

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Бийский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»

А.Н. Блазнов, И.Н. Павлов, А.И. Легаев, В.А. Куничан

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ И СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов» для студентов специальностей 260601.65 «Машины и аппараты пищевых производств», 240706.65 «Автоматизированное производство химических предприятий», 240901.65 «Биотехнология», 270109.65 «Теплогасоснабжение и вентиляция», 240300.65 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» специализации 240305.65 «Автоматизированное производство химических предприятий», направления подготовки 151000.62 «Технологические машины и оборудование» профиля подготовки «Машины и аппараты пищевых производств» и направления подготовки 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» профиля подготовки «Технология машиностроения»

Бийск
Издательство Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова
2013

УДК 621.7(076)

Л64

Рецензент: В.Н. Беляев, к. т. н., доцент кафедры МРСиИ БТИ АлтГТУ

Блазнов, А.Н.

Л64 Литейное производство, обработка давлением и сварочное производство: методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов» для студентов специальностей 260601.65 «Машины и аппараты пищевых производств», 240706.65 «Автоматизированное производство химических предприятий», 240901.65 «Биотехнология», 270109.65 «Теплогазоснабжение и вентиляция», 240300.65 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» специализации 240305.65 «Автоматизированное производство химических предприятий», направления подготовки 151000.62 «Технологические машины и оборудование» профиля подготовки «Машины и аппараты пищевых производств» и направления подготовки 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» профиля подготовки «Технология машиностроения» / А.Н. Блазнов, И.Н. Павлов, А.И. Легаев, В.А. Куничан; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск. Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 66 с.

Методические рекомендации содержат сведения о технологических процессах изготовления деталей и заготовок с помощью литья, обработки давлением и сварки. Рассмотрены основные виды данных способов и применяемое оборудование. Приведены формулы для расчета размеров отливки, параметров литниковой системы, а также некоторых операций объемной и листовой штамповки – размеров заготовок и величины усилия деформирования на примере осадки, вырубки и гибки. Методические рекомендации предназначены для студентов всех форм обучения технических специальностей.

УДК 621.7(076)

Рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Машины и аппараты химических и пищевых производств». Протокол № 6 от 14.02.2013 г.

© Блазнов А.Н., Павлов И.Н.,
Легаев А.И., Куничан В.А., 2013
© БТИ АлтГТУ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Лабораторная работа № 1 (4 часа). Изучение технологии получения отливок	6
1.1 Основы литейного производства.....	6
1.1.1 Технология изготовления отливок в разовых формах	7
1.1.2 Формовочные и стержневые смеси	8
1.1.3 Литейные сплавы и их свойства	9
1.1.4 Понятие о литниковой системе	12
1.1.5 Выбор положения отливки в форме и поверхности разъема.....	13
1.1.6 Дефекты отливок, причины их появления и способы устранения	14
1.2 Назначение припусков на механическую обработку и расчет литниковой системы.....	16
1.2.1 Литниковая система для серого чугуна	18
1.2.2 Литниковая система для стальных отливок	19
1.3 Оборудование, приборы, инструменты, материалы	20
1.4 Порядок выполнения работы.....	20
1.5 Составление отчета.....	21
1.6 Контрольные вопросы	21
2 Лабораторная работа № 2 (4 часа). Технология обработки давлением. изучение операций объемной штамповки	22
2.1 Общие сведения о процессах обработки давлением	22
2.1.1 Виды обработки давлением	23
2.2 Объемная штамповка	26
2.2.1 Влияние температуры на сопротивление деформированию и пластичность стали	26
2.2.2 Объемная штамповка в открытых штампах	29
2.3 Оборудование, приборы, инструменты, материалы	31
2.4 Описание лабораторной установки.....	31
2.5 Порядок выполнения работы.....	31
2.6 Обработка опытных данных и составление отчета	32
2.7 Контрольные вопросы	33
3 Лабораторная работа № 3 (4 часа). Технология обработки давлением. изучение операций листовой штамповки	33
3.1 Холодная листовая штамповка.....	33
3.2 Оборудование, приборы, инструменты, материалы	40
3.3 Описание лабораторной установки.....	40
3.4 Порядок выполнения работы.....	41
3.4.1 Изучение процесса вырубки	41

3.4.2 Изучение процесса гибки	41
3.5 Обработка опытных данных и составление отчета	41
3.5.1 Расчет зазоров и усилия при вырубке	41
3.5.2 Расчет углов пружинения и усилия при гибке	42
3.6 Контрольные вопросы	43
4 Лабораторная работа № 4 (4 часа). Изучение технологии сварочного производства	44
4.1 Основы сварочного производства	44
4.1.1 Сварка давлением	44
4.1.2 Сварка плавлением	49
4.1.3 Источники тока ручной дуговой сварки	54
4.1.4 Свариваемость металлов и сплавов и дефекты сварных соединений	56
4.1.5 Методы контроля сварных швов	58
4.2 Оборудование, приборы, инструменты, материалы	59
4.3 Описание лабораторной установки	59
4.4 Порядок выполнения работы и составление отчета	60
4.5 Контрольные вопросы	60
Приложение А. Варианты индивидуальных заданий к лабораторным работам	62
Приложение Б. Образец оформления титульного листа отчета по лабораторной работе	64
Литература.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Основными способами получения металлических деталей и заготовок в машиностроительном производстве являются литье, обработка давлением, сварка и обработка резанием. Инженерам необходимо знать и уметь на практике обоснованно выбирать любой из способов для изготовления конкретной детали. При выборе способа инженер должен опираться на требования, предъявляемые к изделию, учитывать имеющуюся производственную базу и стремиться к наиболее рациональному использованию материала и снижению стоимости изготовления изделия.

В настоящих методических рекомендациях, в четырех лабораторных работах, рассмотрены заготовительные операции – литье, обработка давлением и сварочное производство. Предложен подход к расчету заготовок, отливок и поковок по размерам готовой детали; приведен расчет элементов литниковой системы, усилий, необходимых при обработке металлов давлением; даны рекомендации по конструированию сварных изделий и выбору способа сварки. Приведены теоретические основы, необходимые для выполнения каждой лабораторной работы. Выполняемые лабораторные работы имеют своей целью закрепление теоретического материала курса, изучение оборудования, применяемого для изготовления изделий. В результате выполнения практической части лабораторных работ студенты приобретают навыки самостоятельной работы, овладевают методами экспериментальных исследований и обработки результатов.

В Приложении А приведены варианты индивидуальных заданий для расчета и выбора заготовок при производстве деталей литьем, обработкой давлением и сваркой.

Выполнение лабораторной работы сопровождается отчетом. Рекомендации по содержанию отчета приведены в заключительной части каждой лабораторной работы. Текст отчета пишется аккуратно, от руки, в ученической тетради или на сброшюрованных листах формата А4, допускается оформление работы на ЭВМ и распечатка на принтере. Рекомендуемая форма титульного листа при оформлении отчета на формате А4 приведена в Приложении Б.

1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 (4 ЧАСА). ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК

Цель работы: ознакомиться с методикой разработки технологического процесса получения отливки, разработать его для конкретной детали и выполнить отливку детали в разовую форму.

1.1 Основы литейного производства

Литейным производством называется технологический процесс получения фасонных деталей, или заготовок, путем заливки расплавленного металла в литейную форму. После затвердевания металла в форме получается отливка – литая деталь, или заготовка. *Деталь* – это изделие, изготовленное из одного куска металла без применения сборочных операций. Деталь поступает на сборку непосредственно после очистки без дополнительной механической обработки. *Заготовки* подвергаются в дальнейшем механической обработке для получения готовой детали.

Методом литья изготавливают изделия сложной конфигурации, которые при помощи других видов обработки –ковки, штамповки, сварки – получить или значительно труднее (дороже), или невозможно. Методом литья изготавливают детали двигателей внутреннего сгорания, блоки цилиндров, поршни, рабочие колеса насосов, многотонные станины станков и др. Отливки изготавливают из чугуна, стали, медных, алюминиевых, магниевых и других сплавов.

Перед литейным производством стоит задача получения отливок с максимальным приближением к окончательному виду детали с таким расчетом, чтобы механическую обработку можно было ограничить лишь чистовой отделкой и шлифованием.

Все способы получения литых изделий можно разделить на три группы:

1) получение отливок в *разовых формах*, однократно заполняемых металлом (литье в сырые и сухие песчаные формы или литье в землю, литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям и др.);

2) получение отливок в *многократных (постоянных) формах*, много раз заполняемых металлом (центробежное литье, литье в кокиль, под давлением, выжиманием, намораживанием, непрерывное литье, литье жидкой штамповкой и др.), для чего используют металлические формы;

3) получение отливок в *комбинированных и полупостоянных формах*, изготавливаемых из металла со сменными песчаными стержнями или из огнеупорных материалов (литье в облицованный кокиль,

литье в кокиль со сменным стержнем, литье в формы из огнеупорных материалов – керамические, асбоцементные, графитовые).

Наилучшее качество поверхности и точность размеров отливок достигается при использовании стальных многоразовых форм и при литье по выплавляемым моделям, менее качественная поверхность и низкая точность размеров у отливок, полученных литьем в песчаные, керамические, асбоцементные формы.

1.1.1 Технология изготовления отливок в разовых формах

Последовательность технологических операций при изготовлении отливок показана на рисунке 1.1.

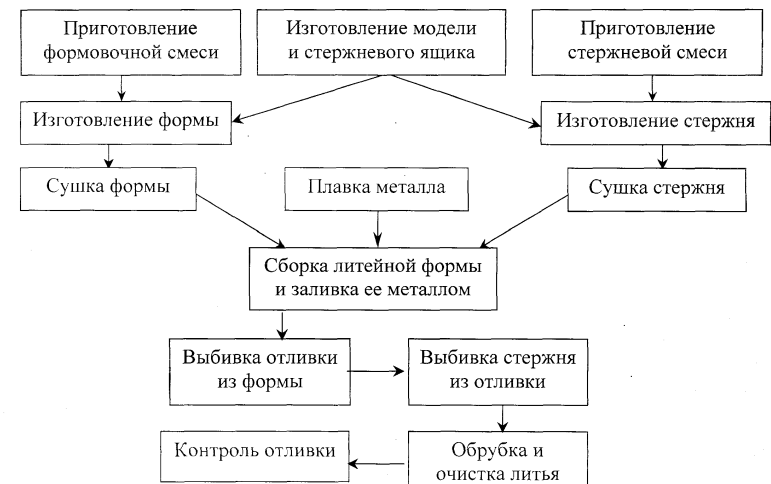


Рисунок 1.1 – Схема изготовления отливки в разовой песчаной форме

Отливки получают при заливке расплавленного металла в *литейную форму*, полость которой соответствует наружной конфигурации отливки. Для получения в отливках отверстий в форму перед заливкой помещают *стержень*, конфигурация которого соответствует внутренней полости отливки.

Изготовление литейной формы называется *формовкой*. Для процесса формовки необходимы модель, модельная плита, стержневые ящики, сушильные ящики, опоки.

Модель – это формообразующее приспособление, с помощью которого в литейной форме делается отпечаток, соответствующий внешней конфигурации отливки. Модели содержат знаковые части для установки и фиксации стержней и могут быть разборными и неразборными. Модели изготавливают из древесины или металла по чертежу

готовой детали. Предварительно все размеры чертежа детали увеличивают на величину линейной усадки сплава. Если отливка подвергается механической обработке, то все размеры модели увеличивают по сравнению с чертежом детали на величину припуска на механическую обработку (обычно припуск составляет от 2 до 20 мм).

Модельные плиты служат для размещения на них модели и опоки во время формовки. Плиты имеют специальные приспособления (болтовые или винтовые крепления) для жесткой фиксации модели и опоки, чтобы исключить их взаимное смещение в процессе формовки.

Стержневой ящик – это приспособление, в котором изготавливают стержни из стержневой смеси. Стержневые ящики и модели обычно изготавливают из дерева или алюминиевых сплавов (силуминов).

Сушильные плиты для стержней могут быть плоскими и фасонными – с углублениями, соответствующими конфигурации стержня, которые применяют для сохранения геометрических размеров стержней после извлечения их из стержневого ящика. В сушильных плитах имеется перфорация (отверстия) для доступа горячего воздуха к поверхности стержня.

Опоки представляют собой жесткие рамки, изготавливаемые методом литья из стали, чугуна, силумина или методом сварки из стальных пластин. Опока, заполненная уплотненной формовочной смесью с отпечатком модели, называется *полуформой*. Две полуформы, собранные вместе, образуют литейную форму.

1.1.2 Формовочные и стержневые смеси

Для изготовления форм и стержней применяют *формовочные* и *стержневые смеси* соответственно. В состав смеси обычно входит огнеупорный песок, огнеупорная глина и вода. Песок играет роль наполнителя, глина – связующего.

Формовочные и стержневые смеси должны обладать пластичностью, газопроницаемостью, прочностью, противопригарностью и податливостью.

Пластичностью называют способность смесей деформироваться под действием внешних нагрузок без нарушения целостности и сохранять приданную им форму после снятия нагрузки. Это свойство необходимо для получения в форме отчетливого отпечатка модели. Пластичность формовочной смеси возрастает при увеличении содержания в ней воды, глины и связующих материалов, а также песка с мелким зерном.

Газопроницаемостью называется способность смесей пропускать газы вследствие пористости. Газы выделяются из формовочных материалов во время заливки формы сплавом. Если газопроницаемость смеси мала, то газы попадают в жидкий металл и образуют газовые

раковины в отливке. Газопроницаемость смеси тем выше, чем крупнее и однороднее по размерам зерна песок и чем меньше в смеси глины.

Прочностью называется способность смесей выдерживать внешние нагрузки без разрушения. Это свойство необходимо для того, чтобы форма не деформировалась и не разрушалась при изготовлении, транспортировании и воздействии на нее давления жидкого сплава при заливке. Прочность формовочной смеси возрастает при увеличении содержания в ней глины, связующих материалов и песка с мелким зерном. Для повышения прочности смесей применяют связующие материалы – жидкое стекло, цемент и т.д.

Противопригарностью называется способность смесей не сплавляться и не спекаться с расплавленным металлом. Формовочные смеси иногда пригорают к отливкам и образуют на их поверхности сплошную корку из смеси окисла металла и песка, которая сильно затрудняет механическую обработку. Противопригарность формовочной смеси повышается при увеличении в ней чистого кварцевого песка и снижается при наличии известняка. В качестве противопригарной добавки в состав смеси вводят материалы, препятствующие образованию окислов на поверхности отливки (для чугуна используют каменную пыль, для бронзового – мазут).

Для улучшения чистоты поверхности отливки поверхность форм и стержней покрывают огнеупорными красками и припылом (порошковый графит, молотый древесный уголь и молотый кварцевый песок).

Податливостью называется способность смесей сжиматься под действием внешних сил. Это необходимо для того, чтобы форма или стержень не препятствовали усадке при затвердевании отливки, в противном случае могут образоваться внутренние напряжения и трещины. Податливость смеси увеличивается при наличии крупного речного песка и снижается при наличии глины.

К стержневым смесям применяют более жесткие требования по прочности, газопроницаемости, податливости, чем к формовочным. В связи с этим состав формовочных и стержневых смесей различен. Стержневые смеси содержат большее количество песка и меньшее количество глины и связующих материалов, чем формовочные.

Для заливки металла в форму в ней формируют литниковую систему.

1.1.3 Литейные сплавы и их свойства

Для изготовления отливок наиболее широкое применение находят сплавы на основе железа, меди, алюминия, магния, титана, цинка и свинца. Около 80 % отливок по массе изготавливают из чугуна, 15 % из стали и 5 % из сплавов цветных металлов, преимущественно из алюминия.

Сплавы, из которых изготовляют отливки, должны иметь высокие литейные свойства. К основным литейным технологическим свойствам сплавов относят жидкотекучесть, усадку, ликвацию, газонасыщение.

Жидкотекучесть – способность материала, находящегося в жидком состоянии, качественно заполнять полость линейной формы.

Обычно жидкотекучесть оценивается методом прутковой пробы. Изготавливают литейную форму, полость которой – цилиндр. Канал диаметром 10 мм, длиной 1 м, через каждые 100 мм делается выступ. Заливка производится до тех пор, пока материал не перестанет поступать в форму. Степень жидкотекучести оценивают по количеству залитых делений – промежутков 100 мм. Например, жидкотекучесть стали и чугуна ниже, а алюминиевых и медных сплавов – выше. Низкая жидкотекучесть может привести к дефектам литья – раковинам, пустотам, недоливам при заливке деталей с тонкими стенками.

