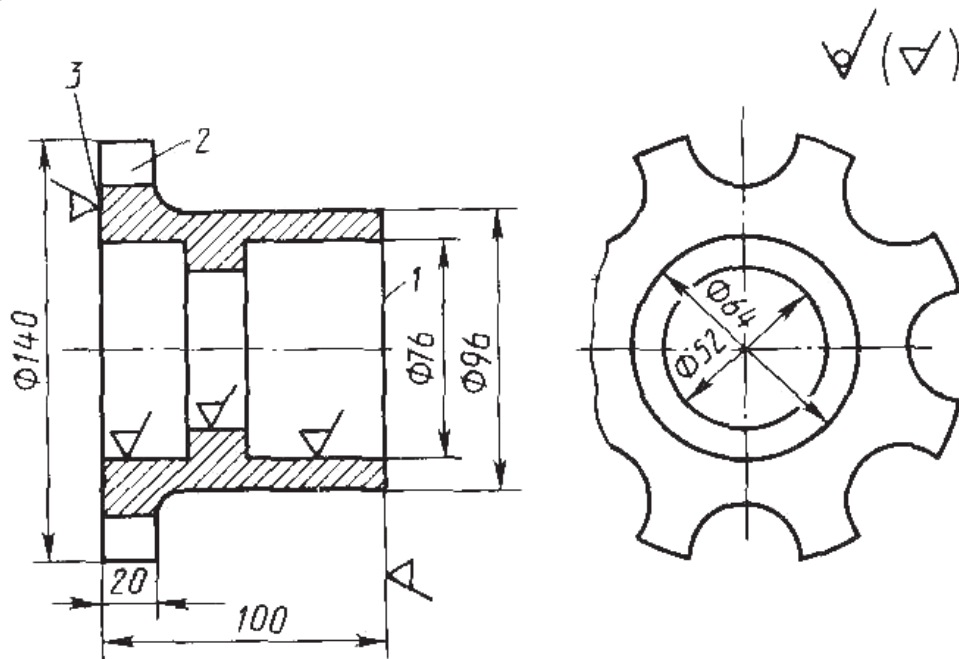


Рис. 24. Эскиз детали к варианту 3

#### **Вариант 4**

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 25. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 1 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 3.

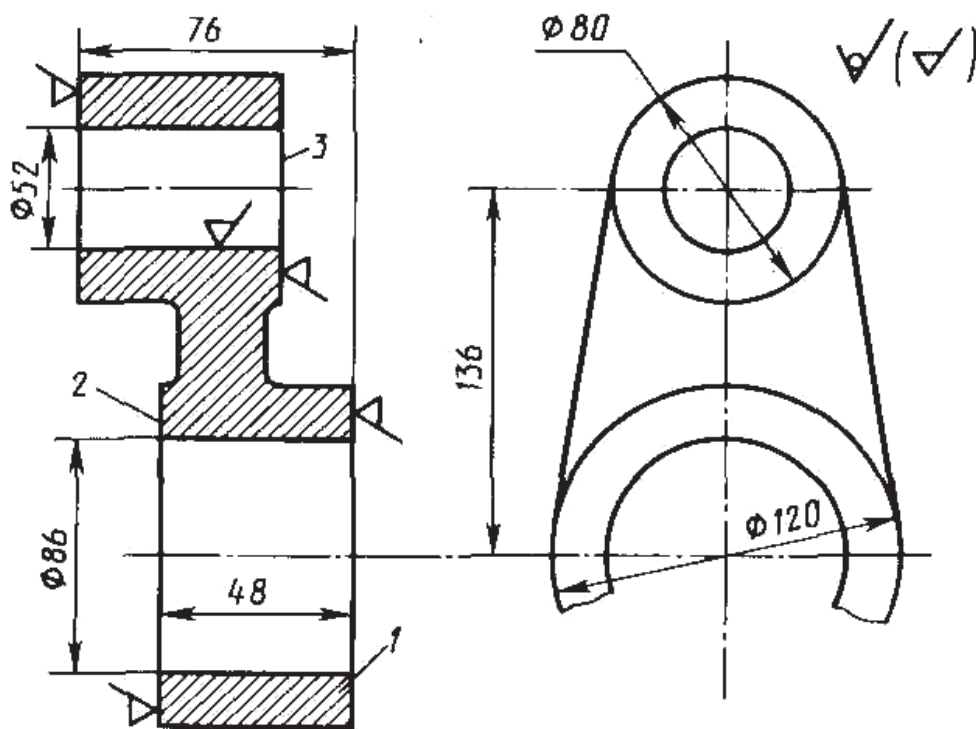


Рис. 25. Эскиз детали к варианту 4

#### **Вариант 5**

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 26. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 2 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 1.

#### **Вариант 6**

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 27. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 3 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 2.



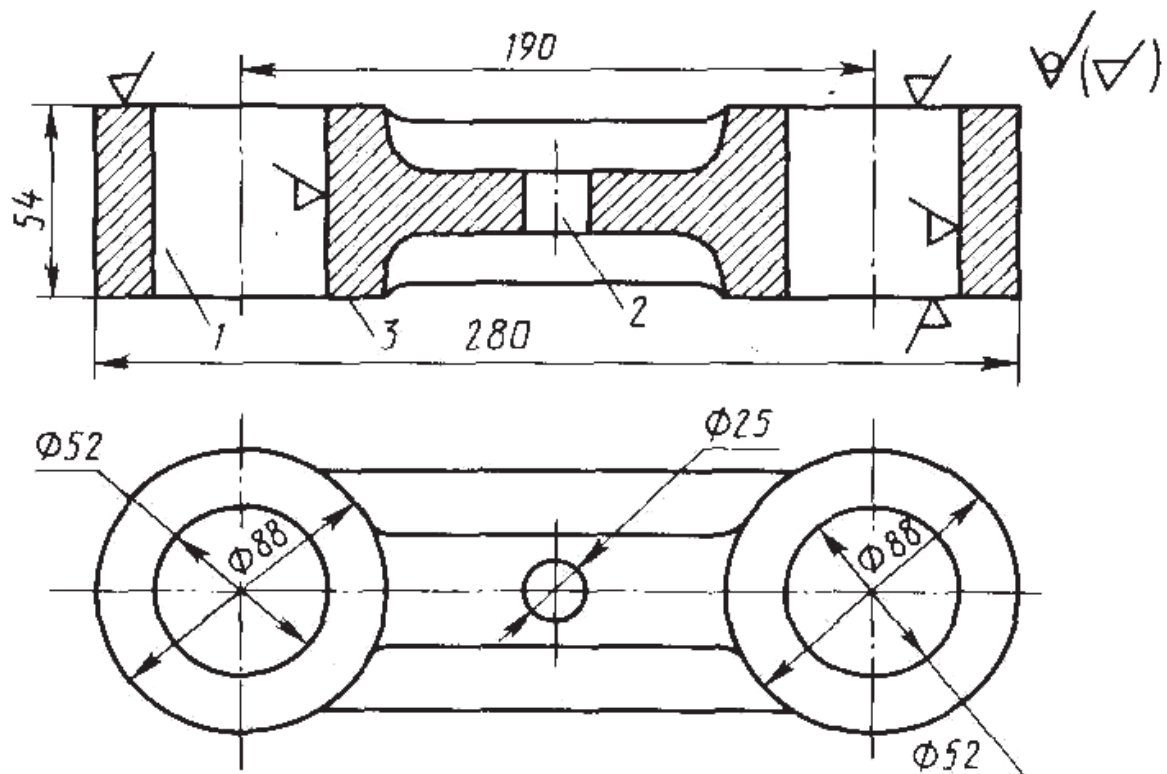


Рис. 26. Эскиз детали к варианту 5

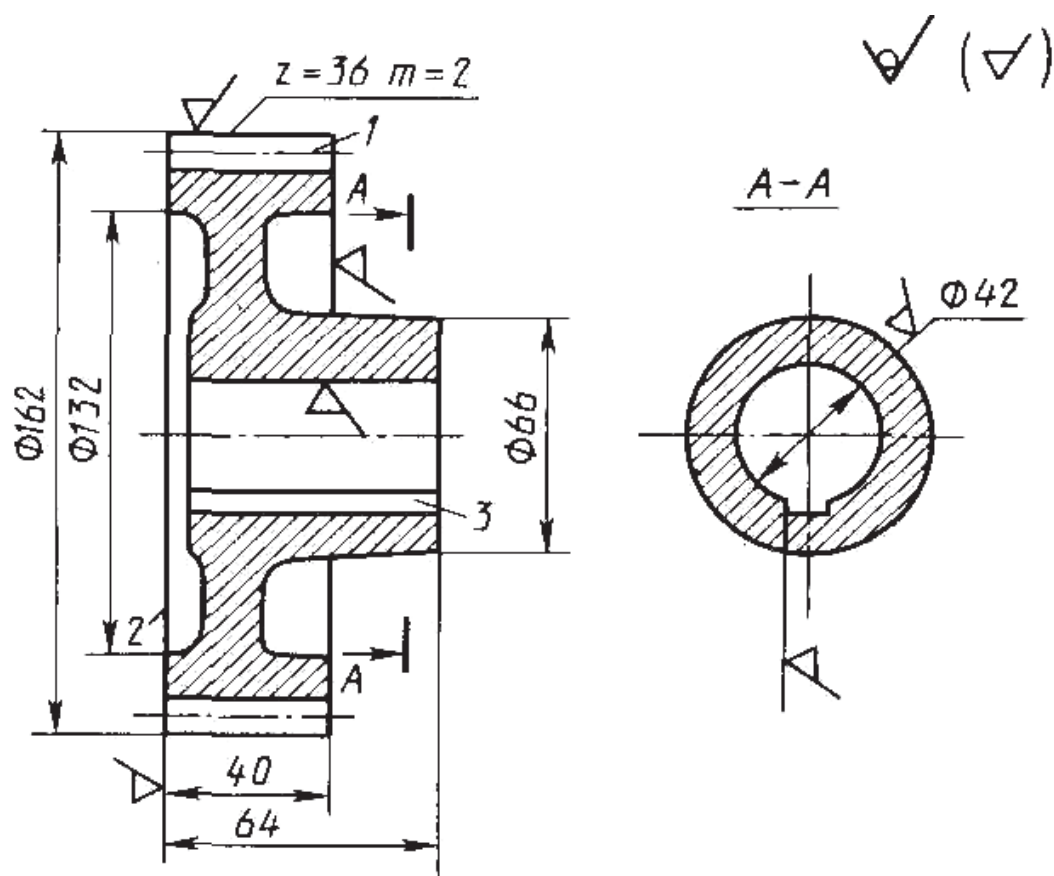


Рис. 27. Эскиз детали к варианту 6

### **Вариант 7**

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 28. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 2 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 1.

