



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Материаловедение в машиностроении»

И. Н. Степанкин

**ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 07 02 «Производство изделий
на основе трехмерных технологий»
дневной формы обучения**

Гомель 2021

УДК 621.7(075.8)
ББК 30.6я73
С79

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 06.05.2020 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Металлургия и технологии обработки материалов»
ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *Ю. Л. Бобарикин*

Степанкин, И. Н.

С79 Технология формообразования изделий из конструкционных материалов : практикум по выполнению лаборатор. работ по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» днев. формы обучения / И. Н. Степанкин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 316 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Освещены вопросы, связанные с основными положениями теории литейного производства и обработки материалов давлением, сварочным производством металлических и неметаллических конструкционных материалов их обработкой резанием, а также методами получения изделий из полимерных материалов. Представлены методики выполнения работ, теоретические сведения о технологических процессах, применяемых в установках, машинах, приборах, станках и технологической оснастке. Приводятся примеры проектирования отдельных технологических операций, справочные данные, порядок выполнения работ и рекомендации по составлению отчета.

Для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» дневной формы обучения.

УДК 621.7(075.8)
ББК 30.6я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по технологии формообразования изделий из конструкционных материалов предназначены для студентов специальности 1–36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий».

Пособие предназначено для выполнения лабораторных и практических работ по разделам: «Литейное производство», «Обработка материалов давлением», «Сварка, пайка и наплавка материалов», «Получение изделий из полимерных материалов» и «Обработка материалов резанием».

Представлены методики выполнения работ, теоретические сведения о технологических процессах, применяемых в установках, машинах, приборах, станках и технологической оснастке. Приводятся примеры проектирования отдельных технологических операций, справочные данные, порядок выполнения работ и рекомендации по составлению отчета.

Пособие позволит закрепить теоретический материал и приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые на производстве и в научных исследованиях.

Общие методические рекомендации о порядке проведения лабораторных работ

Лабораторные работы должны проводиться по мере изучения студентами теоретического курса.

В начале занятий преподаватель уточняет знание студентами цели данной лабораторной работы и порядка ее проведения, знакомит с оборудованием, приборами, устройствами и проводит инструктаж по технике безопасности, выдает индивидуальное задание. Практическая работа выполняется студентами под руководством учебного мастера.

Оформленный отчет студент представляет преподавателю и защищает данную работу.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

Лабораторные работы должны проводиться в соответствии с инструкцией по технике безопасности, утвержденной в установленном порядке. Это исключает несчастные случаи при выполнении работ.

Меры безопасности при выполнении лабораторных работ по литейному производству

1. Приготовление формовочных смесей необходимо проводить в респираторе, защитных очках и спецодежде.

2. Очистку бегунов производить только после их полной остановки и отключения от электрической сети.

3. Уплотнение формовочной смеси производить только после правильной установки гильзы со смесью и при отсутствии посторонних предметов в рабочем пространстве лабораторного копра.

4. Заливку расплавленного металла в форму необходимо производить только в защитных очках и специальной одежде.

5. При выполнении лабораторной работы по изучению центробежного литья для получения отливки использовать литейные сплавы с температурой плавления не более 150°C. Заливку формы производить только с использованием защитного ограждения установленного по контуру вокруг вращающихся частей установки. Высота ограждения должна быть выше верхнего края формы не менее чем на 100 мм. Запрещается заливать расплавленный металл в литейную форму без установленной крышки.

6. Очистку, обрубку и замеры отливок производить после извлечения их из формы при окончательном охлаждении в проточной воде. Для переноса горячих отливок необходимо использовать клещи.

Меры безопасности при выполнении лабораторных работ по обработке металлов давлением

1. При проведении обработки металлов давлением на универсальной испытательной машине запрещается касаться движущихся частей, устанавливая заготовку в штамп или извлекать из штампа при включенной машине.

2. Запрещается наблюдать за ходом деформации образца без специального защитного экрана.

3. Запрещается устанавливать и извлекать образец из рабочего пространства штампа, если не зафиксирована верхняя плита прессы.

4. Извлекать образец из полости штампа необходимо только с помощью клещей.

5. Замеры образца после штамповки производить только после полного охлаждения в проточной воде.

Меры безопасности при выполнении лабораторных работ по сварке, пайке и наплавке материалов

1. Для исключения поражения электрическим током необходимо выполнять следующие требования:

- не прикасаться к открытым токопроводящим частям оборудования (клеммам);

- не прикасаться к поврежденным частям оборудования (пробой изоляции);

- токонесущие части электрической цепи, находящейся под напряжением, были надежно изолированы, а корпуса сварочной аппаратуры заземлены;

- если при прикосновении к частям сварочного оборудования, не являющегося токонесущим, обнаруживается напряжение, необходимо немедленно прекратить сварку и сообщить учебному мастеру и преподавателю.

2. Для исключения поражения органов дыхания сварочные работы проводить в специальном помещении, оборудованном вытяжной вентиляцией, оснащенной местными отсосами.

3. Для предотвращения поражения роговицы глаз ультрафиолетовым излучением наблюдение за процессами дуговой сварки осуществлять только с применением защитных масок или щитков, оборудованных специальным стеклом.

4. При переносе заготовок, подвергнутых сварке во избежание ожога кожи удерживать заготовки только специальными захватами, клещами или плоскогубцами.