Чем сложнее конфигурация отливки, тем выше должна быть жидкотекучесть. Например, при конструировании отливки из чугуна минимальная толщина стенок должна быть не менее 8 мм, из алюминия – не менее 5 мм.

Усадка – способность материала в процессе кристаллизации и последующего охлаждения уменьшаться в объеме.

Усадке подвержены в той или иной степени все литейные сплавы. Различают линейную и объемную усадку, выражаемую в относительных единицах.

Линейная усадка (уменьшение отливки в линейных размерах) приводит к возникновению усадочных внутренних напряжений, которые могут вызвать коробление отливки и возникновение трещин. Для предупреждения возникновения внутренних напряжений при конструировании предусматривают закругления (галтели) для острых углов и не допускают большого количества выступающих частей. Также предусматривают плавный переход от толстой к тонкой стенке и литейные уклоны.

Линейная усадка рассчитывается по формуле в процентах

$$\varepsilon_{\text{лин}} = \frac{l_{\text{мод}} - l_{\text{дет}}}{l_{\text{дет}}} \cdot 100, \quad (1.1)$$

где $l_{\text{мод}}$, $l_{\text{дет}}$ – размеры модели и детали по чертежу соответственно, мм.

Линейная усадка отливок из серого чугуна в среднем достигает 1 %, из стали – 2 %; из сплавов цветных металлов – 1,5 %. На практике линейные размеры модели увеличивают по сравнению с размерами детали на величину усадки.

Объемная усадка (уменьшение объема металла при затвердевании и остывании) приводит к образованию усадочных раковин, которые представляют собой пустоты в отливках.

Объемную усадку в процентах определяют соотношением:

$$\varepsilon_{об} = \frac{V_{мод} - V_{дет}}{V_{дет}} \cdot 100,$$

где $V_{мод}$, $V_{дет}$ – объем модели и детали по чертежу соответственно, мм³.

Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке: $\varepsilon_{об} = 3 \cdot \varepsilon_{лин}$.

Ликвация – способность материала в процессе кристаллизации создавать химическую и структурную неоднородность по сечению отливки.

При кристаллизации сплава в первую очередь кристаллизуются элементы, имеющие наибольшую температуру плавления (например, титан Ti, молибден Mo), в последнюю очередь – элементы с меньшей температурой плавления (например, сера S, фосфор P). В различных участках изделия химический состав будет отличаться. Все сплавы подвержены ликвации. Оценивается ликвация по специальным стандартным эталонам (по 10-балльной шкале).

Ликвация приводит к дефектам литья – несоответствие свойств металла отливки заданным требованиям, причиной которых может быть как химическая, так и структурная неоднородность. Структурная неоднородность выражается в образовании послойного строения отливки при затвердевании: процесс кристаллизации начинается от самой переохлажденной части отливки – обычно это стенки литейной формы. Вначале образуется тонкая наружная «корка» из мелких равноосных кристаллов, второй слой образуют упорядоченные древовидные кристаллы – дендриты, растущие от холодной части отливки внутрь к горячей части. На некотором удалении от стенки литейной формы градиент температур выравнивается, и начинается рост кристаллов во всех направлениях, образуется третья зона неориентированных кристаллов.

Для предотвращения химической ликвации при изготовлении отливок всегда следует выбирать сплавы с близкими температурами плавления компонентов. Для предотвращения структурной ликвации применяют модифицирование сплавов.

Газонасыщение – способность сплава поглощать газы из топлива, шихты и окружающей среды в период плавки или из литейной формы при заливке. Металл всегда содержит газы (кислород O₂, азот N₂, водород H₂), которые растворяются в нем в жидком состоянии, а при затвердевании могут выделиться и образовать дефекты – пористость и газовые раковины.

Перед заливкой в литейные формы сплавы обрабатывают – готовят к кристаллизации с целью предотвращения дефектов

и получения отливок высокого качества с требуемыми свойствами. Основные виды подготовки сплавов перед заливкой – модифицирование, легирование, рафинирование, дегазация.

Модифицирование – это введение в жидкий расплав добавок в малых количествах без изменения его химического состава с целью изменения условий кристаллизации, измельчения структуры и повышения механических свойств. Модификаторами служат тугоплавкие частицы, наноалмазы и др., которые являются центрами кристаллизации и измельчают структуру отливки.

Легирование – это введение в состав сплава добавок в значительных количествах для изменения его химического состава, внутреннего строения и свойств. Химические элементы, специально вводимые в сплав в разных количествах, называются легирующими добавками. В результате легирования сплав приобретает повышенную твердость, коррозионную стойкость, жаропрочность, износостойкость и т.д.

Рафинирование – очистка сплавов от газов, неметаллических включений и других вредных примесей. Для рафинирования применяют флюсы и покровные шлаки различного типа, процеживание сплавов перед заливкой. Неметаллические включения и вредные примеси могут быть удалены из сплава как механическим способом – процеживание и отделение в шлакоуловителях, так и с помощью химических связей при обработке флюсами и шлаками.

Дегазация – разновидность рафинирования, которая заключается в очистке сплавов от газов, растворенных в металле. Очистку осуществляют вакуумированием расплава или продувкой его инертными или активными газами.

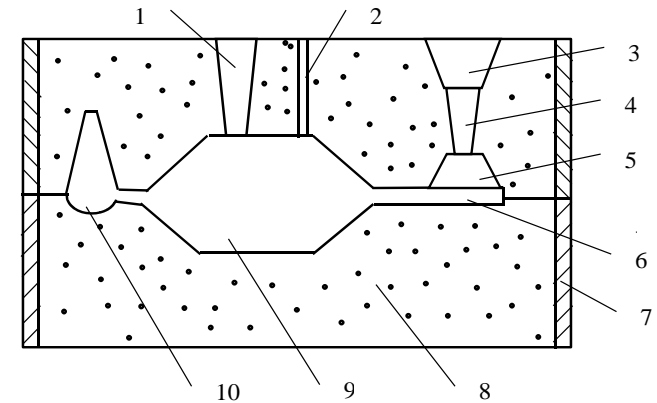
1.1.4 Понятие о литниковой системе

Литейная форма заполняется жидким металлом через каналы, которые называют литниковой системой. Конструкция литниковой системы зависит от свойств сплава – его жидкотекучести и усадки. Расход металла на литниковую систему зависит от ее конструкции и обычно составляет от 20 до 40 % массы отливки для серого чугуна, от 30 до 60 % для белого чугуна, от 60 до 80 % для стали, от 35 до 80 % для цветных сплавов.

Основными элементами литниковой системы являются литейная воронка 3, стояк 4, шлакоуловитель 5, питатель 6, выпор-канал 2, прибыли 1, 10 (рисунок 1.2).

Жидкий металл заливается через воронку 3 и заполняет всю литниковую систему. В шлакоуловителе 5 «всплывают» и задерживаются посторонние примеси, имеющие меньшую массу, чем расплавленный металл. Прибыли 1 и 10 кристаллизуются позже отливки 9 и питают

отливку жидким металлом, компенсируя усадку сплава в отливке и предотвращая образование усадочных дефектов (раковин, трещин). Выпор-канал 2 служит для вывода газов из формы. Открытая прибыль 1, расположенная в верхней части литейной формы, играет роль питающей прибыли и выпор-канала одновременно.



1, 10 – прибыли; 2 – выпор-канал; 3 – литейная воронка; 4 – стояк;
5 – шлакоуловитель; 6 – питатель; 7 – опока; 8 – формующая смесь (земля); 9 – отливка

Рисунок 1.2 – Литниковая система

Для предупреждения образования усадочной раковины на отливке предусматривают *прибыль* с таким расчетом, чтобы металл в *прибыли* затвердевал в последнюю очередь, при этом усадочная раковина будет образовываться в *прибыли*.

Выпоры делают на самых высоких точках отливки и желательно со стороны, противоположной подводу металла. Ставить выпор на массивных частях отливки не рекомендуется, так как он, имея меньшее сечение и затвердевая раньше отливки, будет питаться ее металлом. В результате под выпором в отливке образуется раковина, или пористость.

1.1.5 Выбор положения отливки в форме и поверхности разъема

При назначении положения отливки в форме необходимо:

1) наиболее важные части отливки расположить в нижней части формы, так как металл в этих местах получается наиболее плотным;

2) отливку расположить в форме так, чтобы обеспечить ее направленное затвердевание и питание;

3) поверхности отливки, служащие базой при механической обработке, расположить в одной форме;

4) обрабатываемые поверхности расположить внизу, вертикально или наклонно.

Отливки из сплавов с большой усадкой (сталь, ковкий чугун) следует помещать в форме так, чтобы наиболее массивные части, требующие дополнительного питания, находились сверху.

На отливках из серого чугуна, где усадка небольшая, наоборот, массивные части рекомендуется размещать внизу.

При определении поверхности разъема необходимо обеспечить следующие условия:

1) форма и модель имели только одну поверхность разъема, по возможности плоскую, удобную для формовки и сборки формы;

2) отливка целиком помещалась в одной, желательно нижней, полужоформе, что предотвращает появление брака по перекосам и смещениям;

3) число стержней было минимальным;

4) модель свободно извлекалась из формы.

1.1.6 Дефекты отливок, причины их появления и способы устранения

Выделяют пять групп дефектов отливок.

1. Раковины – газовые, шлаковые и усадочные.

Газовые раковины имеют гладкую поверхность, заполнены газом. Газ может попасть в жидкий металл и образовать раковину по следующим причинам: это может быть воздух из полости формы, это могут быть газы (пары воды), которые выделяются из недосушенной формы в процессе заливки ее металлом, это могут быть растворенные в металле газы, которые начинают выделяться в процессе кристаллизации и образуют газовую раковину. Соответственно, мерой предупреждения таких раковин в зависимости от причины появления будут следующие: правильная конструкция литниковой системы (выпор-канал должен находиться в верхней точке полости формы и обеспечивать выход воздуха); сушка формы, чтобы удалить всю находящуюся влагу; дегазация расплава перед заливкой с целью очистки от растворенных газов. В любом случае газопроницаемость смеси должна быть достаточной, чтобы избежать подобных дефектов или свести их к минимуму.

Шлаковые раковины заполнены инородными включениями – шлаком, сором, неметаллическими включениями. Эти примеси могут попасть в жидкий металл из доменной плавки, а также в процессе изготовления формы и заливки металлом. Для их предотвращения применяют дегазацию, процеживание сквозь сито и устанавливают шлакоуловители, в которых всплывают и задерживаются шлаки, имеющие более легкий вес, чем основной металл.

Усадочные раковины являются неизбежными при литье и вызваны свойством сплавов уменьшаться в объеме при кристаллизации и охлаждении (усадкой). Для предупреждения образования усадочной раковины на отливке предусматривают прибыль с таким расчетом, чтобы металл в прибыли затвердевал в последнюю очередь, при этом усадочная раковина будет образовываться в прибыли.

2. Трещины – горячие и холодные.

Горячие трещины формируются в отливке в горячем состоянии, когда материал имеет низкую прочность и хрупкий. Причинами возникновения горячих и холодных трещин в отливках являются внутренние напряжения. При этом если напряжения превышают предел прочности материала в горячем состоянии, образуются горячие трещины, если не превышает – образуются *холодные*, в процессе эксплуатации.

Для предупреждения возникновения внутренних напряжений при конструировании предусматривают закругления (галтели) для острых углов и не допускают большого количества выступающих частей. Также предусматривают плавный переход от толстой к тонкой стенке и литейные уклоны. Податливость смеси должна обеспечивать уменьшение внутренних напряжений в процессе усадки.

3. Дефекты поверхности – пригар (механический, химический), спай, плены, механические повреждения.

Пригар возникает при взаимодействии металла отливки с поверхностью формы и образует неровности, которые портят не только внешний вид отливки, но и затрудняют механическую обработку. С пригаром борются путем создания газовой атмосферы между стенкой металла и формой, покрывают внутреннюю поверхность формы припылом (пылевидным графитом) или огнеупорными красками. *Механические повреждения* могут возникнуть в случае, когда неостывшую отливку выбивают из формы. Чтобы этого не произошло, необходимо тщательно выдерживать технологический процесс литья и обеспечить достаточное время для кристаллизации и затвердевания отливки.

4. Геометрические дефекты (несоответствие размеров, массы и конфигурации отливок) – недоливы, заливы, перекося, коробление, искажение размеров.

Геометрические дефекты могут возникнуть по причине малой пластичности смеси, когда отпечаток модели не полностью соответствует форме детали (заливы). *Недоливы* могут образоваться вследствие малой жидкотекучести расплава при заливке тонких стенок. Для избежания геометрических дефектов необходимо тщательно проработать конструкцию литниковой системы и отливки и правильно заложить процесс литья. Не допускаются тонкие стенки для материалов

сталь и чугун, имеющих низкую жидкотекучесть (например, для литых корпусов редукторов толщина стенки рекомендуется не менее 8 мм).

5. Несоответствие металла отливки требованиям по химическому составу, структуре, свойствам.

Причиной *несоответствия* может быть неоднородность отливки, вызванная ликвацией, или слоистость отливки, вызванная затвердеванием вначале более тугоплавких, затем – менее тугоплавких компонентов сплава. Для борьбы с ликвацией применяют сплавы, состоящие из компонентов с близкими температурами плавления, а также модифицирование – для измельчения структуры и создания однородности по сечению отливки.

1.2 Назначение припусков на механическую обработку и расчет литниковой системы

Когда положение отливки в форме установлено, на все обрабатываемые поверхности назначают припуски на механическую обработку (таблицы 1.1, 1.2). Величина припуска зависит от типа металла отливки, класса точности, размера обрабатываемой поверхности и положения этой поверхности в форме. Припуски на нижние и боковые поверхности имеют одинаковое значение, на верхнюю припуск увеличивается. Последнее объясняется тем, что во время заливки различные неметаллические включения (пузырьки газов, шлак и т.д.) всплывают и загрязняют поверхность отливки.

Таблица 1.1 – Припуски на механическую обработку отливок из серого чугуна классов точности I–III (по ГОСТ 1855-55), мм

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм								
		до 50		от 50 до 120			от 120 до 260			
		I	II	I	II	III	I	II	III	
до 120	верх	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5				
	низ, бок	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5				
от 120 до 260	верх	2,5	4,0	3,0	4,5	5,0	3,0	5,0	5,5	
	низ, бок	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	2,5	4,0	4,5	
от 260 до 500	верх	3,5	4,5	3,5	5,0	6,0	4,0	6,0	7,0	
	низ, бок	2,5	3,5	3,0	4,0	4,5	3,5	4,5	5,0	
от 500 до 800	верх	4,5	5,0	4,5	6,0	7,0	5,0	6,5	7,0	
	низ, бок	3,5	4,0	3,5	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0	
от 800 до 1250	верх	5,0	6,0	5,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0	
	низ, бок	3,5	4,0	4,0	5,0	5,5	4,5	5,0	6,0	

Таблица 1.2 – Припуски на механическую обработку стальных отливок I класса (по ГОСТ 2009-55), мм

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм				
		до 120	120–260	260–500	500–800	800–1250
до 120	верх	3,5				
	низ, бок	3,0				
от 120 до 260	верх	4,0	5,0			
	низ, бок	3,0	3,5			
от 260 до 500	верх	5,0	5,0	6,0		
	низ, бок	3,0	4,0	4,0		
от 500 до 800	верх	5,0	6,0	7,0	7,0	
	низ, бок	4,0	4,5	5,0	5,0	
от 800 до 1250	верх	7,0	7,0	8,0	8,0	9,0
	низ, бок	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0

После нанесения припусков на вертикальных поверхностях отливки показывают формовочные уклоны, которые необходимы для извлечения модели из формы. Методы выполнения формовочных уклонов зависят от ряда факторов. Формовочные уклоны на моделях должны выполняться:

- 1) на обрабатываемых поверхностях сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки;
- 2) на необрабатываемых поверхностях, которые не сопрягаются с другими деталями, за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки;
- 3) на необрабатываемых поверхностях, которые сопрягаются с другими деталями, за счет уменьшения, увеличения или одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки.