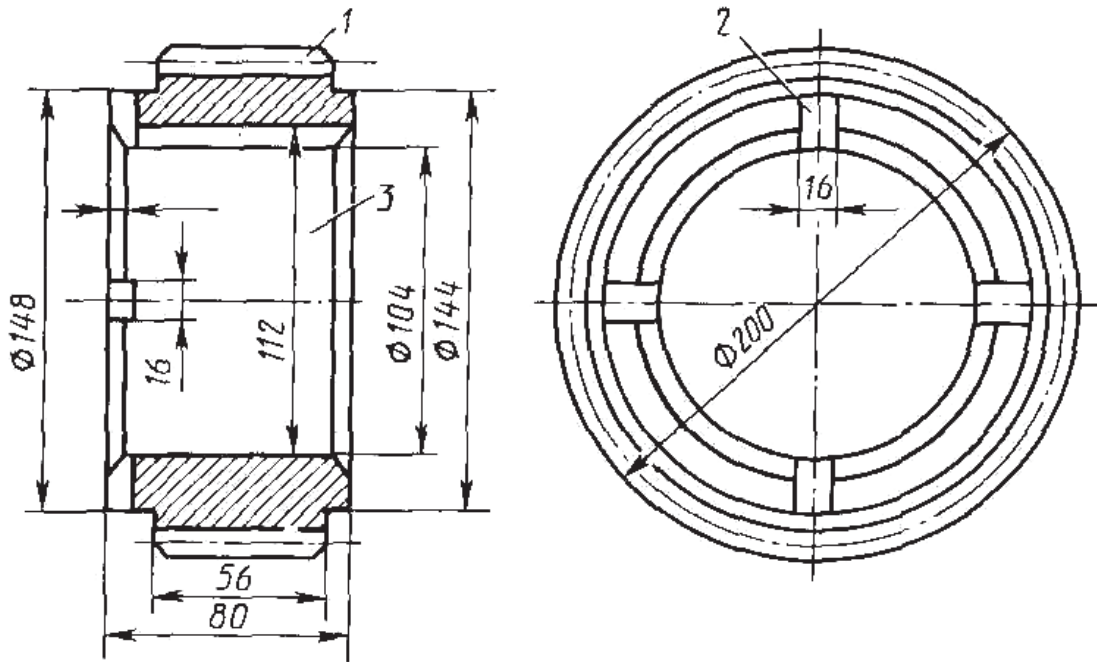


Рис. 28. Эскиз детали к варианту 7

### **Вариант 8**

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 29. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 1 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 3.

### **Вариант 9**

Приведите схемы обработки поверхностей 1, 2, 3 детали, чертёж которой дан на рис. 30. Для каждой схемы укажите название станка, инструмента и зажимных приспособлений. Приведите эскизы инструмента для обработки поверхности 3 и приспособления для закрепления заготовки при обработке поверхности 1.

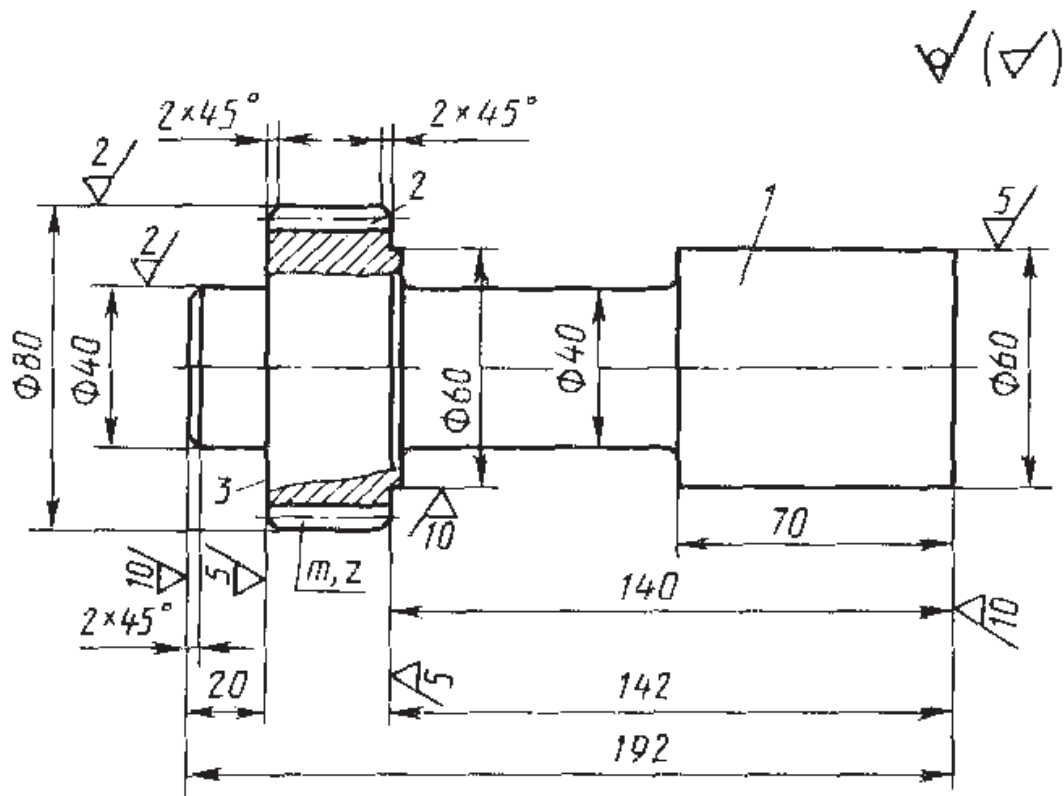


Рис. 29. Эскиз детали к варианту 8

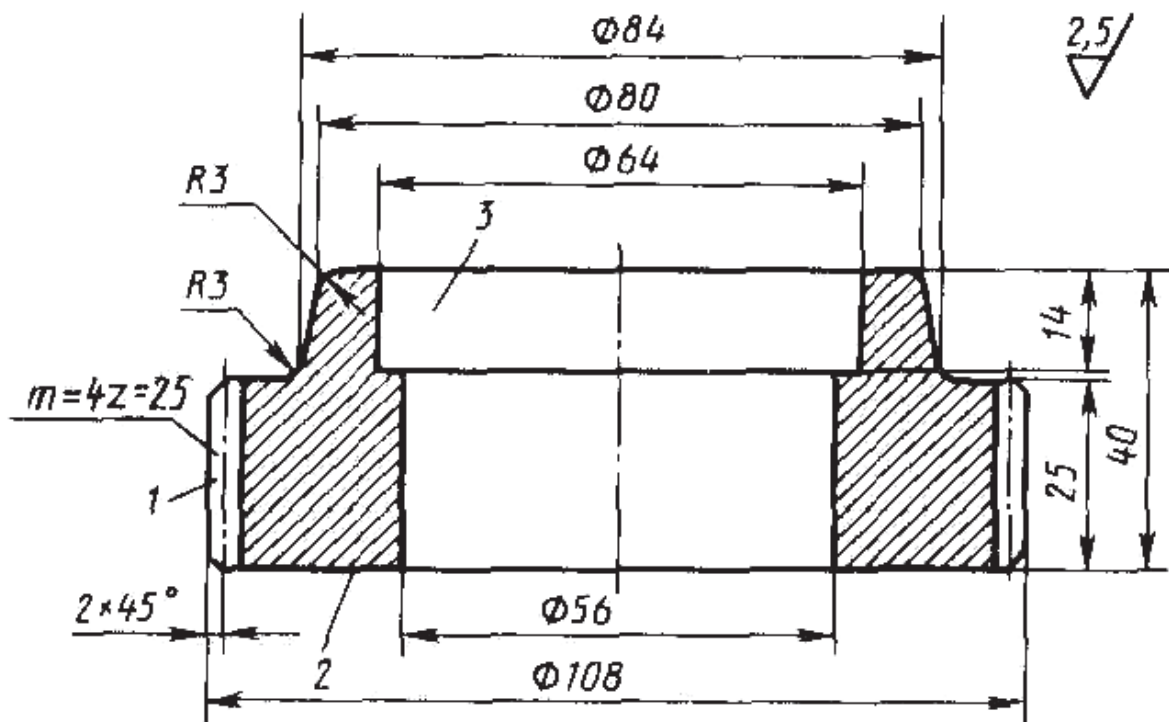


Рис. 30. Эскиз детали к варианту 9

*Литература:* [16; 17; 18].

## 9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПА СОВМЕЩЁННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОБЖИМА-РАЗДАЧИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

Предлагаемый штамп состоит из контейнера *1*, внутри которого установлена разъемная матрица *6* на штоке *3* и трубная заготовка *4*, а также засыпан гранулированный полиуретан *2*, сверху установлен нажимной пуансон *5*. Штамп работает следующим образом: посредством перемещения ползуна прессы с усилием *P* перемещается нажимной пуансон *5* и происходит процесс формообразования детали (рис. 31).

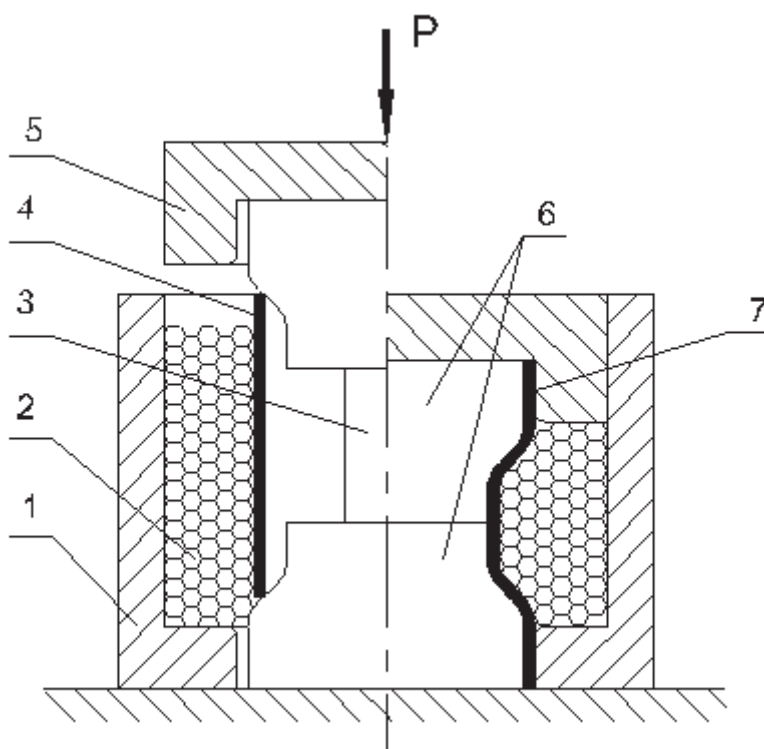


Рис. 31. Штамп совмещённого действия

Совмещённые (комбинированные) штампы применяют для одновременного выполнения операций обжима-раздачи трубной заготовки за один ход ползуна прессы, что обеспечивает высокие технологические возможности процесса. Эти штампы применяют в серийном производстве.

#### Указания по выполнению работы

1. На основе анализа конструкции штампа установить способы фиксации заготовки перед деформацией, удаления детали.
2. Выполнить эскиз детали в изучаемом штампе.
3. Выполнить частичную разборку штампа, определить функциональное назначение детали, классифицировать их по этому признаку с указанием марок материалов, твёрдости после термообработки.

4. Выполнить эскизы рабочих частей деформирующих деталей штампа с простановкой фактических исполнительных размеров, определить, пользуясь литературой [12; 19], расчётные их значения.
5. Составить маршрутную технологию изготовления штампа.
6. Выполнить сборку штампа.
7. Определить требования к конструкции штампа и условиям его наладки на прессе исходя из требований техники безопасности [10].