Формовочные уклоны наружных поверхностей модели и стержневых ящиков в зависимости от высоты измеряемой поверхности приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Формовочные уклоны

Измеряемая высота поверхности модели, мм	Углы уклонов моделей (не более)	
	металлических	деревянных
до 20	1° 30'	3°
от 20 до 50	1°	1° 30'
от 50 до 100	0° 45'	1°
от 100 до 200	0° 30'	0° 45'
от 200 до 300	0° 30'	0° 30'
от 300 до 500	0° 20'	0° 30'
от 500 до 800	0° 20'	0° 20'
от 800 до 1180	–	–

На следующем этапе разработки технологии получения отливки на чертеже детали наносят границы стержней и размеры стержневых

знаков. Размеры горизонтальных и вертикальных стержневых знаков определяются длиной стержней и их диаметром или средней толщиной [1] (с увеличением длины и диаметра стержня размеры знаков увеличиваются).

На следующем этапе разработки технологического процесса рассчитываются элементы литниковой системы.

1.2.1 Литниковая система для серого чугуна

Суммарная площадь поперечного сечения питателей $\sum F_n$ (м²) определяется из уравнения

$$\sum F_n = \frac{G}{\gamma t \mu \sqrt{2gH_p}}, \quad (1.2)$$

где G – масса отливки с прибылями, кг;

γ – плотность жидкого металла, кг/м³ (для чугуна $\gamma = 7000$ кг/м³);

t – время заполнения формы, с;

μ – коэффициент сопротивления литниковой системы и полости формы;

g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²;

H_p – расчетный статический напор, м.

$$H_p = H_{cm} - \frac{h^2}{2H_{oml}}, \quad (1.3)$$

где H_{cm} – высота стояка над питателем, м;

h – высота отливки, расположенная выше плоскости разъема, м;

H_{oml} – общая высота отливки, м.

Коэффициент μ учитывает гидравлические потери при движении жидкого металла в каналах литниковой системы и в форме. Практически для тонкостенных отливок $\mu = 0,35 \dots 0,5$.

Время заполнения формы определяется в зависимости от массы отливки по формуле

$$t = S\sqrt{G}, \quad (1.4)$$

где G – масса отливки с литниковой системой, кг;

S – коэффициент, характеризующий толщину стенки отливки.

Средняя толщина стенки, мм	до 10	11–20	21–40	свыше 40
Коэффициент S	1,0	1,3	1,5	1,7

Подставив найденные значения H_p и t в исходную формулу, определяют суммарную площадь поперечного сечения питателей. Площадь поперечного сечения остальных элементов системы находят по соотношениям, установленным на основе практических данных. Для средних и мелких отливок из серого чугуна

$$\sum F_n : F_{ул} : F_{cm} = 1,0 : 1,1 : 1,2. \quad (1.5)$$

1.2.2 Литниковая система для стальных отливок

Сталь имеет плохие литейные свойства: усадка приближается к 2 %, низкая жидкотекучесть, склонность к трещинообразованию и образованию окисных пленок. Все это накладывает отпечаток на конструкцию и размеры литниковых ходов. Наиболее широко распространены подвод металла через прибыли в наиболее массивные части отливки.

Продолжительность заливки формы можно определить по формуле

$$t = S\sqrt[3]{\delta G}, \quad (1.6)$$

где S – коэффициент, принимаемый равным от 1,4 до 1,6;

δ – средняя толщина стенок отливки, мм;

G – масса отливки с литниками и прибылями, кг.

Суммарное сечение питателей $\sum F_n$ (см²) для стальных отливок можно определить по формуле

$$\sum F_n = \frac{G}{K_V t L}, \quad (1.7)$$

где K_V – удельная скорость заливки (зависит от относительной плотности отливки $K_V = G/V$), кг/см²·с;

V – объем литейной формы, дм³, определяемый ориентировочно по допустимому расстоянию между моделью и стенками опоки (таблица 1.4);

L – коэффициент поправки на жидкотекучесть стали (для углеродистых сталей $L = 0,85$, малоуглеродистых сталей $L = 1$, легированных $L = 1,15$).

$K_V = G/V$ (кг/дм ³)	от 0 до 1	от 1 до 2	от 2 до 3	от 3 до 4	от 4 до 5	от 5 до 6	свыше 6
K_V (кг/см ² ·с)	0,97	1,02	1,12	1,2	1,29	1,38	1,49

Таблица 1.4 – Допустимые расстояния между моделями и элементами формы

Масса отливки, кг	Допустимые расстояния, мм					
	от верха модели до верха опоки	от низа модели до низа опоки	от модели до стенок опоки	от кромки стояка до стенки опоки	между кромками моделей	от кромки шлакоуловителя до кромки модели
до 5	40	40	30	30	30	30
5–10	50	50	40	40	40	30
10–25	60	60	40	50	50	30
25–50	70	70	50	50	60	40
50–100	90	90	50	60	70	50
100–250	100	100	60	70	100	60
250–500	120	120	70	80	–	70

Площадь сечения остальных элементов литниковой системы определяют из соотношения (1.5):

$$\sum F_n : F_{вл} : F_{ст} = 1,0 : 1,1 : 1,2 .$$

Подбор размеров прибылей для питания стальных отливок осуществляют по расчетным номограммам. Ориентировочные размеры прибылей могут быть определены из соотношения

$$d = (1,8..2,5)D , \quad (1.8)$$

где d – диаметр вписанной окружности прибыли, мм;

D – диаметр вписанной окружности наиболее массивной подприбыльной части, мм.

Наибольший размер овального перешейка t , соединяющего прибыль с отливкой, определяется из соотношения

$$t = (d + D)/2 . \quad (1.9)$$

1.3 Оборудование, приборы, инструменты, материалы

1. Печь для плавки металла.
2. Тигли, щипцы.
3. Формовочный инструмент.
4. Модель.
5. Опоки.
6. Штангенциркуль.
7. Формовочная смесь (глина + песок или цемент + песок).
8. Металл для плавки и заливки (свинец или олово).

1.4 Порядок выполнения работы

Лабораторная работа содержит следующие разделы:

- теоретический (изучение процесса литья по литературе);
- расчетный (выбор припусков и расчет литниковой системы);
- практический (изготовление формы и заливка ее металлом).

Последовательность выполнения работы представлена следующими пунктами.

1.4.1 Ознакомиться с основами технологии получения отливок.

1.4.2 Выполнить эскиз выданной преподавателем детали.

1.4.3 Выбрать плоскость разреза модели и формы, расположение модели на модельной плите, подобрать припуски на механическую обработку по таблицам 1.1, 1.2 и литьевые уклоны по таблице 1.3, разработать эскизы модели и стержня и указать размеры с учетом припусков.

1.4.4 По эскизу модели рассчитать объем и массу отливки. По рекомендациям определить массу сплава в литниковой системе и общую массу сплава, который необходимо расплавить для изготовления требуемой детали методом литья.

1.4.5 Рассчитать элементы литниковой системы по формулам (1.2)–(1.9).

1.4.6 Приготовить формовочную смесь в составе: 3 части песка, 1 часть глины или цемента.

1.4.7 Изготовить форму для отливки детали по выданной модели. Для этого установить модель на модельную плиту, затем – поочередно верхнюю и нижнюю опоки, наполнить их формовочной смесью и утрамбовать. Выполнить формовку литниковой системы в форме.

1.4.8 После затвердевания и сушки формы выполнить заливку ее расплавленным металлом. Все работы, связанные с плавкой металла и заливкой его в форму, проводить с помощью клещей.

1.4.9 После затвердевания металла разбить форму и вынуть отливку с помощью инструментов, не касаясь ее руками. Отливку остудить в холодной воде.

1.4.10 Выполнить обрубку и очистку отливки. Измерить размеры полученной детали и сравнить их с размерами использованной модели. Рассчитать величину линейной усадки размеров отливки по формуле (1.1).

1.5 Составление отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать титульный лист, цель работы, задание, описание технологического процесса изготовления отливок, схему литниковой системы, расчеты, эскизы детали и модели, выводы. В выводах следует кратко (в двух-трех предложениях) изложить сущность выполненных работ, сравнить размеры модели и отливки и обосновать их отличие.

1.6 Контрольные вопросы

1. Что называют литьем?
2. Чем заготовка отличается от детали?
3. На какие три основные группы делят все способы получения литых изделий (в зависимости от многократности заливки в форму)?
4. Назовите виды литья, которые относятся к способам получения отливок в разовых, многократных и комбинированных формах.
5. Какие приспособления используют для подготовки формы и литья в разовую песчано-глинистую форму?
6. Что называют моделью, в чем состоит ее отличие от готовой детали? Для чего используют стержни, опоки?

7. Свойства и состав формовочных и стержневых смесей.
8. Технологические литейные свойства сплавов (определения).
9. Способы подготовки сплавов к заливке (определения).
10. Что входит в состав литниковой системы?
11. Какую роль играют выпор-канал и прибыли при заливке и затвердевании сплава?
12. Дефекты отливок (определения).
13. Причины появления дефектов.
14. Способы устранения дефектов отливок.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 (4 ЧАСА). ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ. ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Цель работы: ознакомиться с технологией получения деталей при обработке давлением, изучить процессы холодной и горячей объемной штамповки на примере осадки заготовки в штампе.

2.1 Общие сведения о процессах обработки давлением

Обработкой давлением называют технологический процесс получения фасонных деталей или заготовок путем их пластического деформирования в нагретом или холодном состоянии.

Обработка давлением основана на пластичности материалов, т.е. их способности подвергаться пластическому деформированию. При силовом воздействии с ростом упругих деформаций потенциальная энергия твердого тела возрастает до определенного предела, после чего атомы смещаются на расстояния, большие межатомных, и остаются в новых положениях устойчивого равновесия. Сумма таких смещений создает пластическую деформацию.

Сопротивление деформированию и пластичность металла зависят от его химического состава, температуры, скорости деформирования и схемы нагружения. Так, с повышением содержания углерода и легирующих элементов в стали ее пластичность понижается, а сопротивление деформированию растет. Повышение температуры приводит к увеличению пластичности металла и снижению его сопротивления деформированию. Повышение скорости деформирования (изменение степени деформирования в единицу времени) снижает пластичность и увеличивает сопротивление деформированию.

Пластичность следует понимать не как неизменное свойство какого-либо материала, а как его состояние, зависящее от условий обработки. Возможно создание комплекса условий (мелкозернистая структура, соответствующая температура и скорость деформирования), при которых ряд металлов переходит в состояние сверхпластичности.

Холодное пластическое деформирование достигается путем изменения формы и размеров зерен металла и их относительного перемещения в холодном состоянии.

В процессе обработки давлением зерна металла дробятся и вытягиваются в направлении пластического течения металла, создавая полосчатую (волокнистую) микроструктуру. Искажение кристаллической решетки приводит к возникновению напряжений в металле, изменению физико-химических свойств металла, называемому упрочнением (наклепом). При наклепе возрастают прочность и твердость, снижается пластичность.

Волокнистое строение деформированного металла приводит к анизотропии его свойств (прочность и ударная вязкость вдоль его волокон выше, чем поперек). Поэтому течение металла при обработке давлением следует направлять так, чтобы волокна совпадали с направлением наибольших напряжений в детали при ее эксплуатации. Наклеп при холодном деформировании в 1,5–2 раза увеличивает прочность и твердость металла при одновременном снижении его пластичности. Поэтому в ряде случаев изделия специально подвергают упрочняющему деформированию.

Горячая обработка давлением представляет собой процесс деформирования предварительно нагретого или нагрев холоднодеформированного металла.

При этом происходят разупрочняющие процессы, называемые возвратом и рекристаллизацией. Сущность этих явлений сводится к образованию нормальной (не волокнистой) структуры при температуре, достаточной для формирования кристаллической структуры (обычно $0,4 T_{nl}$), т.е. действию, обратному наклепу. В результате исчезает анизотропия свойств металла, увеличивается пластичность, снижается твердость и улучшается обрабатываемость резанием.

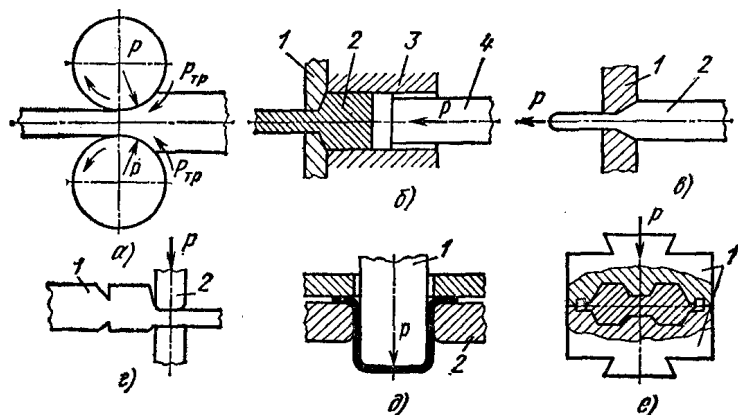
Обработка давлением существенно влияет на свойства материала. Она позволяет улучшить качество литого металла. При горячей деформировании ликвидируются пустоты и микротрещины внутри слитка, уменьшается неоднородность его химического состава.

Учитывая явления, оказывающие влияние на качество металла при пластическом деформировании, и управляя ими, можно создавать такие условия обработки давлением, при которых получаемые детали будут обладать наилучшими служебными качествами.

2.1.1 Виды обработки давлением

Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии. Основная масса выплавленной в сталеплавильных цехах стали поступает в прокатные цехи в виде слитков.

В зависимости от материала заготовки, формы и размеров изделий, типа производства применяют следующие виды обработки давлением: прокатку, волочение, прессование, ковку, штамповку (рисунок 2.1).



а – прокатка; б – прессование; в – волочение; г – ковка; д – листовая штамповка; е – объемная штамповка

Рисунок 2.1 – Схемы основных видов обработки металлов давлением

Прокатка – деформирование холодного или нагретого металла вращающимися валками для изменения формы и размеров поперечного сечения и увеличения длины заготовки (рисунок 2.1а). Технологические процессы прокатки обычно состоят из двух стадий: прокатки слитка в полупродукт; прокатки полупродукта в готовый прокат.

Полупродуктом являются слябы, блюмы, а также более мелкие заготовки, которые прокатываются из блюмов.

Получаемый из полупродукта прокат применяют непосредственно в конструкциях либо в качестве заготовок для последующей ковки, штамповки, сварки. Совокупность различных профилей называют сортаментом. Сортамент прокатываемых профилей делят на четыре группы: листовый прокат, сортовой прокат, трубы и прокат специальных видов.

Листовой прокат получают прокаткой слябов на листовых станах. Листовую сталь делят также в зависимости от ее назначения на электротехническую, автотракторную, судостроительную и т.д. Изделия из холоднокатаной стали имеют более высокую точность и менее шероховатую поверхность, чем из горячекатаной.

Сортовой прокат простой формы (в сечении квадрат, круг, прямоугольник, шестигранник) и сложной фасонной формы (двутавровые балки, швеллеры, рельсы, уголки и т.п.) прокатывают на сортовых станах из блюмов и заготовок, пропуская их через ряд соответствующих калибров.

Трубы получают сваркой заготовок, свернутых из полосы, или прокаткой на автоматических трубопрокатных станах.

Специальные виды проката – колеса, кольца, оси, втулки, шары, сверла, зубчатые колеса, винты с крупной резьбой и т.п. – получают на деталепрокатных станах, при этом достигается большая производительность при экономном расходовании металла.

Прессование – это выдавливание с силой Q заготовки из контейнера через отверстие в матрице, соответствующее сечению выдавливаемого профиля (рисунок 2.1б). Прессованием получают прутки диаметром от 3 до 250 мм, трубы диаметром от 20 до 400 мм и другие профили, сплошные и полые, с постоянным или переменным сечением.

Волочение заключается в протягивании заготовок с силой P через сужающееся отверстие в инструменте, называемом *волококой* (рисунок 2.1в). Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Исходными заготовками служат прокатные или прессованные прутки и трубы. Волочением получают проволоку диаметром от 0,002 до 10 мм и фасонные профили, а также калибруют трубы диаметром от 0,3 до 200 мм и прутки диаметром от 3 до 150 мм. Волочение производят в холодном состоянии, что обеспечивает такую же точность размеров и шероховатость поверхности, как при обработке резанием.