### ***Контрольные вопросы***

1. Назовите основные узлы главной линии стана и их назначение.
2. С каким расположением клетей станы являются наиболее совершенными?
3. Назовите типы станин прокатных станков, их преимущества и недостатки.
4. Как производится перевалка валков?
5. Назовите основные транспортные устройства прокатных цехов.
6. Какие виды ремонтов применяют при проведении ремонтных работ?
7. Каковы обязанности вальцовщика?
8. Что такое настройка стана?
9. Расскажите об основных принципах научной организации труда.

***Литература:*** [12; 13; 19; 20].

## **10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ**

### **Основные сведения. Классификация литейных форм**

Практически все металлические изделия, используемые человеком, проходят стадию литья. В природе нет готовых металлов и сплавов, все они существуют в виде руд и для их извлечения приходится переводить руду в расплавленное состояние, проводить химические реакции восстановления. Очень ограниченное число металлов может похвастаться тем, что они находятся в чистом виде – это так называемые благородные металлы: золото, платина. Встречаются также самородная медь, ртуть, серебро, метеоритное железо, но все эти металлы всё равно впоследствии переплавляются.

Жидкий металл, залитый в изложницы в виде слитков, затем формируется в прокат (трубы, листы, профили), а залитый в фасонную литейную форму образует отливку, которая по своей конфигурации и размерам максимально приближена к будущему изделию. Доля таких отливок в машиностроении оставляет около 60 %, а в станкостроении – до 90 %.

Столь широкое распространение отливок, значительно большее, чем все остальные способы получения заготовок, объясняется следующим:

- литые заготовки могут быть практически любой сложности, причём некоторые изделия невозможно получить другими способами (например, пустотелые лопатки турбоколес);

- литые изделия могут быть практически любой массы (от долей грамма до тысяч тонн) любого габарита (от десятых долей миллиметров до десятков метров);

- литые заготовки изготавливают практически из любых металлов и сплавов, в том числе из неметаллов, и их комбинаций – «металл-неметалл» (литые металлические трубы с внутренней каменной или стеклянной облицовкой);

- отливки по размерам и форме максимально приближены к готовому изделию, а в некоторых случаях отливка даже не требует дополнительной механической обработки.

Общая классификация методов изготовления литых изделий приведена на рис. 32.



Рис. 32. Классификатор типов производства литейных изделий

В табл. 6 приведены основные рекомендации по выбору вида литейной формы.

Полупостоянные формы изготавливают из смесей с высоким содержанием глины и высокоогнеупорных материалов (шамота, асбеста и др.). Их применяют чаще всего при производстве отливок массой более 500 кг из чугуна и стали простой конфигурации (изложниц, поддонов, плит и др.). Полупостоянные формы допускают многократную (до нескольких десятков раз) заливку металла с мелким ремонтом рабочей поверхности после получения каждой отливки.

Постоянные формы изготавливают из чугуна и стали, а в отдельных случаях из меди или алюминия. Отличаясь высокой стойкостью против действия расплавленного металла, они в состоянии обеспечить получение в одной форме нескольких тысяч отливок.

Независимо от состава формовочной смеси и способа литья (по-сырому или по-сухому) применяют различные способы формовки: по модели, в стержнях, по шаблону и др.

В зависимости от серийности производства и конфигурации отливки формовку по модели осуществляют следующими способами: по разъёмной модели; по цельной модели; с подрезкой; с отъёмными частями и др.

### **Формовка в двух опоках по разъёмной модели**

Формовку в опоках выполняют по разъёмным и неразъёмным моделям. При этом в зависимости от конфигурации модели, её конструкции, размеров, числа изготавливаемых форм используют различные приёмы: формовку с подрезкой, с фальшивой опокой, с перекидным болваном, с отъёмными частями и т.д. Основное назначение этих приёмов формовки состоит в том, чтобы при заданной конструкции отливки и серийности её изготовления обеспечить необходимое качество при минимальных затратах. Например, при формовке с подрезкой или с перекидным болваном в условиях единичного производства во многих случаях можно исключить изготовление стержневых ящиков, что снижает стоимость отливки при практически неизменном качестве. При машинной формовке такие приёмы обычно не применяют, т.к. их выполняют вручную, что снижает производительность труда, вызывает простои оборудования, снижает эффективность производства.

При формовке в двух опоках по разъёмной модели изготовление формы начинают с установки модели или её половины 2 на модельную плиту 1 (рис. 33, а). Расстояние от модели до стенки опоки должно быть 25...50 мм. Затем на плиту ставят нижнюю опоку 3 и модель протирают смесью керосина с мазутом (50 % керосина, 50 % мазута) или припыливают модельной пудрой (рис. 33, б). После этого через сито 4 просеивают облицовочную смесь (рис. 33, в).

Таблица 6

## Сравнительная характеристика основных видов и способов литья

Виды литья	Способы изготовления форм и отливок	Масса отливки, кг	Минимальная толщина на стенке, мм	Материал отливки	Класс точности размеров отливки, ГОСТ 26645-85	Шероховатость поверхности отливки <i>Ra</i> , ГОСТ 2789-73, мкм	Коэффициент использования материала отливки	Экономически целесообразная партия отливок, шт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Литьё в разовые песчано-глинистые формы	Ручная формовка	0,1...50 000	3...6	Все сплавы	11т...14	50...100	0,71	1 и более
	Машинная формовка	0,1...2000	3...6	Все сплавы	7...12	25...50	0,71	200 и более
Специальное литьё в оболочковые и разовые формы	Песчано-смоляные формы	0,1...70	2...6	Все сплавы	4...11	5,0...40	0,9	400 и более
	По выплавляемым моделям	0,01...150	1...6	Все сплавы	3...5	0,4...6,3	0,93	1000 и более
	По газифицируемыми моделям	0,3...380	2...6	Сталь, чугун	6...13	10...63	0,8	1 и более
	В керамические формы	10,0...2000	1,5...6,5	Все сплавы	4...6	0,4...6,3	0,9	5 и более



Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Специальное литьё в постольные металлические литейные формы	Литьё в кокиль	0,01...30	3	Цветные сплавы	4...10	4,0...20	0,85	400 и более
	Литьё в облицованный кокиль	0,1...160	3...6	Сталь, чугун	6...15	5,0...40	0,75	60 и более
Специальное литьё с применением внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл	Литьё под давлением	0,01...30	0,8...1,2	Цветные сплавы	3...8	3,2...10,0	0,98	1000 и более
	Литьё с кристаллизацией под давлением	4...30	2,0...4	Цветные сплавы	3...10	6,3...16,0	0,9	400 и более
	Центробежное литьё	0,01...500	3	Все сплавы, биметаллы	5...12	25...50	0,75	100 и более
Непрерывное литьё	Литьё под низким давлением	0,01...0,03	1,5...2,5	Все сплавы	5...11	5,0...20	0,85	1000 и более
	В вертикальных и горизонтальных кристаллизаторах	5...85	10...20	Все сплавы	4...10	6,3...20,0	0,9	1000 и более

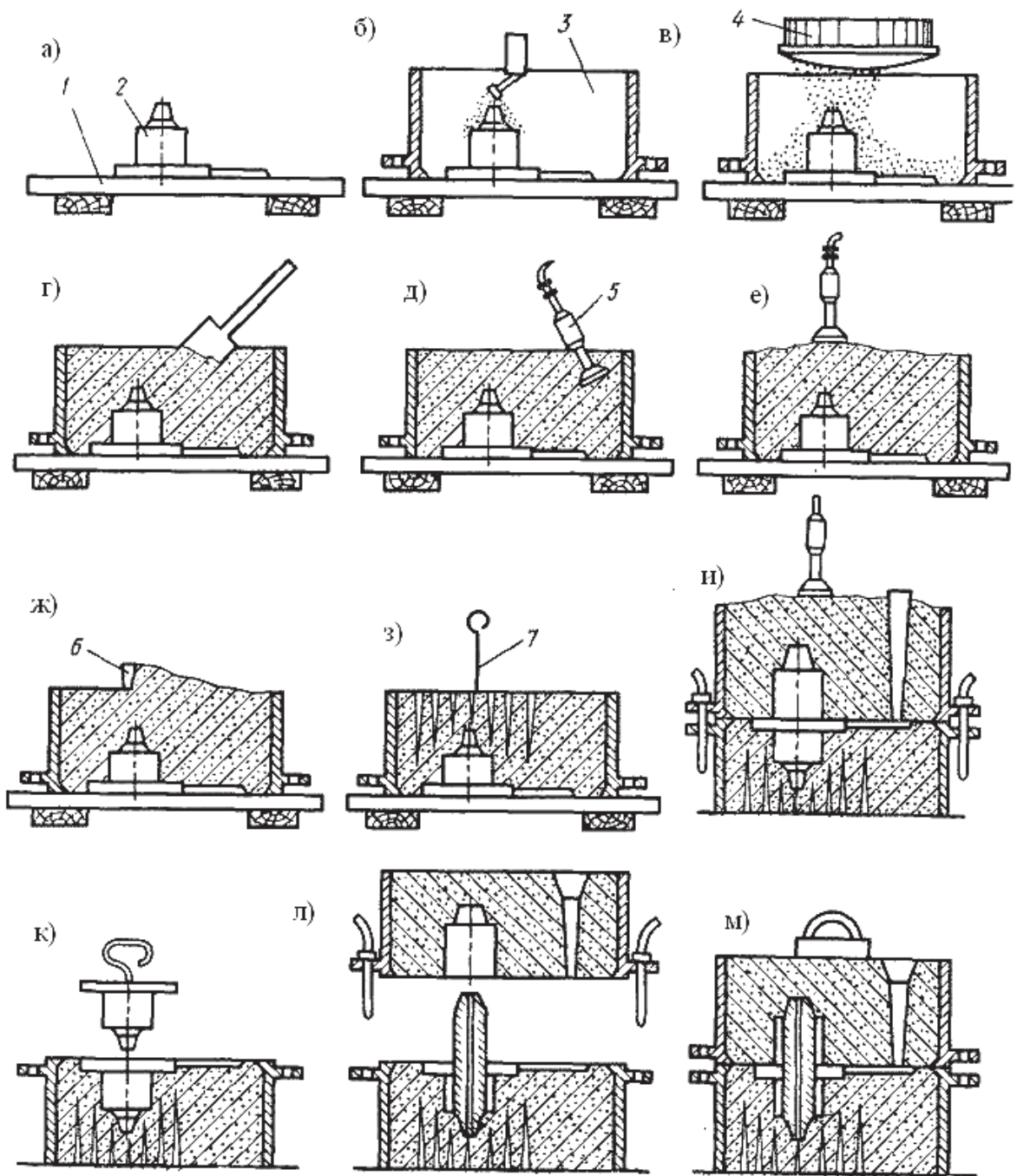


Рис. 33. Последовательность технологических операций при изготовлении формы в двух опоках

Толщина слоя облицовочной смеси для мелких отливок 15...30 мм, а для крупных 30...40 мм. При формовке крупных отливок с высокими отвесными стенками облицовочную смесь просеивают через сито только для покрытия горизонтальной плоскости модели. Обкладку отвесных стенок выполняют той же облицовочной смесью.

В опоку насыпают наполнительную смесь и уплотняют её (рис. 33, *з*). Для получения равномерной плотности формы наполнительную смесь насыпают в опоку слоями (50...75 мм) и уплотняют трамбовкой 5 (рис. 33, *д*, *е*). При уплотнении нельзя сильно ударять трамбовкой по смеси, т.к. формовочная смесь в местах ударов будет сильно уплотнена и в отливках могут образоваться газовые раковины. Особенно тщательно уплотняют смесь в углах и у стенок опоки.

Излишек смеси после уплотнения сгребают линейкой 6 вровень с кромками опоки (рис. 33, *ж*). Затем в форме иглой 7 прокалывают вентиляционные каналы так, чтобы они не доходили до модели на 10...15 мм (рис. 33, *з*). После этого полуформу вместе с модельной плитой поворачивают на 180° и устанавливают вторую половину модели.

Чтобы устранить прилипание формовочной смеси верхней полуформы к нижней полуформе, плоскость разъёма последней присыпают сухим разделительным песком. Этот песок сдувают с поверхности модели сжатым воздухом. Верхнюю опоку ставят на нижнюю и через сито насыпают на модель слой облицовочной смеси, устанавливают модель стояка и насыпают в опоку наполнительную смесь. Затем уплотняют смесь трамбовкой (рис. 33, *и*). Излишки смеси сгребают и делают наколы иглой. Форму раскрывают и смачивают её поверхность вблизи модели водой. В модель ввёртывают или забивают подъём.

Затем её слегка расталкивают ударами молотка по подъёму и извлекают из формы, сохраняя вертикальное положение подъёма и модели (рис. 33, *к*). Также извлекают модели стояка, выпора, питателя. Небольшие модели вынимают из формы вручную, а крупные – краном.

Извлечение модели из формы является ответственной операцией, и выполнять её нужно осторожно, чтобы не разрушить форму. Сильно расталкивать модель не рекомендуется, т.к. при этом отливки получаются с увеличенными размерами и массой.

После извлечения модели отделывают поверхность формы. Повреждённые места формы исправляют гладилками, ложечками, ланцетами и т.д. Некоторые части её укрепляют шпильками. Для предупреждения ухода расплава из формы при заливке на плоскости разъёма формы наносят риски (подрезки) вокруг отпечатка модели на расстоянии 50...70 мм от неё. При заливке металла в сухие формы на плоскость разъёма формы кладут тонкий слой глины, который исключает уход расплава из формы. Отделанную форму, изготовленную по-сырому, перед сборкой присыпают порошкообразным графитом или древесно-угольным порошком. При формовке по-сырому поверхность формы не припыливают, а окрашивают. Форму обычно окрашивают после сушки, когда она ещё не остыла. Иногда формы красят 2 раза: до и после сушки. Затем устанавливают стержень и собирают форму (рис. 33, *л*, *м*).

### Формовка в двух опоках по неразъёмной модели

По цельным (неразъёмным) моделям изготавливают отливки простой конфигурации. На рис. 34 представлена схема изготовления крышки по деревянной неразъёмной модели.

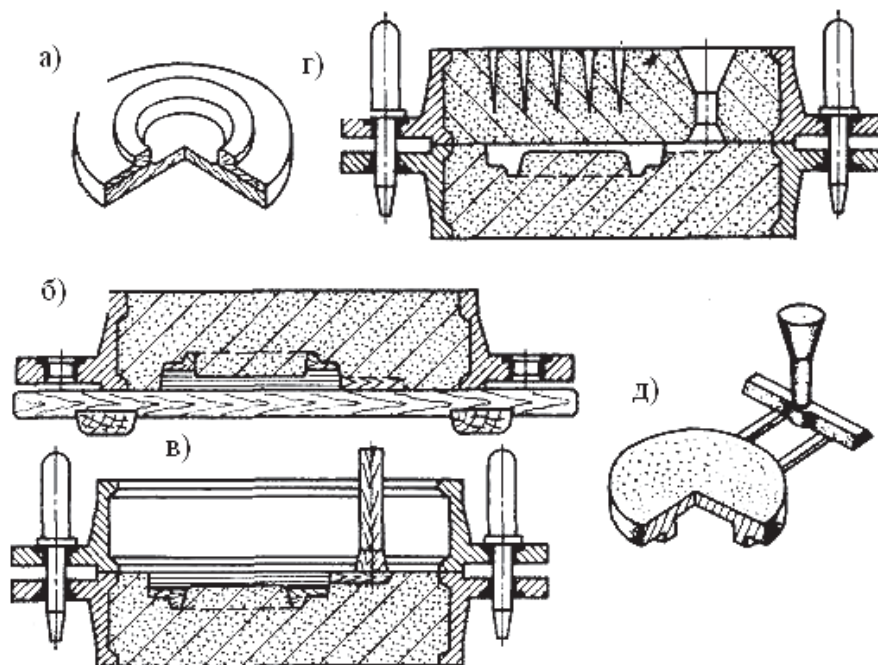


Рис. 34. Формовка в двух опоках по неразъёмной модели

Небольшую крышку получают по деревянной неразъёмной модели (рис. 34, а). Сначала формируют нижнюю полуформу. На плиту ставят модель и нижнюю опоку (рис. 34, б), насыпают формовочную смесь и уплотняют её. Затем полуформу с плитой переворачивают на  $180^\circ$ , устанавливают верхнюю опоку и модели литниковой системы (рис. 34, в), также насыпают формовочную смесь и уплотняют её. После этого поднимают верхнюю полуформу, переворачивают её на  $180^\circ$  и извлекают модели из формы. Форму (рис. 34, г) отделяют, собирают, заливают. На рис. 34, д показана отливка с литниками.

### Формовка с подрезкой

Формовка с подрезкой используется в условиях индивидуального или мелкосерийного производства отливок, когда цельная модель не имеет плоскости, совпадающей с плоскостью модельной плиты. Изготавливать разъёмную модель в этих условиях производства экономически невыгодно.

В этом случае применяют формовку с подрезкой. Схема формовки с подрезкой приведена на рис. 35.

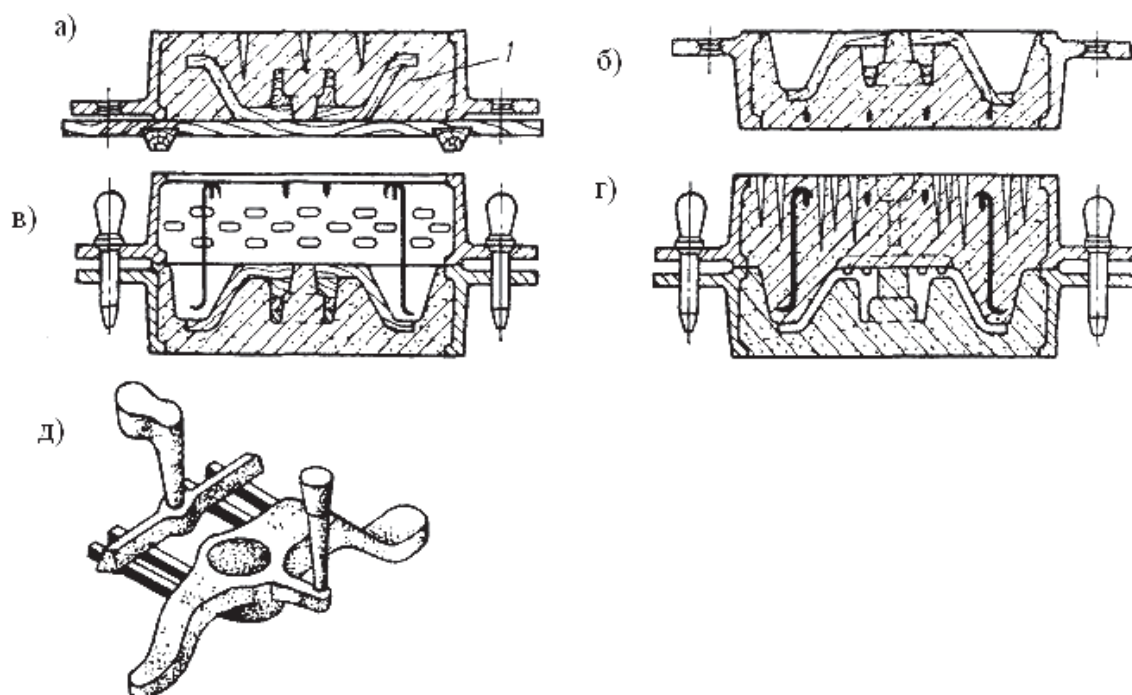


Рис. 35. Формовка с подрезкой

Модель (рис. 35, а) прилегает к плите не всей нижней поверхностью, а только выступом, поэтому при уплотнении нижней полуформы в полость *I* попадает формовочная смесь. Чтобы вынуть модель, формовочную смесь из этой полости срезают гладилкой или ланцетом (рис. 35, б). Образующую поверхность тщательно заглаживают. Эту операцию называют подрезкой. Разъём формы будет уже не плоский, а фасонный.

Затем поверхность разъёма нижней полуформы, в том числе и поверхность подрезки, посыпают разделительным песком или при глубокой подрезке застилают бумагой; устанавливают верхнюю опоку (рис. 35, в), засыпают смесь и уплотняют её. Форму разбирают, модель вынимают. Затем форму собирают для заливки (рис. 35, г). Для укрепления выступающих частей верхней полуформы, образованных за счёт подрезки, на крестовины опок подвешивают специальную арматуру: крючки, проволоку, прутки, сварные каркасы. На рис. 35, д показана отливка с литниками.

### Инструменты и приспособления

При изготовлении и отделке литейных форм применяют разнообразный инструмент. В зависимости от назначения его можно разделить на две группы:

1. инструменты, используемые для наполнения опоки смесью, уплотнения смеси и вентиляции формы (лопаты, дозаторы, сита, ручные и пневматические трамбовки, вентиляционные иглы), а также для проверки горизонтального положения модели (уровень или ватерпас);

2. инструменты, предназначенные для извлечения и отделки формы: кисти, щётки, подъёмы (резьбовые, винтовые или кромки), молотки, гладилки, крючки, ланцеты, ложечки, полозки разных профилей.

Уплотнение смеси осуществляется в опоках ручными или пневматическими трамбовками. Конструкция и размеры трамбовок, а также конфигурация рабочего органа – башмака – зависят от размеров опок, конфигурации и размеров моделей. Трамбовка пневматическая приводится в движение сжатым воздухом давлением 500...600 МПа. В лабораторных работах будет использоваться ручная трамбовка.

Сито формовочное применяется для просеивания формовочной смеси. Ячейки сит имеют разные размеры, диаметр сит 400...500 мм. Гладилки служат для отделки форм. В недоступных для гладилок местах для заглаживания форм применяются ланцеты. Отделка вогнутых поверхностей, углублений производится двухконечными ложечками. Для отделки и исправления узких углублений сферических поверхностей применяются полозки фигурные отделочные. Заглаживание неглубоких цилиндрических поверхностей, углов галтелей и других криволинейных поверхностей производится фасонными гладилками. Оставшиеся частицы смеси из глубоких полостей удаляют формовочными крючками.

Песок с поверхности модели и отдельных поверхностей форм сметают волосяной щеткой, которая предназначена также для окраски крупных форм. Для поверхностного увлажнения формы перед её отделкой, а также для нанесения противопопригарных покрытий (красок), растворов для упрочнения поверхности форм и стержней используют пульверизаторы.