Ковка – это деформирование усилием N нагретой заготовки рабочими поверхностями универсальных инструментов – бойков при свободном течении материала в стороны (рисунок 2.1г). Ковкой получают разнообразные по форме и размерам поковок массой до 300 т, которые служат заготовками для последующей обработки резанием.

Штамповка – обработка заготовок из сортового или листового проката давлением с помощью специального инструмента – штампа. Ее широко применяют для серийного изготовления деталей.

В зависимости от характера деформирования и используемых заготовок холодную штамповку делят на объемную (сортового металла) (рисунок 2.1е) и листовую (листового металла) (рисунок 2.1д).

Многообразие машин для обработки давлением можно свести к нескольким основным типам в зависимости от характера воздействия рабочих частей машины на деформируемую заготовку.

Молоты – машины ударного действия со скоростью деформирования около 9 м/с. *Гидравлические прессы* – машины статического действия со скоростью деформирования менее 0,3 м/с. *Механические прессы* – машины статического действия со скоростью деформирования до 0,5 м/с.

2.2 Объемная штамповка

Холодная штамповка производится в соответствующих штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформированным упрочнением металла. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности заготовок при малых отходах металла, низкой трудоемкости и стоимости изготовления.

Возможность осуществления холодной штамповки и качество получаемых заготовок и деталей во многом определяются качеством исходного материала. В металлургических процессах выплавки металла нужно обеспечить его химический состав и отсутствие загрязнений металла. Технологические режимы прокатки и термообработки заготовок должны способствовать получению равномерной мелкозернистой структуры металла.

В качестве заготовок для объемной штамповки используют, как правило, сортовой прокат.

Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок – удаление окисной пленки, загрязнений и поверхностных дефектов. Заготовки смазывают для снижения силы штамповки, повышения стойкости инструмента, предотвращения трещин и других дефектов. Процессы холодной штамповки выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых деталей.

2.2.1 Влияние температуры на сопротивление деформированию и пластичность стали

Холодная деформация сопровождается интенсивным упрочнением металла, что снижает пластичность и повышает сопротивление деформированию. Поэтому в холодном состоянии целесообразно деформировать пластичные сплавы и стали с содержанием углерода не более 0,3–0,35 %. Холодная деформация высокоуглеродистых и легированных сталей нерациональна ввиду их низкой пластичности и низкой стойкости инструмента из-за увеличенных нагрузок.

Нагрев стали до температур горячей деформации (от 1000 до 1200 °С) позволяет по сравнению с холодной деформацией снизить сопротивление деформированию почти в 10 раз и значительно повысить пластичность. Поэтому при горячей деформации рационально

обрабатывать большинство известных сталей и сплавов, включая труднодеформируемые. После горячей деформации металл имеет полностью рекристаллизованную структуру без каких-либо следов упрочнения.

Полугорячая деформация занимает промежуточное положение между холодной и горячей деформацией. Нижняя граница температурного интервала полугорячей деформации находится на уровне от 300 до 500 °С, при котором наблюдается локальное повышение сопротивления деформированию и снижение пластичности вследствие выпадения из твердого раствора железа с углеродом мельчайших частиц карбидов по плоскостям скольжения. Верхняя граница находится на уровне от 750 до 800 °С, при котором в стали происходят фазовые превращения и начинается интенсивное окалинообразование. Полугорячая деформация позволяет, с одной стороны, использовать преимущества горячей деформации (высокая пластичность, низкое сопротивление деформированию), и с другой – обеспечивает низкую шероховатость поверхности, высокую размерную точность и др., получаемые при холодной деформации. После полугорячей деформации сталь имеет частично рекристаллизованную структуру.

Операции объемной штамповки выполняют на прессах или холодноштамповочных автоматах. Ее основными разновидностями являются высадка, выдавливание и объемная формовка.

Высадка – это осадка части заготовки, т.е. образование местных утолщений требуемой формы, например, головок болтов. Можно высаживать утолщения, концентричные и эксцентричные относительно оси стержня. Заготовкой обычно служит холодноотянувший материал.

Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, а также другие детали, например, зубчатые колеса заодно с валом, детали электронной аппаратуры.

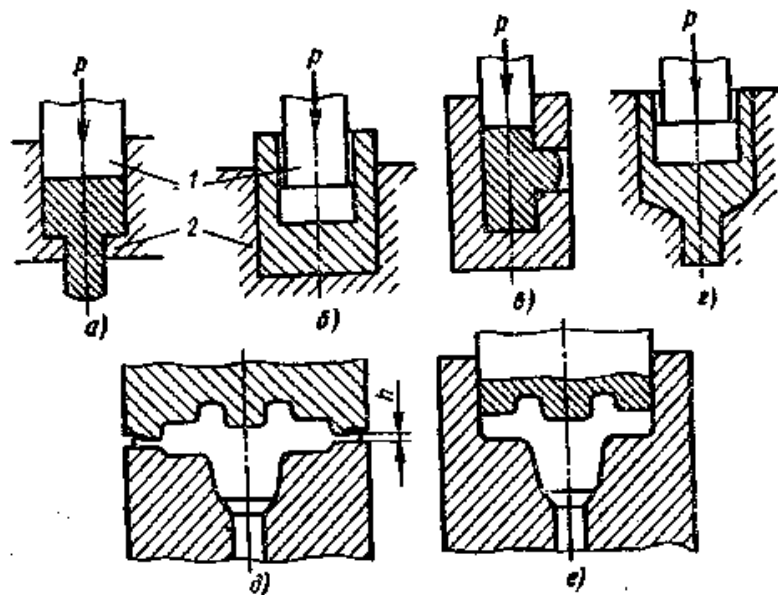
При высадке за один удар отношение длины высаживаемой части заготовки к ее диаметру должно быть не более 2,5–2,8.

Выдавливание – формообразование сплошных или полых изделий благодаря пластическому течению из полости штампа через отверстия соответствующей формы. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание (рисунки 2.2а–2.2г).

Выдавливанием получают изделия преимущественно цилиндрической или близкой к ней формы, например, корпуса автомобильных свечей зажигания, конденсаторных батарей, генераторов и т.п. Точность размеров и параметр шероховатости деталей те же, что после обработки резанием.

Следует учитывать, что размеры изделий могут отличаться от размеров матрицы из-за нагрева и упругих деформаций как матриц, так

и изделий, а на стабильности размеров сказывается износ матриц. Для выдавливания требуются большие удельные силы, что в ряде случаев может приводить к поломкам или низкой стойкости инструмента.



а, б, в, г – выдавливание соответственно прямое, обратное, боковое, комбинированное; д, е – соответственно в открытых и в закрытых штампах

Рисунок 2.2 – Схемы выдавливания и формовки

Объемная формовка – это формообразование деталей путем заполнения металлом полости штампа. Она производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (см. рисунок 2.2д), и в закрытых штампах, где облой не образуется (см. рисунок 2.2е). После формовки в открытом штампе облой обрезают в специальном обрезном штампе. Форма и размеры заготовок должны быть выбраны с учетом наименьшего расхода и наилучшего течения металла. Возможность вытекания металла с образованием облоя позволяет снизить требования к точности размеров заготовок, а также облегчает процесс деформирования, вследствие чего удельные силы при открытой формовке меньше, чем при закрытой.

При формовке в закрытых штампах объем заготовки должен быть равен объему поковки. Это дает экономию металла, уменьшает объем последующей обработки деталей. Прочность полученных деталей выше прочности деталей, полученных в открытых штампах. Однако формовку в закрытых штампах применяют реже, чем в открытых, из-за большой сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования.

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Детали обычно получают за несколько переходов, в процессе которых последовательно изменяется форма заготовки, для снятия наклепа выполняется промежуточный отжиг.

В массовом и крупносерийном производстве целесообразно обработку резанием ряда деталей заменять холодной штамповкой или комбинировать эти процессы. При холодной штамповке коэффициент использования металла достигает 95 % вместо 30–40 %, как при обработке резанием. Трудоемкость изготовления, например, болтов на холодновысадочных автоматах в 200–400 раз меньше, чем трудоемкость их изготовления на токарных станках.

Отмечается более высокое качество штампованных изделий по сравнению с качеством изделий, полученных обработкой резанием. В зависимости от степени деформирования прочность штампованных деталей из среднеуглеродистых сталей увеличивается на 30–120 %, что в ряде случаев позволяет отказаться от термообработки и использовать более дешевые исходные материалы.

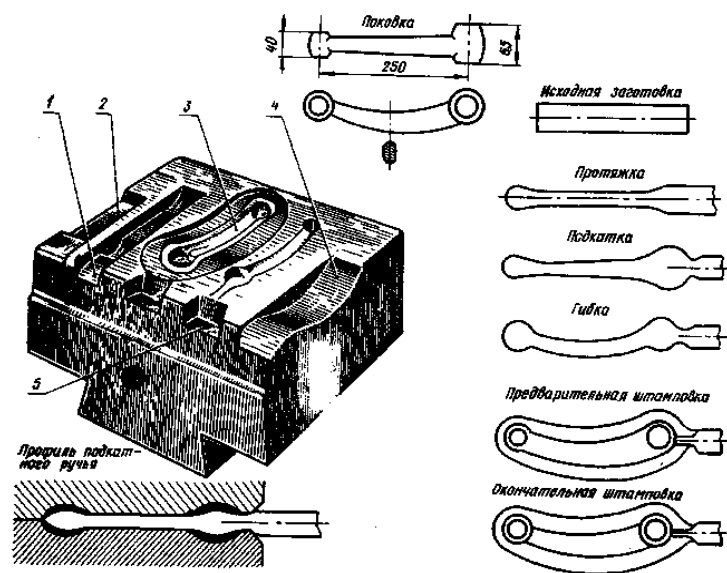
Холодной объемной штамповкой можно получать цельные детали из одной заготовки (например, зубчатые колеса и кулачки заодно с валом) взамен деталей, которые изготавливаются из двух и более частей сваркой, клепкой и т.п. Однако для холодной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производстве.

2.2.2 Объемная штамповка в открытых штампах

Формообразование поковки происходит в полостях штампа, называемых ручьями. Заготовка закладывается в ручей разомкнутого штампа, затем под действием рабочих частей машины-орудия, на которой установлен штамп, последний смыкается. При этом обжимаемый в ручье металл заготовки, деформируясь, заполняет ручей, и заготовка принимает требуемую форму.

Открытые и закрытые штампы могут быть одно- и многоручьевыми. Одноручьевые применяют для получения поволок простой формы; многоручьевые – поволок сложной формы. Сначала заготовка обрабатывается в заготовительных ручьях, а затем в окончательном

(чистовом) ручье. Заготовительные ручки штампов (протяжной, подкатной, пережимной, гибочный), площадка для осадки, отрубной нож используются для постепенного перехода от простой формы заготовки к более сложной (рисунок 2.3).



1 – подкатной ручей; 2 – протяжной ручей; 3 – окончательный ручей;
4 – гибочный ручей; 5 – предварительный ручей

Рисунок 2.3 – Многоручьева штамповка

Протяжной ручей служит для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади поперечного сечения.

Подкатной ручей используется для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке при увеличении одних поперечных сечений за счет уменьшения других. В подкатной ручей заготовка поступает в исходном состоянии или после обработки в протяжном. При подкатке длина заготовки изменяется мало.

Пережимной ручей используется в тех случаях, когда требуется уширение заготовки поперек оси, если при этом нет необходимости в больших изменениях величины поперечных сечений заготовки с перемещением металла вдоль оси, а также для придания заготовке некоторой формы в продольном направлении, облегчающей заполнение

полости последующего ручья. Из пережимного ручья заготовку передают в окончательный, сохраняя ее положение.

Формовочный ручей используют для придания заготовке формы, соответствующей форме готовой поковки в плоскости разъема окончательного ручья.

Гибочный ручей необходим при штамповке поволоков, имеющих изогнутую ось в плоскости разъема. В последующий ручей заготовку передают с поворотом на 90° относительно направления гибки.

В зависимости от конфигурации, размеров и требований в отношении направления волокна в поковке используют те или иные виды ручьев. На рисунке 2.3 показано расположение ручьев в многоручьевом штампе и последовательность изменения заготовки в готовую поковку шатуна.

2.3 Оборудование, приборы, инструменты, материалы

1. Лабораторный гидравлический пресс с манометром.
2. Штамп для осадки образцов.
3. Штангенциркуль.
4. Электрическая печь с автоматическим регулированием температуры.
5. Образцы-прутки из углеродистой стали, свинца, олова (по шесть образцов каждого материала).

2.4 Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят лабораторный гидравлический пресс с ручным приводом, снабженный манометром для измерения давления масла в прессе. Для пластической деформации образцов используется штамп, который состоит из пуансона и матрицы, с плоскими поверхностями бойков. Для нагрева образцов перед обработкой давлением предназначена электрическая печь.

2.5 Порядок выполнения работы

- 2.5.1 Ознакомиться с основами обработки металлов давлением.
- 2.5.2 Выполнить основные схемы способов получения заготовок давлением.
- 2.5.3 Изучить особенности процессов холодной и горячей обработки давлением.
- 2.5.4 Измерить диаметр и длину исходных образцов с помощью штангенциркуля. Данные занести в таблицу 2.1.

2.5.5 Поместить по три образца каждого вида материала в электрическую печь и нагреть их до температуры, указанной преподавателем.

2.5.6 Провести осадку (на половину первоначальной высоты) нагретых образцов и трех образцов при комнатной температуре. Записать показания манометра пресса для каждого образца.

2.5.7 После остывания образцов на воздухе провести измерение высоты образцов.

2.6 Обработка опытных данных и составление отчета

Данные измерений заносят в таблицу 2.1.

Поскольку образец в результате осадки приобрел бочкообразную форму, рассчитывают условное значение площади образца после осадки (из условия постоянства объема образца) по формуле

$$F = \pi D_0^2 H_0 / 4H, \quad (2.1)$$

где D_0 , H_0 – диаметр и высота исходного образца до деформирования, мм;

H – высота образца после деформирования, мм.

Напряжение, возникающее в образце при осадке, определяется по формуле

$$\sigma = P / F, \quad (2.2)$$

в которой усилие деформирования P определяется из формулы

$$P = p \pi d_n^2 / 4, \quad (2.3)$$

где p – давление по манометру пресса, МПа;

d_n – диаметр плунжера пресса, мм.

Относительную деформацию образца при осадке определяют по формуле

$$\varepsilon = (H_0 - H) / H_0. \quad (2.4)$$

Результаты расчетов заносят в таблицу 2.1. По справочнику определяют предел текучести материала и сравнивают его с экспериментальными значениями напряжения при осадке.

Таблица 2.1 – Результаты экспериментов и расчетов

Температура, °С	Материал образца	Размеры образца				Показания манометра p , МПа	Усилие P , Н	Напряжение σ , МПа	Деформация ε
		Исходные		после осадки					
		D_0 , мм	H_0 , мм	H , мм	F , мм ²				

Отчет о выполненной работе должен содержать титульный лист, цель работы, задание, описание основных операций объемной обработки давлением, схему установки, расчеты, отчетную таблицу, выводы. В выводах оценить влияние температуры на величину усилия и напряжения деформирования, сравнить литературные данные по пределу текучести материала с экспериментальными значениями напряжения.

2.7 Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды обработки давлением.
2. Какие основные типы машин применяют для обработки давлением?
3. Как влияет обработка давлением на свойства металла?
4. Раскрыть основы обработки металлов давлением.
5. Какие операции относят к объемной штамповке?
6. Сущность превращений, сопровождающих горячую, полугорячую и холодную обработку давлением. Как температура при обработке давлением влияет на свойства стали?
7. Сущность явлений наклепа и рекристаллизации, в каком из режимов обработки давлением они проявляются?
8. В каких случаях применяют холодную, в каких – горячую обработку давлением?
9. Как определить размеры изделия после обработки давлением, зная размеры исходной заготовки (считая объем постоянным)?

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 (4 ЧАСА). ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ. ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Цель работы: ознакомиться с технологией получения деталей при обработке давлением, изучить операции листовой штамповки на примере гибки, вырубки и пробивки.

3.1 Холодная листовая штамповка

Производится на прессах различных конструкций. Процессы листовой штамповки заключаются в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам из листа, полосы, ленты или трубы придают форму и размеры деталей.