Вентилирование форм производится с помощью вентиляционных игл разного размера. Для малых форм применяются иглы диаметром 3...5 мм, для средних и крупных форм – диаметром 7...9 мм.

Расталкивание моделей в форме осуществляется киянками – деревянными молотками. Крупные модели расталкиваются металлическим молотком, но в этом случае в модель должны быть врезаны специальные металлические пластины, чтобы предохранить деревянную модель от порчи. Из полуформ модели вынимаются при помощи остроконечных и винтовых подъёмов.

К приспособлениям, применяемым при формообразовании, относятся арматура, крючки, изготовленные из мягкой обожжённой проволоки, деревянные колышки – «солдатики», формовочные шпильки, жеребейки и др.

Формы в литейном производстве изготавливают в основном в опоках. Опоками называют жёсткие (прямоугольные, квадратные, круглые, фасонные) рамки из чугуна, стали, алюминиевых сплавов, предохраняющие песчаную форму от разрушения как во время сборки, так и при транспортировании и заливке (рис. 36). Опоки изготавливают из чугуна марок СЧ15, СЧ20

и стали марок 20Л, 25Л и 30Л. Наиболее совершенными считают литые или сварные стальные опоки, т.к. они прочнее чугунных.

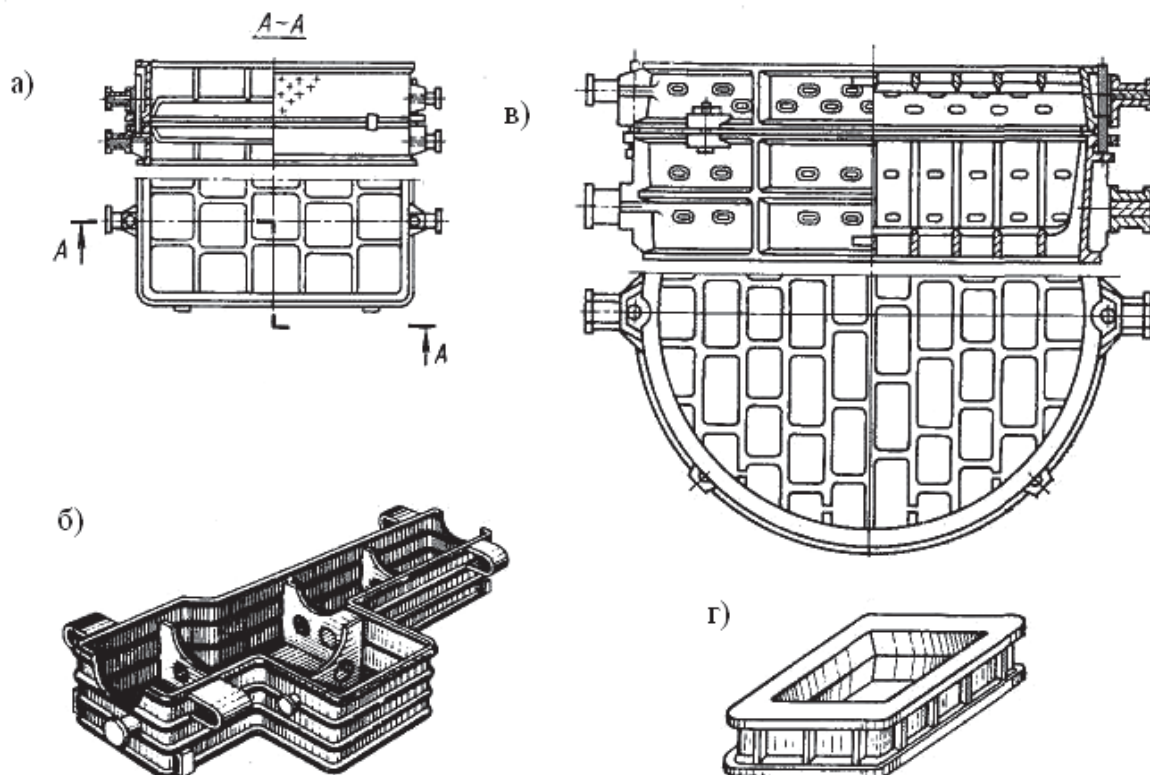


Рис. 36. Типы опок: а – прямоугольные; б – фасонные; в – круглые; г – для автоматических формовочных линий

Обычно форму получают в двух опоках – верхней и нижней. Поверхности опок по плоскости разъёма форм строгают, а иногда шлифуют, чтобы обеспечить плотность прилегания полуформ.

Для транспортирования и кантовки в процессе формовки на малых опоках предусмотрены ручки, а на больших (крановых) – цапфы. В стенках опоки делают вентиляционные отверстия для выхода газов, образующихся при заливке формы. Формовочная смесь в опоках больших размеров удерживается ребрами-крестовинами (шпонами).

Размеры в свету и по высоте опок, элементы конструкций (стенки, цапфы, ручки, штыри, втулки и т.д.) нормализованы стандартами.

Различают опоки для ручной, машинной и автоматической формовки. Опоки для ручной формовки должны иметь минимальную массу: без формовочной смеси 30 кг, со смесью 60 кг. Опоки для машинной и автоматической формовки – точная и дорогостоящая оснастка. Они должны обладать большой жёсткостью, точностью и быть взаимозаменяемыми. Размеры внутренних полостей опок, их конструктивные элементы (стенки, цапфы, ручки, штыри, втулки) регламентируются стандартами.

Важными элементами в опоках, определяющими точность сборки форм, являются штыри и втулки.

### **Порядок выполнения работы**

Получить задание у преподавателя с конкретным указанием вида ручной формовки: по разъёмной модели, по неразъёмной модели, с подрезкой.

Установить на модельной плите нижнюю модель и опоку. Модель припылить графитом. Засыпать в опоку первую порцию смеси, чтобы толщина её у модели составляла 15...20 мм. Обжать смесь на поверхности модели руками. Засыпать вторую порцию смеси до половины объёма опоки и уплотнить её ручной трамбовкой. Уплотнение начинать от стенок опоки к центру. Закончить уплотнение смеси. Срезать линейкой излишек смеси вровень с кромками опоки.

Повернуть полуформу вместе с модельной плитой на 180°. На расстоянии 10...15 мм от контура модели определить степень уплотнения смеси с помощью твёрдомера. Начертить полуформу согласно заданию. Установить в верхнюю опоку модели отливки и литниковой системы и припылить их графитом. Уплотнить смесь в верхней опоке. Раскрыть форму, извлечь модели отливки и литниковой системы.

Если при изготовлении полуформ не использовались некоторые элементы моделей литниковой системы (зумпфа, шлакоуловителя, питателя), то необходимо прорезать их вручную.

Повернуть верхнюю полуформу на 180° и с помощью центрирующих штырей произвести сборку формы.

Определить температуру сплава в ковше с помощью термопары. Заполнить предварительно высушенный ковш сплавом из печи. Через воронку залить сплав в форму. Выбить отливку из формы через 10 мин. Очистить отливку от формовочной смеси гладилкой. Охладить отливку на воздухе. Описать качество поверхности отливки. Убрать рабочее место и сдать преподавателю или лаборанту инструмент и модели.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что называется формовкой?
2. Что такое опока?
3. Какие виды ручной формовки вы знаете?
4. Приведите порядок изготовления формы одним из методов: по цельной, разъёмной моделям; с подрезкой; с перекидным болваном; по шаблонам; по скелетным моделям.
5. Перечислите основные виды и назначение формовочного инструмента.



6. Назовите основные преимущества и недостатки различных способов изготовления разовых литейных форм и область их рационального использования.

7. Как осуществляется сборка форм?

8. Каким прибором определяется плотность формовочной смеси в опоках?

*Литература:* [21].

## **11. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ**

*Центробежное литьё* является одним из прогрессивных способов изготовления отливок, при котором металл, залитый в форму, подвергается действию *центробежных сил*. Эти силы возникают в жидком металле при заливке его во вращающуюся форму (*изложницу*) в специальной машине, называемой центробежной. По конструкции (в зависимости от положения оси вращения) центробежные машины разделяются на горизонтальные, вертикальные и с изменяющимся наклоном оси.

Центробежный способ литья используют для изготовления отливок общего назначения, обычно типа тел вращения – из любых литейных сплавов. Масса отливок может колебаться от нескольких граммов до 45 т, толщина стенок от нескольких миллиметров до 850 мм и более. Точность и чистота поверхности отливок зависят от того, в какие формы (нефутерованные или футерованные) производится заливка, и соответствуют либо литью в кокиль, либо в песчаные формы. Основные технологические операции получения отливок центробежным способом представлены на рис. 37.

На машинах с вертикальной осью вращения получают отливки небольшой протяжённости в осевом направлении: короткие втулки, кольца, фланцы и т.д. Свободная поверхность отливки имеет параболическую форму.

Машины с горизонтальной осью вращения применяют для получения протяжённых отливок типа труб. Машины с наклонным положением оси вращения применяют редко. При центробежном методе литья применяют металлические и разовые формы, изготовленные из различных материалов. Это даёт возможность комбинировать центробежное литьё с другими литейными процессами, например, с литьём по выплавляемым моделям.

Сложные внутренние поверхности отливок при центробежном литье выполняют стержнями.



Рис. 37. Последовательность выполнения технологических операций процесса центробежного литья

Центробежный способ по сравнению с литьём в неподвижные формы имеет следующие **преимущества**:

1. в большинстве случаев центробежные отливки обладают высокой плотностью вследствие малого количества межкристаллических пустот усадочного и газового происхождения;
2. меньше расходуется металла вследствие отсутствия литниковой системы;
3. исключаются затраты на изготовление стержней для получения полости в цилиндрических отливках;
4. улучшается заполняемость форм металлом;
5. появляется возможность получения отливок из сплавов, обладающих низкой жидкотекучестью.

Однако центробежный способ литья имеет **недостатки**:

1. трудность получения качественных отливок из ликвирующих сплавов;
2. неточность диаметров полости отливок со свободной поверхностью;
3. загрязнение свободной поверхности отливок ликватами и неметаллическими включениями.

Последние два обстоятельства вынуждают увеличивать припуск на механическую обработку свободной поверхности отливок.

Одним из основных технологических параметров, определяющих качество отливок, является правильный выбор **числа оборотов** центро-

бежной машины. **При недостаточном числе оборотов** на отливках появляются специфические дефекты в виде продольных трещин-спаев, возникающих в результате нарушения внутренней цилиндрической поверхности отливки в момент её формирования.

**Чрезмерное увеличение скорости вращения** нежелательно из-за возможности образования в отливках следующих дефектов: продольных трещин на наружной поверхности (часто с натёками на них металла), усиленной ликвации; при литье труб в металлическую форму – натёков металла и спаев на наружной поверхности (течь при гидропробе); при литье фасонных отливок в песчаные формы – раздутия, пригара. Кроме того, машины с большим числом оборотов конструктивно более сложны, менее удобны и менее безопасны в работе. Поэтому при разработке технологического процесса и при конструировании машин необходимо стремиться к выбору наименьших скоростей вращения, которые обеспечивают нужное качество отливок.

Частоту вращения формы для отливок общего назначения рассчитывают по эмпирическим формулам:

$$N = 5520/\rho \cdot r, \quad (10)$$

где  $N$  – частота вращения ротора, об/мин;  $\rho$  – плотность сплава, г/см<sup>3</sup>;  $r$  – внутренний радиус отливки, см;

$$n = K / \sqrt{R}, \quad (11)$$

где  $n$  – частота вращения шпинделя, об/мин;  $K$  – коэффициент, для тяжелых сплавов составляет 1800...3000, а для легких 1700...4000; наименьшее значение коэффициента принимают для тонкостенных отливок ( $R/r = 1,1$ ), наибольшее – для толстостенных ( $R/r = 2$ ), среднее значение – для отливок с промежуточными толщинами стенок;  $R$  – наружный радиус отливки, см.

Формулы (10) и (11) дают удовлетворительные результаты при определённом диапазоне толщин стенок отливок, а именно когда радиус наружной стенки отливки превышает радиус внутренней не более чем в три раза.

### **Описание установки**

В лабораторной работе используется двухшпиндельная центробежная установка с пневмоприводом. Схема установки показана на рис. 38.

### **Порядок проведения работы:**

1. Включить плавильную печь, загрузить шихтовые материалы, приготовить сплав с заданной температурой (700...720 °С).

2. Проверить готовность центробежной машины: для этого необходимо поднять защитный кожух 2, включить краном 6 подачу воздуха, убедиться в правильном направлении вращения формы 10 (форма должна

вращаться против часовой стрелки, если для её крепления на валу использована правая резьба, и наоборот); проверить работу системы охлаждения кратковременным открытием крана 3.

3. Подготовить форму к заливке, для чего необходимо осмотреть и очистить форму 10, установить её в шпиндель центробежной машины 9, опустить защитный кожух машины 2 и на него установить заливочную воронку 1.

4. Очистить и подогреть ковш, затем заполнить его сплавом из печи.

5. Включив центробежную машину, зафиксировать первую заданную частоту вращения шпинделя по тахометру 8.

6. Залить сплав через воронку без перерыва струи во вращающуюся форму.

7. Включить систему охлаждения формы и выдержать 2...3 мин.

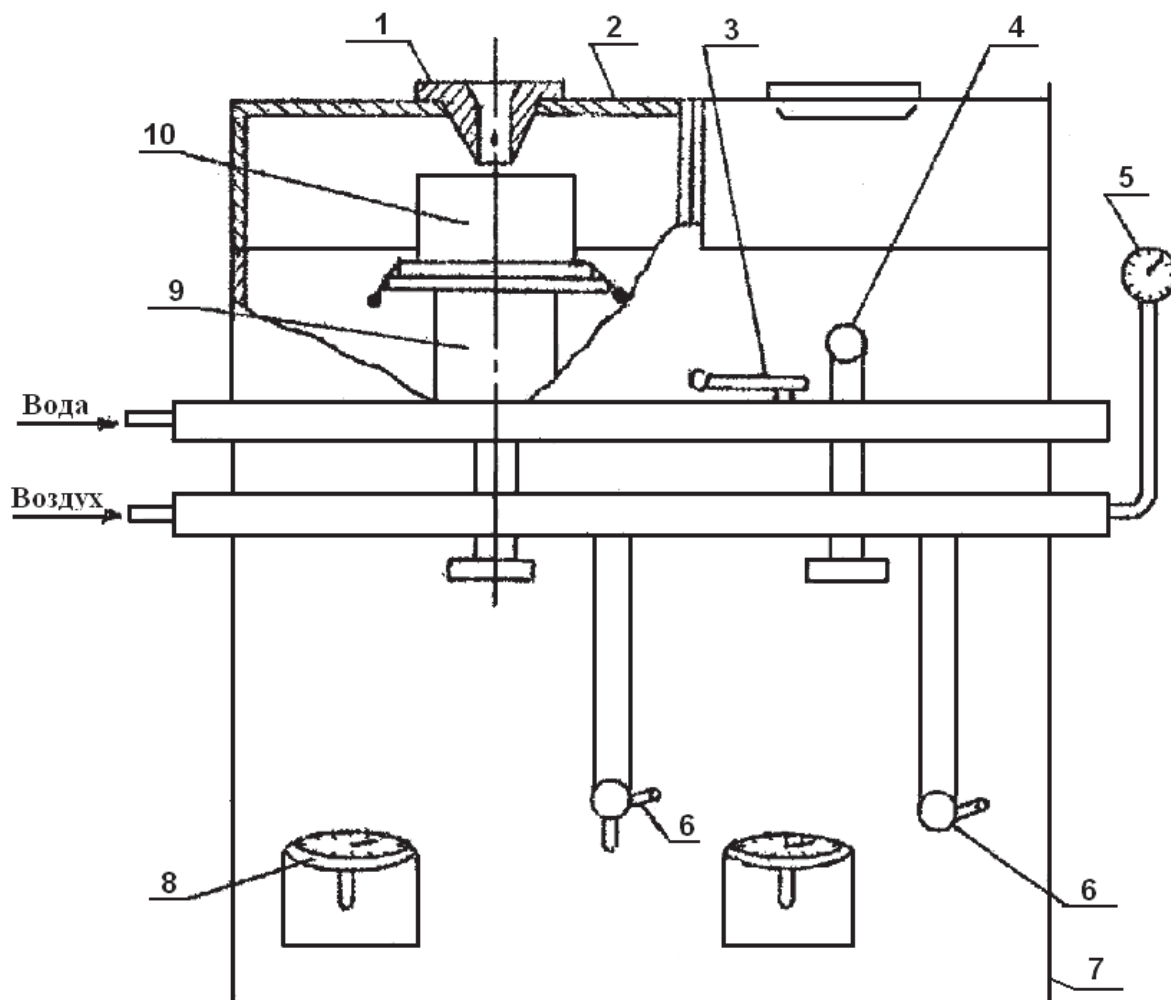


Рис. 38. Схема центробежной установки:

- 1 – воронка заливочная; 2 – кожух защитный; 3 – кран системы охлаждения формы водой; 4 – ручной тормоз; 5 – манометр;
- 6 – кран подачи воздуха к шпинделю машины; 7 – корпус машины;
- 8 – тахометр; 9 – шпиндель с зажимами; 10 – форма

8. Остановить вращающуюся форму ручным тормозом 4.
9. Извлечь отливку из формы и охладить на воздухе.

**Техника безопасности при выполнении работы:**

1. Студентам запрещается самостоятельно включать и выключать плавильную печь.
2. Во избежание ожогов брызгами металла при наполнении ковша и при заливке следует надеть спецодежду, рукавицы, защитные очки.
3. Проверить исправность машины на холостом ходу и отрегулировать так, чтобы при работе не было биения.
4. Проверить и убедиться в исправности ручного тормоза, заливочной воронки, крепления формы на шпинделе.
5. Убедиться в отсутствии влаги на внутренней поверхности формы, заливочной воронки. Обнаруженную влагу следует удалить тряпкой или подогревом.
6. Вместе с остановкой вращения формы прекратить подачу воды для охлаждения.
7. Нельзя охлаждать форму водой во время заливки её сплавом.
8. Запрещается пользоваться ручным тормозом для остановки формы или для замедления её вращения при включённом кране подачи воздуха к шпинделю машины.
9. Необходимо обязательно прогреть ковш перед заливкой в него сплава.

*Литература:* [21].

## **12. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11 ВЛИЯНИЕ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В настоящее время инновационная политика предприятий является определяющим инструментом в конкурентной борьбе, обеспечивающим условия для реализации запросов потребителя. Инновации являются важнейшим фактором стабильного функционирования предпринимательских, финансовых, кредитных, любых других структур, обеспечивающих их экономический рост и конкурентоспособность. Причём наибольшего успеха добиваются предприятия, у которых инновационная деятельность и внедрение нового товара представляют собой непрерывный процесс управления её активностью.

Инноватика – это область знаний о сущности инновационной деятельности, её организации и управлении инновационными процессами,

обеспечивающими трансформацию новых знаний в востребованные обществом новшества как на коммерческой основе, так и некоммерческой базе, т.е. инноватика – инструмент нововведения для потребителя.

Под новшеством понимается новый порядок, новый метод, новая продукция или технология, новое явление. В мировой экономической литературе «инновация» интерпретируется как превращение потенциального научно-технического прогресса в реальный, воплощающийся в новых продуктах и технологиях.

Б. Твист определяет инновацию как процесс, в котором изобретение или идея приобретают экономическое содержание. Ф. Никсон считает, что инновация – это совокупность технических, производственных и коммерческих мероприятий, приводящих к появлению на рынке новых и улучшенных промышленных процессов и оборудования. Б. Санто считает, что инновация – это такой общественно-техничко-экономический процесс, который через практическое использование идей и изобретений приводит к созданию лучших по своим свойствам изделий, технологий, и в случае если она ориентируется на экономическую выгоду, прибыль, появление инновации на рынке может принести добавочный доход. И. Шумпетер трактует инновацию как новую научно-организационную комбинацию производственных факторов, мотивированную предпринимательским духом. Согласно Международным стандартам в статистике науки, техники и инноваций, инновация – конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедрённого на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо в новом подходе к социальным услугам.

В современном машиностроении происходит процесс усложнения производства. Сокращаются сроки морального устаревания изделий. Если раньше оборудование могло находиться в эксплуатации десятилетиями, то теперь эти сроки сократились до нескольких лет. В противном случае мы проигрываем в самом главном – в производительности труда со всеми вытекающими отсюда последствиями. Кроме того, при значительном сокращении сроков нахождения в эксплуатации изделие не должно быть слишком дорогим, иначе оно не окупит себя.

Немаловажен и тот факт, что в конечной стоимости изделий непрерывно возрастает её доля, связанная непосредственно с оплатой труда работников; на сегодняшний день эти затраты доходят в некоторых изделиях до 60 %. Существует ещё одна тенденция – стремление к неоправданному повышению цены изделия. Опыт всех промышленно развитых стран показывает, что это тупиковый путь. Японские предприниматели стремятся к увеличению прибыли не за счёт высоких цен и уменьшения производства, а, наоборот, за счёт снижения цен и увеличения выпуска изделий по

принципу «больше – дешевле – лучшего качества». Все эти обстоятельства заставляют более серьёзно относиться к интенсификации труда инженеров и менеджеров. Основой успешной инженерной деятельности является опора на современные творческие технологии, к которым, безусловно, относится функционально-стоимостный анализ (ФСА). Отсюда ФСА полностью совпадает по цели и задачам с инноватикой и инновационной деятельностью в машиностроении. На рис. 39 изображена схема инновационной деятельности предприятия.



Рис. 39. Схема инновационной деятельности предприятия

Эффект от применения ФСА гарантирован тем, что темпы развития научно-технического прогресса остановить нельзя. Таким образом, изделие, совершенное с точки зрения конструкции и затрат на производство сегодня, завтра будет иметь резервы по снижению себестоимости. ФСА можно было бы назвать компасом, показывающим верное направление в развитии экономики.

Объекты ФСА необычайно многообразны: это и конструкции изделий, и производственные процессы, и домашнее хозяйство – всё, что можно назвать системой, процессом. Один из американских миллиардеров на одной из ежегодно проводимых конференций по ФСА сделал доклад о том, как он рационализировал с помощью данного метода бюджет, выделенный на свадьбу своей дочери [15].