Разделительные операции – резка, вырубка, пробивка – сопровождаются разрушением металла по определенным поверхностям (рисунок 3.1).

Резка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных ножницах (рисунок 3.1а) или в штампах. Обычно ее применяют как заготовительную операцию для разделения листов. Качество поверхности среза обеспечивают правильным выбором зазора между режущими кромками, который составляет от 0,03 до 0,05 толщины листа, и хорошей заточкой режущих кромок ножей.

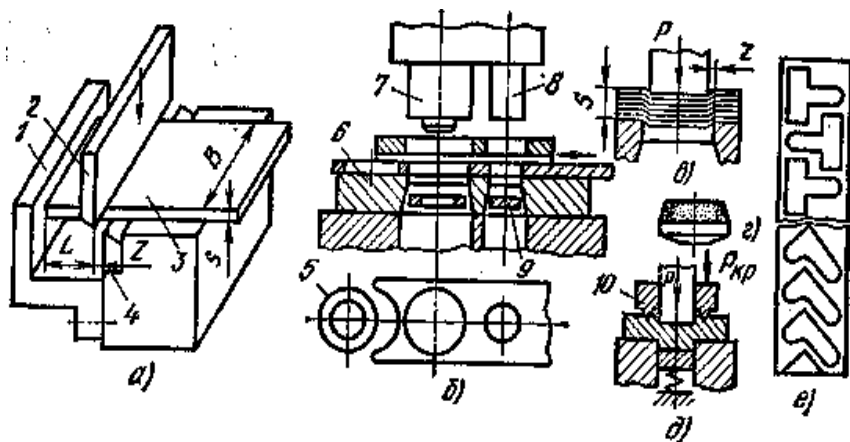
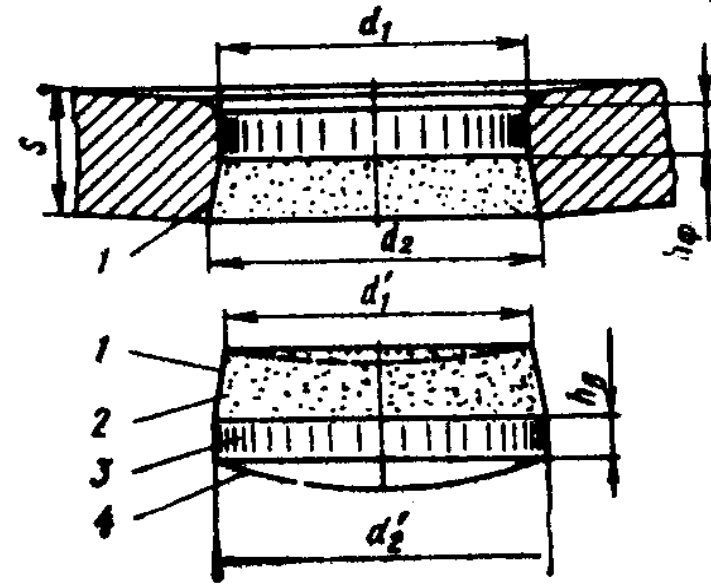


Рисунок 3.1 – Разделительные операции листовой штамповки

Вырубка и пробивка – отделение заготовки по замкнутому контуру в штампе (рисунок 3.1б). Вырубным пуансоном 7 оформляют наружный контур детали (например, шайбы 5) или заготовки для последующей штамповки; пробивным пуансоном 8 – внутренний контур (отверстие). При вырубке отделенная часть, проталкиваемая в матрицу 6, является деталью 5, а при пробивке, наоборот, – отходом 9.

Вырубка и пробивка сопровождаются изгибом заготовки, смятием отдельных ее участков, в результате чего плоскостность заготовки нарушается, а поверхность среза оказывается состоящей из нескольких участков, существенно отличающихся по шероховатости: блестящего пояса с шероховатостью поверхности от 1,25 до 0,32 мкм по параметру R_a и матовой поверхности с шероховатостью от 10 до 160 мкм по параметру R_z (рисунок 3.2).



1 – площадка смятия; 2 – шероховатая поверхность; 3 – блестящий пояс; 4 – утяжина

Рисунок 3.2 – Схема поверхности среза вырубленной детали и отверстия в отходе

Качество поверхности среза – высота блестящего пояса, угол наклона к вертикали матовой шероховатой поверхности – существенно зависит от зазора между пуансоном и матрицей. Зазор, при котором получается наилучшее качество поверхности разделения, называют *оптимальным*. Он зависит от механических свойств штампуемого материала и составляет от 5 до 15 % его толщины.

При зазоре, меньшем оптимального, на поверхности разделения часто возникают два блестящих пояса и скол или даже вырыв материала между ними. Кроме этого, при малых зазорах интенсифицируется изнашивание инструмента.

При зазоре, большем оптимального, увеличивается изгиб заготовки и угол наклона к вертикали матовой шероховатой поверхности.

Усилие при вырубке и пробивке P , H , обычно определяют по следующей формуле:

$$P = 1,25Ls\tau_{cp}, \quad (3.1)$$

где 1,25 – коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок пуансона и матрицы;

L – периметр вырубki (для круглого контура – длина дуги окружности), мм;

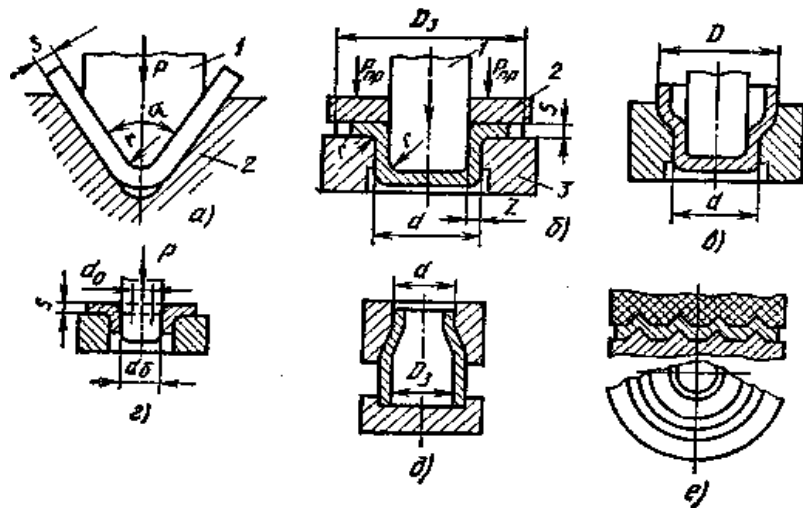
s – толщина материала, мм;

τ_{cp} – предел прочности материала на срез, МПа.

Детали повышенной точности с чистым и перпендикулярным срезом получают чистовой вырубкой или пробивкой, сущность которой заключается в создании дополнительного сжатия заготовки, например прижимом 10 (рисунок 3.1д). При этом в зоне резания происходит объемное сжатие, скалывающиеся трещины не возникают и срез получается чистым по всей толщине заготовки. Чистовой вырубкой изготавливают плоские кулачки, зубчатые колеса, секторы, рейки, пластины постоянных магнитов и т.п.

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называют раскроем. Часть листовой заготовки, оставшаяся после вырубки, называется высечкой. Тип раскроя выбирают исходя из условия получения наименьшего отхода металла в высечку (рисунок 3.1е).

Формоизменяющие операции – гибку, вытяжку, отбортовку, обжим, раздачу, рельефную формовку, ротационную вытяжку – выполняют благодаря пластическим деформациям металла без разрушения заготовок (рисунок 3.3).



а – гибка; б, в – вытяжка; г – отбортовка; д – обжим; е – рельефная формовка

Рисунок 3.3 – Формоизменяющие операции листовой штамповки

Гибка – придание заготовке криволинейной формы или изменение ее кривизны. При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном *I* (рисунок 3.3а): наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пуансону) – сжимаются. Величины сжимающих и растягивающих напряжений уменьшаются от поверхности к середине заготовки и на некотором расстоянии становятся равными и меняют знак. Слой заготовки, не испытывающий действия растягивающих и сжимающих напряжений, называют *нейтральным слоем*. Специальные исследования показали, что положение нейтрального слоя обычно совпадает со средней линией изогнутой заготовки.

При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые растягиваются, что приводит к изменению угла гибки α , т.е. к пружинению детали, которое возрастает, например, с увеличением значений α , r/S . Это нужно учитывать, вводя соответствующую поправку на угол гибки α . Под *углом пружинения* понимают разность между углом изгиба детали после снятия нагрузки и углом гибки (углом пуансона).

При гибке в результате пружинения изменяется и радиус и угол изгиба заготовки. На рисунке 3.4 представлена схема пружинения, на которой сплошной линией показано положение заготовки в конце нагружения (штамповки), а пунктирной линией – ее положение после снятия нагрузки.

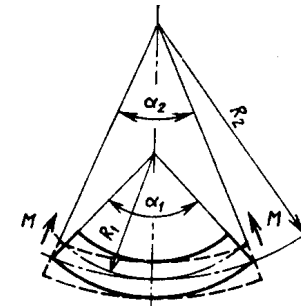


Рисунок 3.4 – Схема пружинения изогнутой заготовки

Изменение радиуса изгиба в результате пружинения можно определить по формуле

$$R_2 = R_1 / [1 - MR_1 / (EI)], \quad (3.2)$$

где M – изгибающий момент, Н·м;

E – модуль упругости материала заготовки, Па;

I – осевой момент инерции сечения заготовки, м⁴.

Угол изгиба после пружинения определяется из условия равенства длины нейтрального слоя заготовки до и после пружинения:

$$R_1\alpha_1 = R_2\alpha_2, \quad (3.3)$$

Откуда

$$\alpha_2 = \alpha_1 R_1 / R_2. \quad (3.4)$$

Угол пружинения, учитывая выражение (3.2), определяется по формуле

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = MR_1\alpha_1 / (EI). \quad (3.5)$$

Для заготовок с прямоугольным поперечным сечением изгибающий момент M можно выразить через временное сопротивление материала и размеры поперечного сечения:

$$M = m(Bs^2 / 6)\sigma_e, \quad (3.6)$$

где B и s – соответственно ширина и толщина заготовки, мм;

σ_e – временное сопротивление материала, Па;

m – относительный изгибающий момент, зависящий от относительного радиуса изгиба и механических свойств материала.

Значения m для сталей при изгибе на некоторые относительные радиусы приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения относительного изгибающего момента для сталей

$r=R/s$	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10	15	20
m	2,04	2,08	2,04	2,0	1,95	1,85	1,72	1,26	1,15	1,1

Учитывая, что для прямоугольного сечения осевой момент инерции $I = Bs^2/12$, и принимая, что нейтральный слой при гибке совпадает со средней линией сечения заготовки ($R_1 = R + 0,5s$), с учетом (3.6), получим окончательную формулу для расчета угла пружинения:

$$\Delta\alpha = 2m(\sigma_e / E)(r + 0,5)\alpha_1, \quad (3.7)$$

где $r = R/s$ – относительный радиус гибки;

R – внутренний радиус изгиба заготовки, равный радиусу пуансона, м;

α_1 – угол гибки.

Усилие при гибке приближенно определяется по формуле

$$P = 0,7 \frac{Bs^2\sigma_e}{R+s}. \quad (3.8)$$

Как показывают расчеты и подтверждает практика, при изгибе на малые относительные радиусы ($r < 5$) изменение радиуса изгиба заготовки в результате пружинения незначительно, и им можно пренебречь. Основным параметром в этом случае – угол пружинения, который необходимо компенсировать для получения изделий с заданной точностью.

Точность гибки повышают дополнительной подчеканкой (сжатием) полок изделия между плоскостями пуансона 1 и матрицы 2 (рисунок 3.3а), а также дополнительным растяжением или сжатием заготовки при гибке для устранения зоны растяжения или сжатия.

Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах. Ленты, или полосы, проходя через несколько пар роликов, превращаются в гнутые тонкостенные профили, легкие, но жесткие и достаточно прочные.

Вытяжка – образование полого изделия из плоской или полый заготовки (рисунок 3.3б). Вырубленную заготовку диаметром D_3 и толщиной S укладывают на плоскость матрицы 3 вручную или автоматическим подающим устройством. Пуансон 1 надавливает на заготовку, и она, смещаясь в отверстие матрицы 3, образует стенки вытянутой детали диаметром d . Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки $k = D_3/d$, который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 2,1.

При значениях разности $D_3 - d$, превышающих значение S в 18–20 раз, возможны потеря устойчивости фланца и образование складок при вытяжке. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице. Высокие детали малого диаметра, при изготовлении которых требуется большое формоизменение заготовки, получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра D полуфабриката и увеличением его высоты (рисунок 3.3б).

При вытяжке зазор между пуансоном и матрицей $Z = (1,1...1,3) S$. При значениях $Z = (0,65...0,85) S$ производится вытяжка с утонением стенки, при которой длина детали увеличивается, в основном, вследствие уменьшения толщины исходной полый заготовки, и прочность детали в 2–3 раза превышает прочность заготовки.

Отбортовка – образование борта (горловины) диаметром d_6 вокруг отверстия с начальным диаметром d_0 в заготовке (рисунок 3.3г). Формоизменение оценивают коэффициентом отбортовки $k_a = d_6/d_0$, который зависит от механических характеристик металла заготовки и ее относительной толщины S/d_0 и не превышает 1,8. Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки или сборки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой ее массе.

Обжим – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки. Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рисунок 3.3д). За один переход можно получить величину $d = (0,7...0,8)D_3$. Для большего формоизменения делают несколько последовательных операций обжима.

Раздача – увеличение периметра поперечного сечения заготовки коническим пуансоном; это операция, противоположная обжиму.

Рельефная формовка – местное деформирование заготовки для образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рисунок 3.3е). Формовкой получают конструкционные выступы, впадины, ребра жесткости и т.п.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: на вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают последовательного действия, в которых операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа (см. рисунок 3.1б), и совмещенного действия, в которых операции выполняются на одной позиции, например, одновременная вырубка и пробивка, вырубка и вытяжка и т.п.

3.2 Оборудование, приборы, инструменты, материалы

1. Лабораторный гидравлический пресс с манометром.
2. Штмп для вырубки со сменными пуансонами.
3. Штмп для гибки.
4. Штангенциркуль, микрометр, радиусомер, угломер.
5. Заготовки для вырубки из листовой углеродистой стали, дурулумина толщиной от 1,0 до 2 мм;
6. Заготовки для гибки из листовой углеродистой стали толщиной 0,5; 1,0; 2 мм.

3.3 Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входит лабораторный гидравлический пресс с ручным приводом, снабженный манометром для измерения давления масла в прессе. Для вырубки и пробивки используется штмп, который состоит из матрицы и сменных пуансонов различного диаметра, обеспечивающих изменение зазора между пуансоном и матрицей. Процесс гибки производят на штампе для гибки, состоящем из матрицы и пуансона с заданным углом и радиусом гибки.

3.4 Порядок выполнения работы

3.4.1 Изучение процесса вырубки

3.4.1.1 Ознакомиться с основами листовой штамповки.

3.4.1.2 Изучить особенности разделительных и формоизменяющих операций листовой штамповки.

3.4.1.3 Измерить толщину заготовок для вырубки и диаметры пуансонов с помощью микрометра с точностью до 0,01 мм. Данные измерений свести в таблицу 3.2. Характеристики материала и диаметр матрицы сообщаются преподавателем.

3.4.1.4 Для каждого из пуансонов определить абсолютные z и относительные z/s зазоры.

3.4.1.5 Провести вырубку деталей (по три заготовки из одного материала каждым пуансоном), определить давление масла в прессе по показаниям манометра.

3.4.1.6 Измерить размеры вырубленной детали (диаметр и высоту) и отверстия в заготовке. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

3.4.1.7 Оценить и описать качество поверхности разделения при различных зазорах между пуансоном и матрицей, установить значение оптимального зазора.

3.4.2 Изучение процесса гибки

3.4.2.1 Измерить толщину заготовок для гибки. Радиус закругления пуансона R и угол гибки α_1 , а также марка материала и его характеристики сообщаются преподавателем.

3.4.2.2 Установить заготовки в штамп для гибки и провести операцию гибки. Зарегистрировать давление масла в прессе по показаниям манометра.

3.4.2.3 С помощью угломера измерить угол заготовки после снятия нагрузки α_2 .