ФСА – метод технико-экономического исследования систем, направленный на оптимизацию соотношения между их потребительскими свойствами и затратами на проявление этих свойств.

Этот метод называют в США «стоимостным анализом» (Value Analysis) или «инженерно-стоимостным анализом», в ФРГ – «анализом затрат на основе потребительской стоимости» (Gebrauchswert Kosten Analyse).

ФСА – действенный и универсальный инструмент направленного совершенствования различных аспектов производственной деятельности, объединяющий в единую систему экономические, организационные и творческие приёмы и методы решения разнообразных задач и проблем.

По внутреннему своему содержанию ФСА – это комплексно-целевая программа, объединяющая три основные составляющие (технико-экономический анализ, организационно-технические мероприятия и научную методологию поиска новых решений) и направленная на выявление и использование резервов совершенствования любых объектов. ФСА позволяет сформулировать цель работы, наметить пути достижения цели и последовательно пройти весь путь вплоть до её реализации, сочетая при этом самые разные, но взаимно дополняющие друг друга методы.

*Технико-экономический анализ* направлен в первую очередь на обоснованный выбор для проведения ФСА таких объектов, совершенствование которых может дать оптимальный для этих условий экономический эффект, высокие технические результаты. Для этого используются экономические критерии в сочетании с экспертными оценками ответственных и компетентных специалистов.

Не менее важна роль экономического подхода при выборе узлов и деталей изделия, в первую очередь подлежащих улучшению. Значимость экономических расчётов возрастает, если приходится выбирать между несколькими вариантами решения, для того чтобы найти наиболее эффективный и легко исползуемый вариант, самые экономичные пути его реализации.

*Научная методология поиска новых решений* – главное отличие ФСА от традиционных методов экономии материальных и трудовых ресурсов, улучшения качества изделий. Эффект ФСА достигается за счёт целенаправленного поиска новых, более эффективных технических и организационных решений, позволяющих изделиям выполнять функции с минимальными затратами, т.е. повышать их идеальность. В этом ФСА тесно смыкается с изобретательской и рационализаторской работой. Однако традиционные формы такой работы, связанные со стихийным, ненаправленным поиском новых решений небольшим числом одарённых от природы изобретателей, оказываются трудно совместимыми с плановостью работ по ФСА. Именно поэтому с самого начала существования ФСА его связывали с теми или иными эвристическими приёмами и методами. Было установлено [15; 22], что единственной методикой, дающей стабильные высокие результаты, доступной для овладения, оказалась ТРИЗ, которая и



составляет основу методологии поиска нового при проведении ФСА (ряд других методов применяется в качестве вспомогательных).

**Организационно-технические мероприятия** ФСА включают создание постоянно действующих органов ФСА на предприятии, организацию работ по поиску новых решений, их экспертизе и внедрению. К постоянно действующим относятся служба ФСА, организующая всю работу, и совет ФСА – руководящий орган ФСА на предприятии. Работа по поиску новых решений ведётся с помощью **временной рабочей группы** (ВРГ) – своего рода комплексной рабочей бригады, формируемой на время проведения данной конкретной работы. ВРГ работает под руководством ведущего, владеющего методологией поиска новых решений. В качестве членов ВРГ приглашаются специалисты, имеющие отношение к разным этапам производственного цикла совершенствуемого изделия (или технологии), а также несколько человек, не связанных непосредственно с данной системой, но обладающих хорошей творческой подготовкой и обширными знаниями в других областях техники. ВРГ позволяет разрешить одно из наиболее существенных противоречий, возникающих при совершенствовании техники: для того чтобы совершенствовать систему, необходимо прекрасно, до тонкостей, знать эту систему, т.е. быть специалистом в данной области; но именно специалисты подвержены наиболее сильно психологической инерции, мешающей находить новое; дилетанты же, пусть даже широко образованные, владеющие методами поиска, но не знающие конкретно именно этой системы, не могут рассмотреть её комплексно, выявить задачи и отобрать именно те, которые нужно решить в первую очередь. Коллективное творчество – сотрудничество работников разных специальностей, представителей разных служб и подразделений предприятия под руководством высококвалифицированного ведущего – позволяет обеспечить высокую эффективность ФСА.

Каждый рубль, вложенный в проведение ФСА, способен приносить от 10 до 100 рублей прибыли.

Суть ФСА проста – нахождение гармоничного сочетания между свойствами продукта труда, действительно необходимыми потребителям, и величиной затрат ресурсов на создание этих свойств. При проведении ФСА может быть и найдена наиболее совершенная организационная структура, и рационализированы существующие изделия, технологии и материалы.

Исследование объекта и его преобразование ведутся по схеме «потребность – проблема – задача – решение».

Общепризнанная эффективность от проведения ФСА столь очевидна, что в нашей стране применение ФСА было предусмотрено ГОСТ Р 15.201-2000.

Предлагаемая версия ФСА является компилятивным материалом на базе известных работ.

### **Рекомендации по выявлению и формулированию задач.**

Настоящие рекомендации предназначены для ведущего ВРГ при проведении ФСА, для преподавателя ТРИЗ и ФСА в качестве руководства по решению практических задач в аудитории, а также для самоконтроля при индивидуальном решении задач (см. приложение).

1. Объясните членам ВРГ (слушателям) правила формулирования практической задачи:

- а) укажите цель решения задачи;
- б) опишите существующее положение и его недостатки;
- в) в формулировке задачи избегайте терминов и стремитесь к тому, чтобы её условие было понятно ребенку 12...14 лет.

2. Соберите предложенные задачи и предварительно рассортируйте их по темам (разделам) ТРИЗ.

*Примечание.* Этот шаг наиболее важен при обучении. При изучении того или иного инструмента ТРИЗ в качестве завершающего занятия по теме предлагается решать практические задачи с использованием этого инструмента.

3. Прислушайтесь вместе с остальными членами ВРГ (слушателями) рассказ задачедателя, который должен включать необходимые пояснения, рисунки, показ чертежей, по возможности образцов в натуре и т.п. Дайте возможность другим участникам работы дополнить рассказ, задать вопросы.

Рассказ задачедателя должен содержать также следующую информацию:

- а) характеристику исходной системы, её надсистем, подсистем;
- б) сведения о ресурсах системы, надсистемы, среды;
- в) описание функционирования системы (физики действия), её полезных функций;
- г) описание вредных функций и других недостатков исходной системы;
- д) ограничения, налагаемые на решение, другие пожелания задачедателя по решению;
- е) что будет хорошо и что может быть плохо в случае решения задачи.

*Примечание.* Если по какому-то из пунктов у задачедателя нет ответа, остаются неясности, то для уяснения следует использовать методологию аналитического этапа ФСА, функциональный анализ, диагностические таблицы.

4. Проверьте правильность постановки задачи (отсутствие типовых ошибок). При необходимости устраните ошибки и сформулируйте задачу заново.

5. Проверьте достаточность представленной задачедателем информации и степень своего понимания задачи. Для этого необходимо построить ряд простых моделей задачи (ситуации), вепольные модели и т.п. Изложите задачедателю и другим участникам работы суть задачи, как вы её поняли.

*Примечание.* Если оказывается, что принцип действия системы не вполне ясен, сформулируйте и решите исследовательскую задачу. Если информации недостаточно для построения моделей, уточните её и постройте модели повторно. Если информации чересчур много (модели сложны и запутаны) попробуйте выявить основные конфликты.

6. Проведите экспресс-прогноз развития исходной системы с целью выявления дополнительных задач.

7. Выявите известные решения аналогичных задач в данной области, а также в ведущей области техники. Выясните, чем они не удовлетворяют задачедателя. Уточните перечень ограничений по п. 3, д.

8. Проведите ряд упражнений на снижение психологической инерции, ещё раз проверьте условия задач на отсутствие терминов. Ещё раз уточните перечень ограничений.

9. Если в результате анализа ситуации у вас появилась группа задач, проведите свёртывание и выявление ключевой задачи.

10. Выберите направление решения задачи и инструмент для её решения в зависимости от условий:

а) если возможен перенос известного решения – задача решена;

б) если исходная система признана неперспективной, необходимо использовать стандарты на синтез веполей, законы развития технических систем;

в) если исходная система остаётся и попытка использовать известные решения приводит к противоречию, следует рассмотреть возможность компромиссного решения.

#### **Содержание типовой формулировки задачи:**

1. Имеется объект (укажите), состояние которого нужно изменить (укажите требуемое полезное действие).

2. Полезное действие (укажите) по изменению состояния объекта (укажите) осуществляется недостаточно эффективно (укажите, как). Требуется повысить его эффективность.

3. Вредный фактор (укажите) изменяет состояние объекта (укажите). Требуется его устранить.

КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА: Устранить (укажите вредный фактор).

4. Имеется объект (укажите), о состоянии которого нужно получить информацию (укажите, какую).

5. Информация (укажите, какая) о состоянии объекта (укажите) недостаточна либо её получение недостаточно эффективно (укажите). Требуется повысить эффективность получения (усилить) эту информацию.

6. Система для выполнения (укажите полезное действие) слишком сложна. Требуется снизить её сложность.

7. Система для выполнения (укажите полезное действие) слишком дорога. Требуется снизить её стоимость.

8. В системе для выполнения (укажите полезное действие) наблюдается некоторое полезное (вредное) явление. Требуется объяснить, почему и как оно происходит.

9. Имеется система для выполнения (укажите полезное действие). Требуется спрогнозировать возникновение возможных аварий, других нежелательных явлений (брак, вредные последствия и т.п.), выявить их причины.

10. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – исчезает (невозможно осуществить) требуемое полезное действие (укажите) по изменению состояния объекта (укажите). Требуется устранить новый недостаток – получить это полезное действие.

11. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – снижается эффективность выполнения требуемого полезного действия по изменению состояния объекта (укажите действие и объект) либо требуемое полезное изменение объекта (укажите действие и объект) достигается не полностью. Требуется устранить новый недостаток – повысить эффективность (форсировать) выполнения полезного действия.

12. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – вредный фактор (укажите), изменяющий состояние объекта (укажите). Требуется устранить новый недостаток – этот вредный фактор.

13. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – исчезает (невозможно получить) требуемая информация (укажите, какая) о состоянии объекта (укажите). Требуется устранить новый недостаток – получить эту информацию.

14. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – информация (укажите, какая) о состоянии объекта (укажите) становится недостаточной либо снижается эффективность её получения (укажите). Требуется устранить новый недостаток – повысить эффективность (усилить) эту информацию.

15. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – увеличивается сложность системы. Требуется устранить новый недостаток – снизить её сложность.

16. При устранении недостатка (укажите, какого) возникает новый недостаток – увеличивается стоимость системы. Требуется устранить новый недостаток – снизить её стоимость.

17. При устранении недостатка (сформулированного ранее) возникает новый недостаток (укажите недостаток). Требуется устранить первый недостаток без возникновения нового недостатка.

18. При условии (укажите ключевое условие) выполняется полезная функция (укажите), но возникает вредная функция (укажите). Требуется устранить вредную функцию без ухудшения полезной.

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Устранить (укажите вредную функцию) без ухудшения (укажите сопряжённую полезную функцию).