3.4.2.4 Результаты измерений занести в таблицу 3.3.

3.5 Обработка опытных данных и составление отчета

3.5.1 Расчет зазоров и усилия при вырубке

Абсолютный и относительный зазор для каждого пуансона определяют по формулам

$$z = (d_m - d_n)/2; \quad z_{omn} = z/s, \quad (3.9)$$

где d_m и d_n – диаметры матрицы и пуансона соответственно, мм.

Усилие вырубки рассчитывают с помощью формулы (3.10):

$$P = \rho \pi d_{nl}^2 / 4, \quad (3.10)$$

где p – давление по манометру пресса, МПа;

$d_{пл}$ – диаметр плунжера пресса, мм.

С помощью выражения (3.1) находят экспериментальное сопротивление материала срезу $\tau_{ср}$.

Результаты расчетов заносят в таблицу 3.2. По справочнику определяют сопротивление срезу для данного материала и сравнивают его с экспериментальными значениями.

Таблица 3.2 – Результаты экспериментов и расчетов при вырубке

Номер опыта	Диаметр пуансона d_b , мм	Диаметр матрицы d_m , мм	Толщина пластины s , мм	Абсолютный зазор z , мм	Относительный зазор z/s	Размеры детали, мм			Размеры отверстия, мм			Показания манометра p , МПа	Усилие вырубки P , Н	Сопротивление срезу $\tau_{ср}$, МПа		Качество поверхности среза
						d'_1	d'_2	h_e	d_1	d_2	h_{np}			экспериментальное	справочное	
1																
2																
...																

3.5.2 Расчет углов пружинения и усилия при гибке

Экспериментальные значения углов пружинения определяют по формуле

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1. \quad (3.11)$$

Для экспериментальных значений относительных радиусов гибки r по формуле (3.7) определяют расчетные значения углов пружинения.

Экспериментальное значение усилия при гибке определяют по показаниям манометра пресса с помощью выражения (3.10), по формуле (3.8) определяют расчетное значение усилия. Результаты расчетов заносят в таблицу 3.3.

По данным таблицы строят экспериментальную и теоретическую кривые изменения угла пружинения в зависимости от относительного радиуса гибки.

Таблица 3.3 – Результаты экспериментов и расчетов при гибке

Номер опыта	Материал заготовки	Модуль упругости E , МПа	Временное сопротивление σ_s , МПа	Радиус пуансона R , мм	Угол гибки α_1 , град	Угол после пружинения α_2 , град	Размеры заготовки, мм		Относительный радиус гибки r	Показания манометра p , МПа	Угол пружинения $\Delta\alpha$, град.		Усилие гибки P , Н	
							толщина s	ширина B			экспериментальный	расчетный	экспериментальное	расчетное
1														
2														
...														

Отчет о выполненной работе должен содержать титульный лист, цель работы, задание, описание основных операций листовой штамповки, схему установки, расчеты, отчетные таблицы, графики зависимости усилия вырубki от относительного зазора между пуансоном и матрицей, графики зависимости расчетного и экспериментального угла пружинения от относительного радиуса гибки, выводы.

В выводах кратко изложить основные результаты работы, оценить влияние величины зазора при вырубке на качество среза и величину усилия, сравнить экспериментальные и справочные значения сопротивления срезу при вырубке, оценить влияние относительного радиуса гибки на величину угла пружинения, сравнить экспериментальные и расчетные значения углов пружинения и усилия при гибке.

3.6 Контрольные вопросы

1. В чем заключаются процессы листовой штамповки?
2. Что служит заготовками для листовой штамповки?
3. Назовите инструмент и оборудование листовой штамповки.
4. Какие две группы операций листовой штамповки вы знаете?
5. Какие операции относятся к разделительным? Определения.
6. Какие операции относят к формоизменяющим? Определения.
7. Чем отличается вырубка от пробивки?

8. На что влияет зазор между пуансоном и матрицей при вырубке и пробивке?
9. От чего зависит усилие при вырубке и пробивке?
10. Какие процессы сопровождают гибку листовых заготовок?
11. Что такое угол пружинения?
12. Как рассчитать листовую заготовку для гибки, зная размеры детали?
13. От чего зависит величина усилия и угла пружинения при гибке?

4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 (4 ЧАСА). ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цель работы: ознакомиться с технологией производства заготовок сваркой, изучить разновидности используемых способов сварки и источники энергии различных способов сварки, изучить оборудование ручной дуговой сварки и методы контроля сварных швов.

4.1 Основы сварочного производства

Сваркой называют технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов, сплавов и других однородных или разнородных материалов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок. В зависимости от агрегатного состояния металла в месте соединения во время сварки различают сварку *давлением*, осуществляемую с приложением давления в холодном или в подогретом состоянии, и сварку *плавлением*, при которой соединение получают расплавлением соединяемых поверхностей.

4.1.1 Сварка давлением

Сварку в твердом состоянии с приложением давления называют *сваркой давлением*. Сущность получения неразъемного сварного соединения двух металлических заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояние $(2-4) \cdot 10^{-8}$ см, при котором возникают межатомарные силы притяжения. При достижении такого расстояния возможно образование металлических связей. Поверхность любого, даже тщательно отполированного твердого тела всегда волниста, шероховата и имеет множество микроскопических выступов, высота которых, однако, на несколько порядков выше, чем расстояния, необходимые для возникновения сил межатомарного взаимодействия.

Наружную поверхность металла характеризует наличие нескомпенсированных металлических связей и большое число дефектов кристаллического строения, что способствует ее активному взаимодействию с внешней средой и приводит к быстрому окислению и осаждению на поверхности жидкости и газов. Практически после любой обработки поверхность мгновенно покрывается тонкой пленкой оксидов. Толщина этого слоя составляет от 100 до 200 молекул, и удалить его полностью не удастся, так как этому препятствует возникшая между слоём и поверхностью электрическая связь.

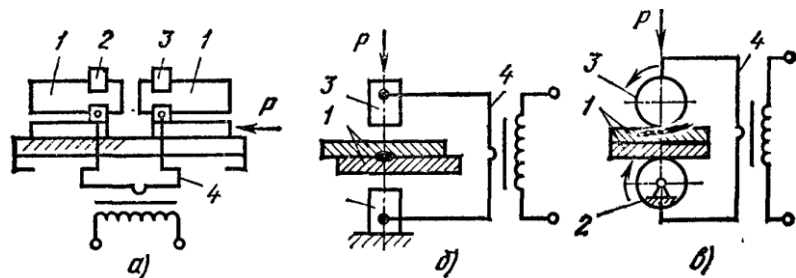
Таким образом, главными причинами, препятствующими получению прочного неразъемного соединения методом диффузии, являются *шероховатость поверхности* и наличие *оксидных пленок* на поверхности соединяемых заготовок.

Получить прочное неразъемное соединение двух поверхностей в твердом состоянии можно, если удалить загрязняющие пленки и осуществить затем плотный контакт по всей соединяемой плоскости. Практически при сварке в твердом состоянии этого достигают путем приложения к свариваемым заготовкам давления, которое должно быть достаточным для снятия всех неровностей в соединяемом сечении. При возрастании давления увеличивается площадь контактирования поверхностей, сближающихся до расстояния, при котором начинают действовать межатомарные силы притяжения. Вследствие большой плотности контакта соединяемые поверхности не сообщаются с атмосферой, поэтому новых оксидных и жировых пленок не образуется.

Таким образом, необходимыми условиями получения качественного соединения в твердом состоянии является хорошее качество подготовки соединяемых поверхностей и наличие сдвиговых деформаций в зоне соединения.

Описанный способ может быть применен для заготовок из металлов и сплавов, имеющих относительно небольшое сопротивление пластическому деформированию и достаточно пластичных в холодном состоянии (Pb, Sn, Zn, Al, Cu). Для заготовок из малопластичных и обладающих высоким пределом текучести металлов приложение давления в холодном состоянии не позволяет получить необходимую степень течения металла. Для высокопрочных материалов можно увеличить пластические свойства и снизить сопротивление деформированию, предварительно подогревая соединяемые поверхности и прилегающие к ним зоны. Существует множество разновидностей сварки давлением, которые различаются источником нагревания либо видом энергии, применяемым для активации процесса.

При *контактной электрической сварке* соединяемые поверхности подогревают проходящим электрическим током и затем их сдавливают (рисунок 4.1). Сварку производят на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления. Большой коэффициент трансформации обеспечивает вторичное рабочее напряжение от 1,5 до 12 В и силы проходящих токов от 10 000 до 500 000 А.



а – стыковая; б – точечная; в – шовная

Рисунок 4.1 – Схема контактной сварки

Сила и время протекания тока являются основными регулируемыми характеристиками, определяющими интенсивность нагрева и охлаждения. Механизмы зажатия заготовок и давления механического, пневматического или гидравлического типа служат для закрепления свариваемых заготовок и их сдавливания после нагрева.

По виду получаемого соединения контактную сварку подразделяют на стыковую, точечную и шовную.

Стыковую контактную сварку (см. рисунок 4.1а) применяют для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п. Свариваемые заготовки 1 плотно зажимают в неподвижном 2 и подвижном 3 токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4.

Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности приводят в соприкосновение и сжимают. Затем включают ток. Общее количество теплоты, выделяемое при прохождении тока по вторичной цепи, определяется законом Джоуля–Ленца: $Q = I^2 R t$. При достижении необходимой температуры сварочный ток отключают и производят сдавливание заготовок.

Точечная сварка (см. рисунок 4.1б), применяемая в основном для изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяет получать прочные соединения в отдельных точках. Свариваемые заготов-

ки 1, собранные внахлест, помещают между неподвижным 2 и подвижным 3 электродами, подсоединенными к вторичной обмотке трансформатора 4. После предварительного сдавливания включается сварочный ток, который пропускается в течение времени, необходимого для разогревания места контакта до нужной температуры. Затем ток отключается и производится сдавливание.

Шовную сварку (см. рисунок 4.1в) применяют при изготовлении листовых конструкций для получения прочного и герметичного соединения. Свариваемые заготовки 1 помещают между двумя роликами-электродами, один из электродов 2 может иметь вращательное движение, а другой 3 – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора 4. Заготовки сдавливаются, а затем одновременно с включением сварочного тока роликам задается вращательное движение. Скорость сварки зависит от силы тока, толщины листов и может составлять несколько метров в 1 мин.

Конденсаторная сварка (рисунок 4.2) является одной из разновидностей контактной электрической сварки. Энергия, необходимая для подогревания места сварки, накапливается в конденсаторах, а затем в процессе разряда преобразуется в теплоту. Кроме того, возможность весьма точной дозировки энергии подбором емкости конденсаторов позволяет применить этот способ для соединения заготовок очень малых толщин (несколько десятков микрон). Широко применяют в радио- и электротехнической промышленности.

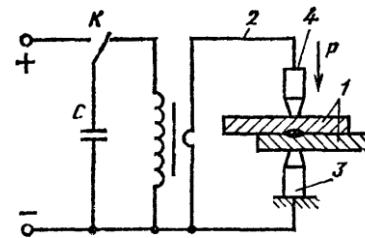


Рисунок 4.2 — Схема конденсаторной сварки

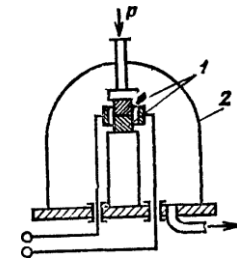


Рисунок 4.3 — Схема диффузионной сварки

Диффузионной сваркой (рисунок 4.3) соединяют заготовки в твердом состоянии в вакууме приложении сдавливающих сил при повышенной температуре. Тщательно зачищенные свариваемые заготовки 1 собирают, помещают в вакуумную камеру 2 (давление

от $133 \cdot 10^{-3}$ до 10^{-6} Па), сдавливают и затем нагревают специальным источником тепла до температуры рекристаллизации, равной 0,4 температуры плавления. Низкое давление способствует удалению (испарению) поверхностных пленок, а высокая температура нагрева и давление приводят к уменьшению неровностей поверхностей и сближению их до нужного расстояния. Последующая выдержка вызывает диффузию атомов материалов свариваемых заготовок и образование промежуточных слоев, увеличивающих прочность соединения. Достоинством этого способа является возможность соединения заготовок из разнообразных материалов.

Сварка трением образует соединение в результате пластического деформирования заготовок, предварительно нагретых в месте контакта теплотой, выделившейся в результате их трения (рисунок 4.4).

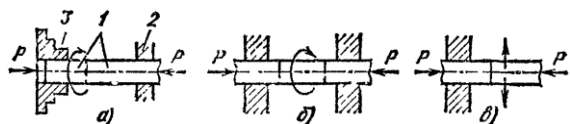


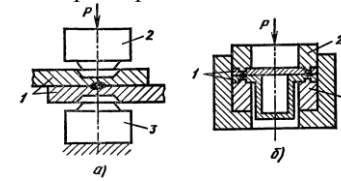
Рисунок 4.4 – Схемы сварки трением

Свариваемые заготовки 1 (рисунок 4.4а) устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых 2 неподвижен, а второй 3 может совершать вращательное и поступательное (вдоль оси заготовок) движения. Заготовки сжимают с силой P и включают механизм вращения. При достижении температуры поверхностей от 980 до 1300 °С вращение заготовок прекращают и их дополнительно сдавливают.

Основные достоинства сварки трением: высокая производительность, малая энергоемкость процесса, возможность сварки заготовок из материалов различных сочетаний, стабильность качества и отсутствие таких вредных факторов, как ультрафиолетовое излучение, газовые выделения, брызги.

Холодная сварка – один из способов сварки давлением без подогревания. Для ее осуществления с соединяемых поверхностей вращающейся металлической щеткой, шабрением и последующим обезжириванием тщательно удаляют оксиды и загрязнения. Детали 1 (рисунок 4.5), подлежащие сварке, помещают между неподвижным 3 и подвижным 2 пуансонами. Оба пуансона имеют выступы, которые при сварке должны быть полностью вдавлены в поверхность металла. Это необходимо для создания интенсивного пластического течения металла. Холодную сварку применяют для соединения заготовок из

цветных металлов и сплавов, для заварки оболочек, в электромонтажном производстве, для сварки проводов.



а – точечная; б – по контуру

Рисунок 4.5 – Схемы холодной сварки

4.1.2 Сварка плавлением

При *сварке плавлением* силы межатомарного взаимодействия возникают между материалами двух свариваемых заготовок, находящихся в месте соединения в жидком состоянии. Для получения неразъемного соединения кромки свариваемых заготовок расплавляют с помощью мощного источника теплоты; расплавленный металл образует общую *сварочную ванну*. Расплавленный металл соединяемых заготовок смешивается, и образуются межмолекулярные связи. В процессе расплавления устраняются все неровности поверхностей, органические пленки, адсорбированные газы, оксиды и другие загрязнения. По мере удаления источника нагревания жидкий металл остывает, начинается кристаллизация и образование сварного шва. Сварку можно осуществлять, расплавляя только кромку свариваемых заготовок либо дополнительно к этому расплавляя присадочный металл (как правило, металл электрода).

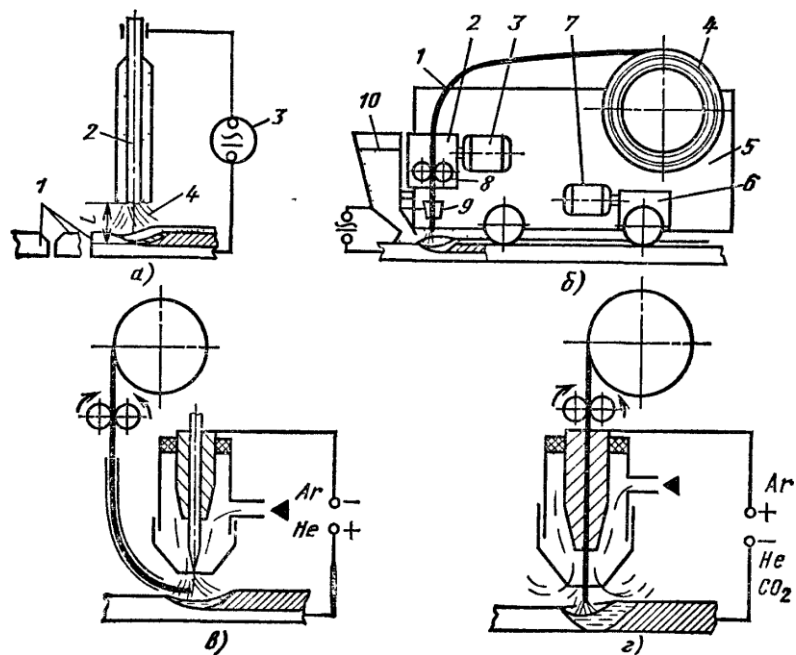
В зависимости от типа выбранного источника теплоты сварку плавлением можно подразделять на электродуговую плавлением, электронно-лучевую плавлением, ацетилено-кислородную (газовую) и т.п.

Металл сварного шва, полученный при сварке плавлением, по своей структуре и химическому составу существенно отличается от металла свариваемых заготовок. Полученный в процессе сварки плавлением сварной шов имеет литую структуру.

Механические, антикоррозионные, магнитные и другие свойства сварного соединения могут существенно отличаться от свойств основного металла. При сварке стремятся получить равнопрочное соединение (у которого показатели те же, что и у основного металла). К сварке плавлением относится и наплавка металлов, широко применяемая как при изготовлении новых конструкций, так и при ремонтных работах. Наплавкой называют нанесение слоя металла на нагретую до расплавления поверхность заготовки. Наплавка необходима для создания на

поверхности слоя металла, обладающего особыми свойствами, либо для восстановления размеров изношенных деталей.

Электрическая дуговая сварка является одним из наиболее распространенных способов сварки плавлением (рисунок 4.6). К свариваемым заготовкам 1 (см. рисунок 4.6а) и к электроду 2 подводится постоянный или переменный ток от специального источника тока 3, и возбуждается электрическая сварочная дуга 4 – стабильный электрический разряд в ионизированных парах или газах. Электропроводимость дугового промежутка обусловлена появлением электронов и ионов в результате термической ионизации. Температура, необходимая для ионизации в момент возбуждения дуги, получается вследствие выделения теплоты при коротком замыкании электрода на деталь.



а – ручная; б – автоматическая под флюсом; в – неплавящимся электродом; г – плавящимся электродом в защитных газах

Рисунок 4.6 – Схемы дуговых способов сварки плавлением

Максимальная температура дуги наблюдается в осевой ее части и составляет 6000 °С. На поверхности электродов температура обычно близка к температуре кипения материала электродов.

Сварочные источники тока должны обеспечивать устойчивую дугу при относительно невысоком напряжении и простое регулирование силы тока, постоянство силы тока при изменении длины дуги и должны безаварийно выдерживать режим короткого замыкания. Дуговую сварку можно выполнить плавящимся и неплавящимся электродами. В качестве плавящегося электрода рекомендуется применять металлический стержень состава, идентичного составу металла свариваемых заготовок. В качестве неплавящегося электрода применяют, как правило, вольфрамовый стержень.

Дуговая сварка плавлением имеет разновидности в зависимости от степени автоматизации и рода защиты расплавленного металла от воздействия окружающей среды.

При *ручной дуговой сварке* (см. рисунок 4.6а) сварщик возбуждает дугу, поддерживает ее горение, опускает электрод по мере его плавления и перемещает электрод вдоль свариваемых заготовок. В качестве электродов в этом случае применяют прутки из сварочной проволоки, покрытые специальным составом. В этот состав вводят элементы, способствующие устойчивости дуги и осуществляющие защиту расплавленного металла от вредного воздействия окружающей среды, раскисление и легирование металла шва. В зависимости от назначения различают следующие типы электродов: для сварки конструкционных углеродистых, низколегированных и легированных сталей, цветных металлов и сплавов и для наплавочных работ.

Электроды маркируют буквой Э и последующей цифрой, указывающей временное сопротивление металла шва, выполненного данным электродом, например, Э-42, Э-55, ... Э-125. Чем больше толщина свариваемого металла, тем больше должен быть диаметр электрода.

Основные недостатки этого способа – малая производительность и необходимость высокой квалификации оператора.

Существует полуавтоматическая и автоматическая сварка штучными электродами. К *полуавтоматической* относится сварка «опертым электродом», при которой покрытие электрода, образующее козырек, опирается на поверхность свариваемой детали и этим самым «автоматически» поддерживается заданная длина дуги; сварка «лежащим» электродом, который укладывают в разделку между свариваемыми заготовками и с одного его конца возбуждают электрическую дугу. Длина дуги в этом случае определяется толщиной покрытия. Автоматически сварка штучными покрытыми электродами производится автоматами, в которые заряжается кассета с электродами, сменяемыми по мере их расплавления.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом (см. рисунок 4.6б) обеспечивает производительность, в 10–15 раз большую производительности ручной дуговой сварки и, кроме того, она не требует оператора столь высокой квалификации. При автоматической сварке зажигание дуги, подача электрода в дугу и перемещение его вдоль направления сварки осуществляются механически либо автоматами, выдерживающими заданный параметр режима. Электрод 1, представляющий собой сварочную проволоку большой длины, заправляется в кассету 4 и подается в дугу с необходимой скоростью с помощью подающих роликов 8, приводимых во вращение двигателем 3 через редуктор 2. Эта сборочная единица, называемая сварочной головкой, помещается на самоходной тележке-каретке 5, приводимой в движение двигателем каретки 7 через редуктор 6. Ток на электрод от источника подается через скользящий контакт 9. Скорость сварки зависит от скорости перемещения каретки. Защита расплавленного металла от воздействия воздуха осуществляется порошкообразным флюсом,сыпаемым из бункера 10 непосредственно перед дугой.

Автоматическую сварку следует производить с помощью проволоки, приближающейся по своему химическому составу к свариваемому металлу. Стандартами предусмотрен выпуск проволоки 77 марок для сварки сталей, проволоки 30 марок для наплавочных работ и проволоки 14 марок для сварки алюминия и его сплавов.

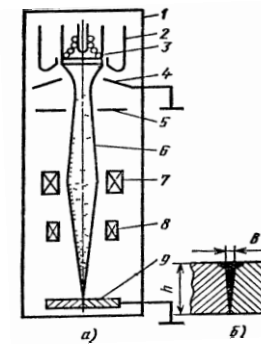
Разновидностью дуговой сварки под флюсом является *полуавтоматическая сварка*. При таком способе подача электрода осуществляется механически, а перемещение его по направлению сварки – вручную. Способ рекомендуют для получения коротких и криволинейных швов в нижнем положении.

При *сварке в защитных газах* в зону сварочной дуги подается инертный либо нейтральный газ, достаточно надежно защищающий расплавленный и остывающий металл сварного шва от контакта с окружающей атмосферой. В качестве защитных газов наибольшее применение получили инертные газы – аргон, гелий и более дешевый углекислый газ. Иногда применяют смеси двух газов и более. При сварке с защитой инертными газами различают сварку неплавящимися и плавящимися электродами.

Разновидностью сварки в среде инертных газов является *сварка в контролируемой атмосфере*. Детали помещают в специальные камеры, из которых откачивают воздух, а затем заполняют аргоном. Сварку выполняют вручную или с помощью автомата с дистанционным управлением. Для сварки крупногабаритных заготовок применяют камеры объемом до 450 м³, внутри которых работает сварщик, снабженный специальной системой обеспечения дыхания. Сварка в среде инертных газов является относительно дорогим процессом, и ее применяют

в основном для сварки заготовок из цветных металлов и сплавов, из аустенитных и высокопрочных сталей, а также из тугоплавких и активных металлов.

Лучевая сварка плавлением имеет разновидность – электронно-лучевую сварку, сущность которой состоит в использовании для нагрева и расплавления свариваемых кромок кинетической энергии электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. В месте соударения электронов со свариваемыми заготовками почти 99 % кинетической энергии переходит в тепловую, что сопровождается повышением температуры до 5000–6000 °С. Кромки заготовок расплавляются, и после кристаллизации образуется сварной шов. Для сварки заготовок таким способом используют электронную пушку (рисунок 4.7а). В вакуумной камере 1 в формирующем электроде 2 расположен вольфрамовый катод 3, обладающий эмиссионной способностью при подогреве до 2000–2500 °С. Под катодом находится анод 4 с центральным отверстием для пропускания луча к заготовке. Электроны, сформированные в пучок электродом 2, под действием высокой разности потенциалов между катодом и анодом перемещаются с ускорением по направлению к заготовке. Диафрагма 5 отсекает краевые зоны луча б, а магнитные линзы 7 фокусируют луч на поверхности заготовки 9. Скорость сварки определяется скоростью перемещения заготовки под неподвижным пятном луча или отклонением самого луча с помощью отклоняющей системы 8. Основными параметрами режима являются: ускоряющее напряжение (от 25 до 120 кВ), сила тока (от 35 до 1000 мА), диаметр сфокусированного луча (от 0,02 до 1,2 мм), скорость сварки (до 100 м/ч).



а – схема электронной пушки для сварки; б – форма шва

Рисунок 4.7 – Сварка электронным лучом

Достоинством электронно-лучевой сварки является высокая концентрация энергии на поверхности детали, что позволяет проплавлять заготовки толщиной до 200 мм, идеальная защита от влияния внешней среды – вакуум, а также малое количество теплоты, вводимой в заготовку. Электронно-лучевую сварку можно применять для заготовок из всех материалов, чаще всего из разнородных – например, из металла с керамикой, и для соединений заготовок из тугоплавких и химически активных металлов Nb, Mo, W, Ti, Zr.

Создание достаточно мощных квантовых генераторов дало возможность применять остро сфокусированный световой пучок для лазерной сварки. Плотность тепловой энергии, создаваемой лазерами при фокусировке луча в пятно диаметром до нескольких сотых долей миллиметра, позволяет нагревать практически все металлы до расплавления и даже до кипения. Лазеры большой мощности позволяют сваривать заготовки из металла толщиной до нескольких миллиметров. Большим достоинством лазерной сварки является возможность ведения процесса в любой атмосфере, однако она может неблагоприятно влиять на качество шва. Для лучевой сварки характерно «ножевое проплавление», т.е. форма шва, при которой отношение глубины шва к ширине нередко достигает 20 и более (рисунок 4.7б).

4.1.3 Источники тока ручной дуговой сварки

При сварке переменным током источником питания сварочной дуги являются сварочные трансформаторы, при сварке на постоянном токе – сварочные генераторы. Основными техническими показателями источников питания сварочной дуги являются: внешняя характеристика, напряжение холостого хода, относительная продолжительность работы, а также регулируемость и динамичность.

Внешняя характеристика – это зависимость напряжения на выходных зажимах источника тока от величины тока нагрузки. В отличие от обычных источников тока, предназначенных для освещения и силовых нагрузок, имеющих жесткую внешнюю характеристику (рисунок 4.8а), источники питания сварочной дуги должны иметь падающую внешнюю характеристику (рисунок 4.8б).

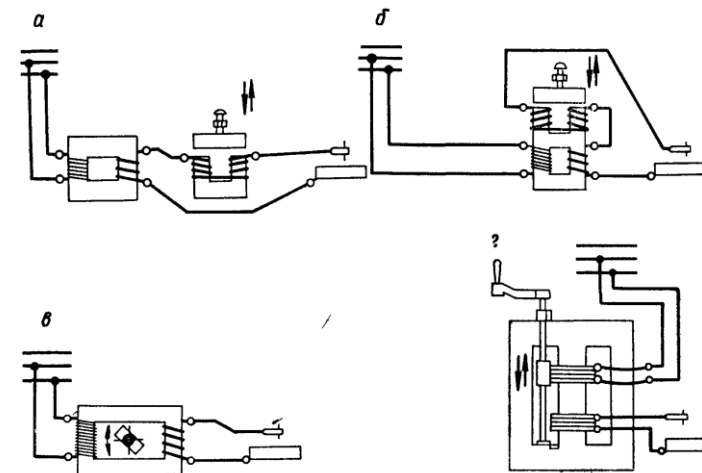


а – нормальный; б – сварочный

Рисунок 4.8 – Внешняя характеристика источников тока

При дуговой сварке металлическим электродом вследствие переноса капель электродного металла в дуговом промежутке (от 3 до 5 мм) происходят частые короткие замыкания, число которых может достигать 30–35 в секунду. Сопротивление внешней цепи при коротком замыкании почти равно нулю, поэтому питание сварочной дуги источником с жесткой внешней характеристикой приводит к непрерывному разрастанию дуги, к неограниченному увеличению тока до тех пор, пока не сработают предохранительные устройства или разрушатся проводники цепи. Устойчивое горение дуги возможно лишь при падающей внешней характеристике источника тока, при которой напряжение на зажимах будет снижаться с увеличением нагрузки и возрастать с ее уменьшением.

Падающая внешняя характеристика в сварочном трансформаторе создается путем введения индуктивного сопротивления во вторичную цепь. Индуктивность вторичной цепи трансформатора можно увеличить путем включения последовательно с дугой индуктивного сопротивления в виде дроссельной катушки, отделенной от трансформатора или объединенной с ним. С отдельной дроссельной катушкой изготавливаются трансформаторы типа СТЭ (рисунок 4.9а). С дроссельной катушкой во вторичной цепи, конструктивно объединенной в одно целое с трансформатором, выполнены трансформаторы типа СТН (рисунок 4.9б).

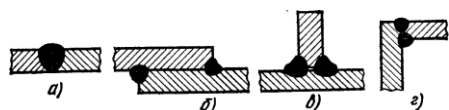


а – с отдельной дроссельной обмоткой; б – в однокорпусном исполнении; в – с подвижными магнитными шунтами; г – с подвижной первичной обмоткой

Рисунок 4.9 – Схемы сварочных трансформаторов

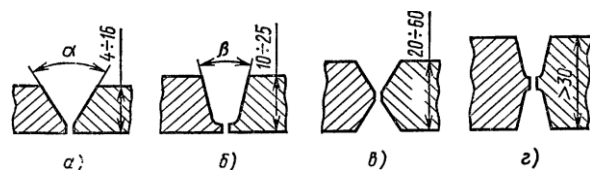
Имеются трансформаторы, у которых падающая характеристика создается с помощью повышенного магнитного рассеяния. Создание потока рассеяния и его изменение и, следовательно, создание и изменение индуктивного сопротивления в одних трансформаторах осуществляется с помощью магнитных шунтов (трансформаторы типа СТШ, рисунок 4.9в), в других – путем изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками трансформатора (трансформаторы типа ТС и ТСК, рисунок 4.9г).

Основными типами сварных соединений являются стыковые, нахлесточные, тавровые и угловые (рисунок 4.10). При сварке заготовок больших толщин необходимо обрабатывать соединяемые кромки для получения провара по всему сечению (рисунок 4.11).



а – стыковое; б – нахлесточное; в – тавровое; г – угловое

Рисунок 4.10 – Основные типы сварных соединений



а – V-образная; б – U-образная; в – X-образная;
г – двусторонняя X-образная

Рисунок 4.11 – Формы подготовки кромок под сварку

4.1.4 Свариваемость металлов и сплавов и дефекты сварных соединений

Свариваемостью называют способность металла создавать прочное неразъемное соединение методом диффузии или сварки. Соединение считают высококачественным или равнопрочным, если его механические свойства близки к механическим свойствам основного металла, и в нем отсутствуют поры, шлаковые включения, раковины. Кроме того, в некоторых случаях соединение должно иметь химические и физические свойства такие же, как свойства основного металла.

Рассмотренные выше способы сварки в большинстве своем связаны с нагреванием заготовок. В процессе нагревания, который в зависимости от плотности мощности источника осуществляется со скоростью от 200–300 до 5000–10000 °C/с (лазерное воздействие), происходит нагревание, расплавление и даже испарение металла в зоне действия источника, а также подогрев металла, прилегающего к месту соединения в зоне термического влияния. Одновременно протекают фазовые изменения, диффузионные процессы, приводящие к перераспределению примесей, перемещение границ зерен, рост зерен. Формируется сварочная ванна.

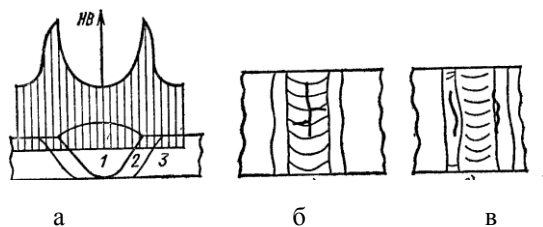
После окончания непосредственного действия источника энергии (максимум на термическом цикле) начинается затвердевание сварного шва и затем его остывание. Характер структуры, образующейся в шве и зоне термического влияния, зависит от скорости изменения температуры. Скорость остывания определяет время нахождения металла при тех или иных температурах, а значит и законченность высокотемпературных процессов, оказывающих определяющее влияние на возможность получения бездефектного соединения и его эксплуатационные свойства.