19. При условии (укажите ключевое условие) выполняется полезная функция (укажите), но возникает вредная функция (укажите). Требуется найти альтернативный способ реализации ключевого условия, при котором сохранится полезная функция, но исчезнет сопряжённая с ней вредная.

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Найти альтернативный способ реализации (укажите ключевое условие).

20. При условии (укажите ключевое условие) выполняется полезная функция (укажите), но возникает вредная функция. Требуется отказаться от выполнения ключевого условия вместе с отказом как от полезной функции, так и от сопряжённой с ней вредной, но с сохранением конечного результата (укажите, какого).

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Найти альтернативный способ реализации (укажите ключевое условие).

21. Имеется полезное действие (укажите) по изменению состояния объекта (укажите). Требуется найти альтернативный способ реализации полезного действия.

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Найти альтернативный способ реализации (укажите ключевое условие).

22. Имеется полезное действие (укажите) по изменению состояния объекта (укажите). Требуется найти способ отказаться от выполнения данного полезного действия с сохранением конечного результата (укажите, какого).

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Отказаться от (укажите полезное действие).

23. Имеется информация (укажите, какая) о состоянии объекта (укажите). Требуется найти альтернативный способ получения информации.

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Найти альтернативный способ получения информации (укажите, какой).

24. Имеется информация (укажите, какая) о состоянии объекта (укажите). Требуется найти способ отказаться от получения данной информации с сохранением конечного результата (укажите, какого).

**КРАТКАЯ ФОРМУЛИРОВКА:** Отказаться от получения информации (укажите, какой).

*Литература:* [15; 22].

### ***Контрольные вопросы***

1. Что представляет собой «идеальный» узел (деталь)?
2. Можно ли разделить узел (деталь) на части? Можно ли объединить несколько деталей (узлов)? Можно ли разборные соединения сделать неразборными и наоборот?
3. Можно ли неподвижные детали сделать подвижными и наоборот? Можно ли использовать холостые ходы? Можно ли от периодического движения перейти к непрерывному и наоборот?
4. В каких случаях можно поменять последовательность технологических операций? Ввести или исключить предварительные сборочные и обработочные операции? Исключить отделочные операции?
5. Какие методики выявления «слабых» узлов (деталей) вы знаете?
6. В каких случаях можно заменить специальные детали стандартными?
7. Можно ли при производстве деталей уменьшить отходы или использовать их?
8. В каких случаях можно использовать более дешёвый материал или применить различные покрытия?
9. Что в детали (узле) в первую очередь изнашивается?
10. Какие способы повышения технологичности деталей вам известны?

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В лабораторном практикуме авторы представляют наиболее интересные и эффективные процессы и методы обработки, которые разработаны и организованы на предприятии в последние годы и рекомендованы к широкому применению в различных отраслях промышленности.

Ряд технологических процессов разработан и основан при непосредственном участии научно-исследовательских и учебных институтов. Освоенные процессы прошли всестороннюю апробацию в условиях лабораторных и стендовых испытаний, серийного производства; качество самолётов подтверждено их эксплуатацией.

В лабораторном практикуме не только описана сущность процессов, но и даны все необходимые рекомендации по оборудованию, режимам обработки, влиянию параметров процессов на качество изделий. Широко представлены результаты исследований, полученные авторами при разработке процессов, которые использованы специалистами машиностроительной промышленности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология и оборудование контактной сварки : учеб. для машиностроительных вузов / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др. ; под общ. ред. Б. Д. Орлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Сварка в машиностроении : справ. / под ред. Н. А. Ольшанского. – М. : Машиностроение, 1979. – Т. 1-4.
3. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с.
4. Сварка и свариваемые материалы. В 3 т. Т. 2. Технология и оборудование : справ. / под ред. В. М. Ямпольского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 547 с.
5. Шевакин, Ю. Ф. Обработка металлов давлением / Ю. Ф. Шевакин, В. С. Шайкевич. – М. : Metallurgy, 1972. – 245 с.
6. Технология процессов обработки металлов давлением / П. И. Полухин, А. Хензель, В. П. Полухин, Б. А. Прудковский [и др.]. – М. : Metallurgy, 1988. – 407 с.
7. Справочник кузнеца-штамповщика / В. И. Ершов, В. В. Уваров, А. С. Чумазин, Б. Н. Марьин [и др.]. – М. : МАИ, 1996. – 351 с.
8. Интенсификация формообразования деталей из трубных заготовок / Б. Н. Марьин, Ю. Л. Иванов, В. М. Сапожников, О. В. Попов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1996. – 176 с.
9. Пат. 34410 Российская Федерация, МПК В21D41/02. Устройство для раздачи концов труб / Марьин Б. Н. ; заявитель и патентообладатель «Открытое акционерное общество «Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю. А. Гагарина»». – № 2001130909/02 ; заявл. 15.11.2001 ; опубл. 10.12.2003. Бюл. № 15. – 2 с.
10. Суворов, И. К. Обработка металлов давлением / И. К. Суворов. – М. : Высш. шк., 1980. – С. 300-304.
11. Третьяков, А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, Г. К. Трофимов, В. И. Зюзин. – М. : Metallurgy, 1964. – 224 с.
12. Ефименко, С. П. Вальцовщик листопрокатных станков / С. П. Ефименко. – М. : Metallurgy, 1970. – 352 с.
13. Прокатное производство / П. И. Полухин, Н. М. Федосов, А. А. Королев, Ю. М. Матвеев. – М. : Metallurgy, 1968. – 676 с.
14. Ефимов, А. И. Технология литейного производства / А. И. Ефимов. – М. : Metallurgy, 1974. – 150 с.

15. Поиск новых идей: от озарения к технологии / Г. С. Альтшуллер, Б. Л. Злотин, А. В. Зусман, В. И. Филатов. – Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1989. – 381 с.
16. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов / А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с.
17. Режимы резания металлов : справ. / под ред. Ю. В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 408 с.
18. Станочные приспособления / под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1-2.
19. Безнос, М. П. Настройка сортовых прокатных станков / М. П. Безнос. – М. : Metallurgy, 1974. – 150 с.
20. Клименко, П. Л. Производство сортового проката / П. Л. Клименко, В. М. Друян. – М. : Metallurgy, 1974. – 150 с.
21. Еланский, Г. Н. Основы производства и обработки металлов : учеб. / Г. Н. Еланский, Б. В. Линчевский, А. А. Кальменев. – М. : МГАМИ, 2005. – 416 с.
22. Основы функционально-стоимостного анализа / С. С. Бочаров, Б. И. Долотов, Б. Н. Марьин, А. Г. Прохоров. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 220 с.
23. Количественная оценка зёрненной структуры конструкционных сталей при пластической деформации и рекристаллизационном отжиге / В. В. Лиманкин, В. А. Ким, Б. Н. Марьин, В. А. Сухоплюев, С. Б. Марьин, А. М. Шпилев, Э. А. Дмитриев // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2012. – № II-1(10). – С. 81-88.
24. Моделирование процесса обжима полых и трубчатых заготовок при использовании ледяных стержней в качестве рабочего тела / Д. Г. Колыхалов, Б. Н. Марьин, С. И. Феоктистов, Р. В. Шпорт // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2011. – № IV-1(8). – С. 78-85.
25. Устройство для обжима конца трубы / Б. Н. Марьин, Е. Б. Щелкунов, Д. Г. Колыхалов, Р. В. Шпорт, Е. А. Брянцева // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2013. – № IV-1(16). – С. 4-7.



**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**ИННОВАЦИОННАЯ СХЕМА  
ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА**

<b>ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ</b>		<b>ФСА - 1</b>
<p>ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА всегда связано с:</p>	<p>ПОЛЕЗНАЯ ФУНКЦИЯ ВРЕДНАЯ ФУНКЦИЯ НЕЙТРАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ</p>	<p>ПФ ВФ НФ</p>
<p>КРИТЕРИЙ НАЛИЧИЯ ФУНКЦИИ: изменение хотя бы одного параметра объекта одно ДЕЙСТВИЕ + несколько ОБЪЕКТОВ = ряд однозначных функций объектов УРОВЕНЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИЙ: Избыточный, Нормальный, требующий Усиления</p>		
<p>ФОРМУЛИРОВКА ФУНКЦИЙ  общие правила</p>	<p>- для определённого объекта в определённых условиях работы; - без указания конкретного воплощения объекта; - для материального объекта (вещество, поле)</p>	
<p>ДЕЙСТВИЕ ФУНКЦИИ</p>	<p>+ ОБЪЕКТ ФУНКЦИИ</p>	<p>+ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА ФУНКЦИИ</p>
<p>Глагол в неопределённой форме, отражающий действие в позитивной формулировке (без «не»)</p>	<p>Существительное в винительном падеже (кроме параметров и свойств)</p>	<p>Место, время, направленность и т.д.</p>
<p>ФУНКЦИЯ – действие материального объекта по изменению параметров других материальных объектов. ПРОЯВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ</p>		
<p>ФОРМУЛИРОВКА ГЛАВНОЙ ПОЛЕЗНОЙ ФУНКЦИИ (ГПФ) – цели создания объекта</p>		
<p>1. Первоначальная формулировка ГПФ (обычно неправильная) → 2. Выполняет ли объект данную функцию самостоятельно? (У объекта есть хоть один элемент, участвующий в выполнении функции) → ДА → 3. Зачем выполняется эта функция? Каким образом выполняется? → Новая формулировка ГПФ</p> <p style="text-align: center;">← проверка пока выполняется условие 2</p>		
<p><b>РАНЖИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ГПФ</b></p>		
<p>ОСНОВНАЯ ФУНКЦИЯ (ОФ) ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ I ранга (ВФ1) ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ II ранга (ВФ2)</p>	<p>Действие функции + ОБЪЕКТ ГПФ Действие функции + ОБЪЕКТ-НОСИТЕЛЬ ОФ Действие функции + ОБЪЕКТ-НОСИТЕЛЬ ВФ1</p>	

ПРИ СОВПАДЕНИИ ОБЪЕКТОВ функции ранжировать по месту в причинно-следственной цепочке, ПРИ СОВПАДЕНИИ ОБЪЕКТОВ И ДЕЙСТВИЙ – по обстоятельствам функции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ (ДФ) имеют объектами либо элементы надсистемы, либо систему в целом, кроме объекта ГПФ. Значимость ДФ определяется экспертно.

РАНГ ДФ (функции, объектом которой является анализируемый элемент) всегда на уровень ниже, чем у функции самого высокого ранга, носителем которой является этот элемент (ГПФ элемента).

ДЛЯ ВРЕДНЫХ ФУНКЦИЙ экспертным путём определяется относительная значимость: степень негативного влияния на потребительские свойства объекта.

*Учебное издание*

**Хейн Вин Зо**  
**Марьин Сергей Борисович**  
**Марьин Борис Николаевич**  
**Ким Владимир Алексеевич**  
**Шпилёва Анна Анатольевна**  
**Свиридов Андрей Владимирович**

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Лабораторный практикум

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Б. Н. Марьина

Редактор Т. Н. Карпова

Подписано в печать 19.06.2015.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 60 г/м<sup>2</sup>. Ризограф EZ570E.  
Усл. печ. л. 5.11. Уч.-изд. л. 4,82. Тираж 50 экз. Заказ 27194.

Редакционно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.