Свариваемость – это сложная характеристика, зависящая не только от свойств свариваемого металла, но и от технологического процесса, режима сварки, свойств применяемых сварочных материалов. Чаще всего признак плохой свариваемости – наличие в сварном соединении отдельных дефектов. Дефектом является существенная разница свойств основного металла 3 (рисунок 4.12а), сварного шва 1 и зоны термического влияния 2. При сварке заготовок из углеродистых и легированных сталей твердость зоны термического влияния возрастает, в то время как пластические свойства значительно снижаются, что повышает хрупкость.

Поскольку в результате сварки плавлением образуется сварной шов, имеющий литую структуру, он обладает дефектами, присущими отливке. К основным дефектам сварного шва относятся неоднородность твердости, горячие и холодные трещины (рисунок 4.12), ликвация, пористость, усадочные раковины, шлаковые включения, непровар, коробление, перекосяк.

Горячие и холодные трещины в сварных соединениях, как и в отливках, образуются в результате усадочных явлений.

Горячие трещины могут образовываться в том случае, если усадка шва не соответствует его пластичности, т.е. наступает разрушение. Горячие трещины, как правило, имеют межкристаллитный характер и располагаются по границам зерен в шве (рисунок 4.12б). Чаще всего горячие трещины образуются при сварке заготовок из высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов.



а – неоднородность твердости; б – горячие трещины;
в – холодные трещины

Рисунок 4.12 – Дефекты сварных соединений

Холодные трещины чаще всего возникают после полного затвердевания сварного шва в период завершения охлаждения или появляются в металле, уже охлажденном до окружающей температуры. Холодные трещины появляются как следствие возникновения собственных напряжений в результате усадки, а также структурных превращений в зоне термического влияния. Существенное влияние на вероятность возникновения холодных трещин оказывают газы, растворившиеся в нагретом металле, в частности, водород; скапливаясь во время остывания в дефектах кристаллической структуры, они способствуют усилению напряженного состояния. Наиболее часто холодные трещины располагаются в основном металле в непосредственной близости к сварному шву (рисунок 4.12в). Этот дефект характерен для заготовок из высокоуглеродистых и легированных сталей, образующих закалочные структуры в околошовной зоне.

4.1.5 Методы контроля сварных швов

Качество сварных соединений и конструкций проверяют разрушающими и неразрушающими методами.

К *разрушающим методам* контроля относят: механические испытания (на растяжение, изгиб, ударную вязкость и твердость) – для определения механических характеристик; металлографические исследования – для изучения макро- и микроструктуры сварного шва, глубины и формы сварочной ванны, определения размеров зерен, дендритов, пор, трещин; химический анализ – для определения химического состава сварного шва.

К *неразрушающим методам* контроля относят визуальный осмотр, гидравлические и пневматические испытания, метод керосиновых проб; рентгеновское и ультразвуковое просвечивание.

Визуальному осмотру подвергают 100 % сварных швов независимо от метода сварки и назначения изделия. При визуальном осмотре обнаруживают наружные дефекты: нарушение геометрии (коробление, поводки), раковины, трещины, непровар.

Гидравлическим и пневматическим испытаниям подвергают сосуды и трубопроводы, работающие под избыточным давлением, к сварным швам которых предъявляются требования по герметичности. *Гидравлические испытания* проводят под давлением жидкости (чаще воды), превышающем рабочее в 1,5–2 раза. При *пневматических испытаниях* внутрь сварного соединения подается сжатый воздух, который создает избыточное давление. Сварной шов снаружи смачивают мыльным раствором или соединение опускают в воду. Неплотности определяют по образующимся пузырькам воздуха.

Метод керосиновых проб применяют для обнаружения неплотностей в соединениях, работающих без избыточного давления. При этом шов с одной стороны покрывают мелом (известью), с другой – керосином. Если в соединении имеются поры, то на окрашенной мелом поверхности проступают жирные пятна керосина. Благодаря высокой текучести керосина с помощью такого метода можно обнаружить неплотности размером до $1,8 \cdot 10^{-3}$ мм.

Ультразвуковой метод предназначен для обнаружения скрытых дефектов сварных швов – трещин и непроваров, газовых или шлаковых раковин и т.п., без определения характера дефекта. Метод основан на отражении ультразвуковых колебаний дефектом и восприятии отраженного луча осциллографом, который показывает место расположения и размеры дефекта.

Рентгеновское просвечивание применяется для обнаружения скрытых дефектов сварных швов ответственных изделий. Метод основан на различном поглощении проникающего излучения участками шва с дефектами и без них. Получают снимок с отчетливым изображением вида и размеров дефекта.

4.2 Оборудование, приборы, инструменты, материалы

1. сварочный трансформатор, провода, держак, электроды, щиток.
2. заготовки для сварки.
3. герметичный сварной сосуд.
4. компрессор для подачи сжатого воздуха, соединительные шланги, хомуты.
5. мел, керосин, кисть.

4.3 Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят компрессор с ресивером для подачи сжатого воздуха в сварной сосуд, соединительные гибкие трубопроводы (шланги) и хомуты. Для регистрации рабочего давления

в ресивере и внутри сосуда предназначены манометры. Для регулирования подачи сжатого воздуха и величины давления внутри сосуда установка снабжена вентилями.

4.4 Порядок выполнения работы и составление отчета

4.4.1 Ознакомиться с основами сварочного производства.

4.4.2 Изучить основные способы сварки.

4.4.3 Ознакомиться со сварочным оборудованием для ручной дуговой сварки, выполнить схему сварочного поста и эскиз электрода.

4.4.4 Учебному мастеру при студентах выполнить сварку соединяемых заготовок встык, внахлест, угловое и тавровое соединение. Студентам зарисовать эскизы полученных соединений.

4.4.5 Выполнить внешний осмотр качества сварного шва, описать характер обнаруженных дефектов.

4.4.6 Выполнить контроль сварного шва методом керосиновой пробы. Для этого одну сторону шва закрасить мелом, другую, с помощью малярной кисти, – керосином. Описать характер наблюдаемых дефектов (при наличии).

4.4.7 Выполнить контроль сварного шва герметичного сосуда с помощью пневматических испытаний. Для этого подсоединить сосуд к компрессору с помощью гибких шлангов, убедиться в том, что все болтовые соединения и хомуты надежно затянуты, и открыть вентиль на выходе с ресивера. Снаружи сварные швы сосуда смазать мыльным раствором. Наличие дефектов и негерметичности сосуда фиксировать по пузырькам воздуха и уменьшению давления согласно показаниям манометра.

Отчет о выполненной работе должен содержать титульный лист, цель работы, задание, описание основных способов сварки, схему сварочного поста для ручной дуговой сварки, эскизы электрода и соединений заготовок встык, внахлест, углового и таврового соединений; описание результатов визуального контроля сварных швов, методом керосиновой пробы и пневматическим методом; выводы.

В выводах кратко изложить основные результаты работы, описать приобретенные навыки, оценить качество выполненного и испытанного сварного шва.

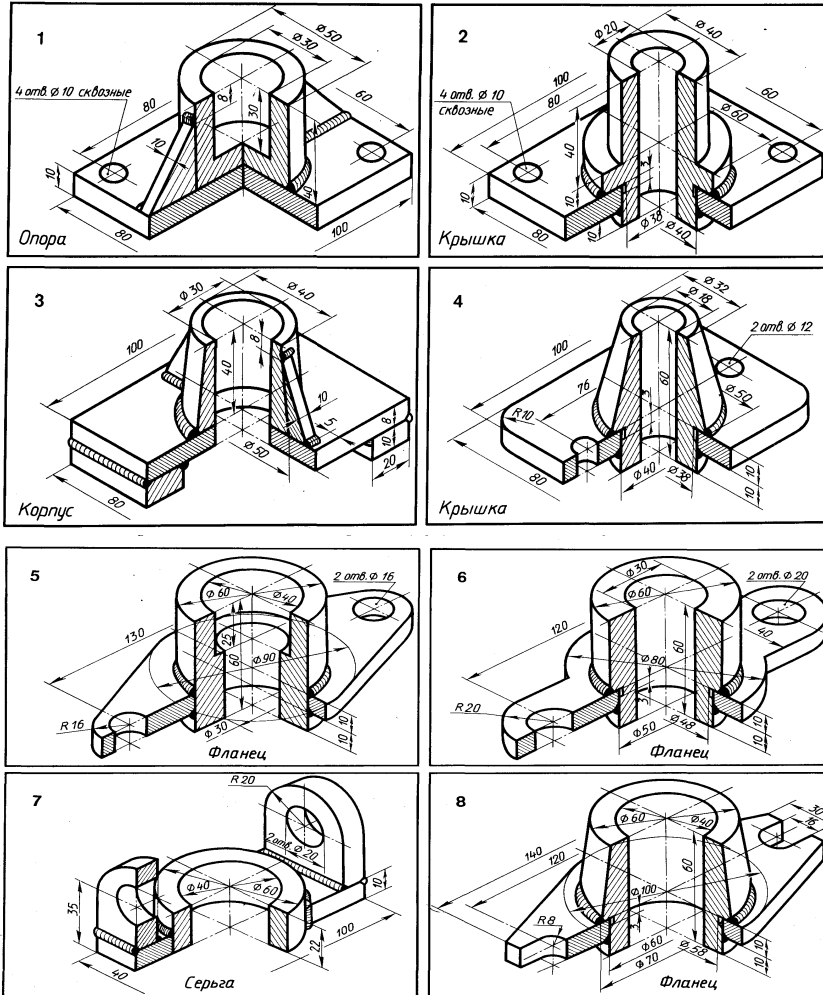
4.5 Контрольные вопросы

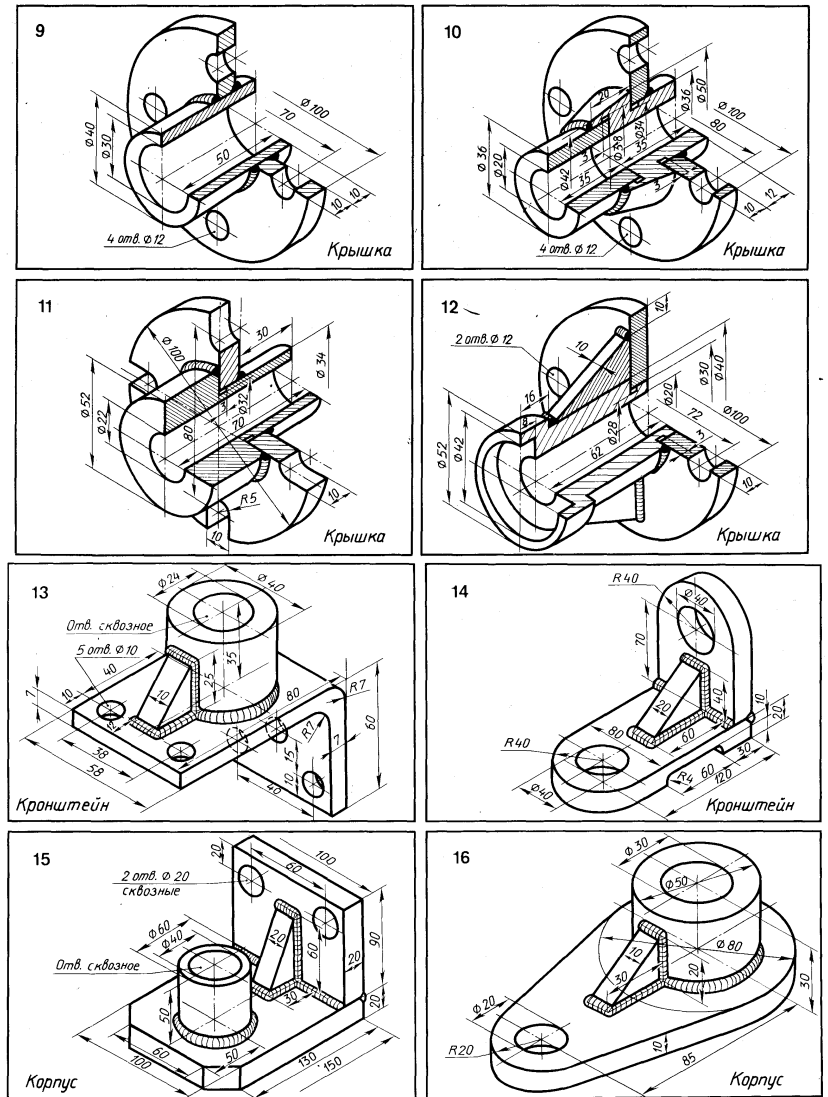
1. Что называют сваркой? На какие две группы подразделяют все способы сварки в зависимости от агрегатного состояния соединяемых заготовок?

2. Перечислите основные способы получения сварных соединений. Дайте определения.
3. Перечислите источники энергии, применяемые при различных способах сварки плавлением.
4. Назовите источники нагрева при сварке плавлением в порядке возрастания степени концентрации мощности.
5. Перечислите основные показатели, характеризующие свариваемость материалов.
6. Назовите четыре типа сварных соединений.
7. Назовите основные дефекты сварных соединений.
8. Назовите основные методы контроля сварных швов.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Варианты индивидуальных заданий к лабораторным работам





ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Образец оформления титульного листа отчета по лабораторной работе

The image shows a rectangular frame representing a title page. The frame has a width of 20 units and a height of 5 units. The text is centered within the frame. The text is as follows:

Министерство образования и науки РФ

Бийский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Алтайский государственный технический
университет имени И.И. Ползунова»

Факультет ХТМ

Кафедра МАХиПП

Лабораторная работа №1
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК

по дисциплине
"ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ"

Выполнил:
студент гр. АПХП-21 Иванов И.И.

Проверил:
д.т.н., профессор Блазнов А.Н.

Бийск 2013

ЛИТЕРАТУРА

1. Роман, О.В. Лабораторный практикум по технологии металлов и других конструкционных материалов / О.В. Роман [и др.]; под общ. ред. О.В. Романа. – Минск: Высшая школа, 1974. – 240 с.: ил.
2. Схиртладзе, А.Г. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / А.Г. Схиртладзе [и др.]; – 3-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 360 с.
3. Кузьмин, Б.А. Технология металлов и конструкционные материалы: учебник для машиностроительных техникумов / Б.А. Кузьмин [и др.]; под общ. ред. Б.А. Кузьмина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил.
4. Дальский, А.М. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский [и др.]; под ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.: ил.
5. Ильин, Л.Н. Ковочно-штамповочное производство. Лабораторный практикум: учебное пособие для машиностроительных техникумов по специальности «Ковочно-штамповочное производство» / Л.Н. Ильин, А.С. Подольский, Б.М. Позднеев. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.: ил.
6. Попов, Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки: учебник для вузов / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 480 с.: ил.

Учебное издание

Блазнов Алексей Николаевич
Павлов Игорь Николаевич
Легаев Александр Иванович
Куничан Владимир Александрович

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ И СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов» для студентов специальностей 260601.65 «Машины и аппараты пищевых производств», 240706.65 «Автоматизированное производство химических предприятий», 240901.65 «Биотехнология», 270109.65 «Теплогасоснабжение и вентиляция», 240300.65 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» специализации 240305.65 «Автоматизированное производство химических предприятий», направления подготовки 151000.62 «Технологические машины и оборудование» профиля подготовки «Машины и аппараты пищевых производств» и направления подготовки 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» профиля подготовки «Технология машиностроения»

Редактор Соловьева С.В.
Технический редактор Денисова О.А.
Подписано в печать 14.06.13. Формат 60×84, 1/16
Усл. п. л. – 3,84. Уч.-изд. л. – 4,13
Печать – ризография,
множительно-копировальный аппарат «RISO EZ300»

Тираж 90 экз. Заказ 2013-46
Издательство Алтайского государственного
технического университета,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

Оригинал-макет подготовлен ИИО БТИ АлтГТУ
Отпечатано в ИИО БТИ АлтГТУ
659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27