5. Производить сварочные работы в сырых местах разрешается только в резиновой обуви и резиновых перчатках или брезентовых рукавицах, в исправной и сухой спецодежде.

6. При поражении током пострадавшему должна быть оказана немедленная помощь – прежде всего необходимо отключить его от электрической цепи. Лица, оказывающие помощь, должны быть в резино-

вых перчатках и надежно изолированы от земли. Если пострадавший потерял сознание, нужно немедленно вызвать врача и до его прибытия делать искусственное дыхание.

7. Для предохранения людей, работающих по соседству, от действия лучей сварочной дуги места сварки оградить щитами, ширмами или кабинами из фанеры и брезента высотой 1,8 м.

8. Перед зажиганием дуги необходимо предупреждать окружающих словами «береги глаза».

9. При поражении глаз следует немедленно обратиться в медицинский пункт. До осмотра врача можно промыть глаза слабым содовым раствором.

10. При выполнении газосварочных работ необходимо, чтобы водяной затвор газогенератора был всегда наполнен водой до контрольного уровня.

11. Не допускается наличие открытого огня при работе генератора в зоне радиусом не менее 10 м.

12. Нельзя переполнять карбидом секции загрузочных коробок.

13. Запрещается работа неисправным инструментом.

14. Отогрев замерзших шлангов и водяных затворов разрешается только горячей водой.

15. Запрещается устанавливать для работы или укладывать баллоны вблизи внешних источников тепла.

16. При транспортировке баллонов необходимо принимать все меры предосторожности против их падения и ударов друг о друга.

17. Во избежание взрыва не допускается попадание масла на кислородные баллоны и их вентили.

Меры безопасности при выполнении лабораторных работ с полимерными материалами

1. При подготовке термореактивной смолы избегать попадания компонентов смеси на слизистые оболочки, открытые участки кожи;

2. Не вдыхать пары отвердителя.

Меры безопасности при выполнении лабораторных работ по обработке материалов резанием

С целью исключения травматизма студентам запрещается:

1. Приступать к выполнению лабораторной работы без предварительного ознакомления с правилами техники безопасности;

2. Самостоятельно включать и выключать станки, а также проводить обработку заготовок на них;
3. Находиться в зоне отброса стружки и вращающейся детали;
4. Отводить или сметать стружку без применения специальных крючков и щеток;
5. Касаться движущихся и вращающихся частей станка, заготовки и инструмента;
6. Облокачиваться на станок и передавать чего-либо над станком или вращающейся деталью.

Обязанности студента:

1. Выполнять только ту работу, которая поручена ему преподавателем или учебным мастером;
2. Не мешать работе других студентов;
3. Быть внимательным и аккуратным во время выполнения работы;
4. Не отвлекаться самому и не отвлекать других посторонними разговорами;
5. Сдавать свое рабочее место чистым и в полном порядке;
6. Знать места расположения средств огнетушения и правила пользования ими.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ИЗ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомить студентов с методами определения свойств формовочных смесей, технологией ручной формовки литейных форм, изучить влияние состава формовочных смесей на их газопроницаемость и прочность.

Оборудование и материалы: лабораторные бегуны; лабораторный копер; технические весы с разновесами; приборы для определения газопроницаемости, пределов прочности смеси при сжатии и растяжении; мензурка; металлическая гильза с поддоном; выталкиватель; стержневой ящик; короб для смесей; сухой песок; формовочная глина; угольный порошок; опоки (верхняя и нижняя); плиты модельные (верхняя и нижняя); модель отливки; модели литниковой системы.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия приборов для определения свойств смесей.
2. Приготовить составы формовочных и стержневых смесей.
3. Изготовить по три образца из формовочных смесей для исследования газопроницаемости и сырой прочности в зависимости от состава смеси.
4. Изготовить по три образца из стержневой смеси для испытания на растяжение, установить их в печь для сушки.
5. Определить газопроницаемость, прочность сырой смеси на сжатие, прочность сухой стержневой смеси на растяжение.
6. Дать оценку влияния состава смесей на газопроницаемость и прочность.

Общие сведения

Формовочные и стержневые смеси применяют для изготовления литейных песчано-глинистых форм, используемых для получения отливок из различных металлов и сплавов.

Формовочные и стержневые смеси получают из свежих материалов с добавлением бывшей в употреблении формовочной смеси.

Процесс приготовления смесей состоит из трех этапов:

- 1) подготовка свежих формовочных материалов;
- 2) подготовка оборотной смеси;

3) перемешивание полученных составляющих.

При выполнении лабораторной работы формовочная смесь изготавливается из свежих, предварительно высушенных песка и глины, песок просеивают, глину размалывают и просеивают. Смешивание компонентов формовочной смеси осуществляют в лабораторных бегунах, где смесь перемешивается и каждая песчинка под катком получает вращательное движение. Вследствие этого она покрывается тонким слоем глины.

Лабораторные бегуны имеют следующее устройство (рис. 1.1). В центре круглой части дна бегунов находится вертикальный вал, на котором крепится траверса с катками 1. При вращении вала за счет сил трения катков о смесь они вращаются вокруг оси и катятся по смеси, перетирая смесь. Кроме катков на траверсе закреплены плужки 2, которые подгребают смесь под катки. Готовая смесь выгружается через окно 3, расположенное в дне чаши. Окно открывается специальным механизмом.

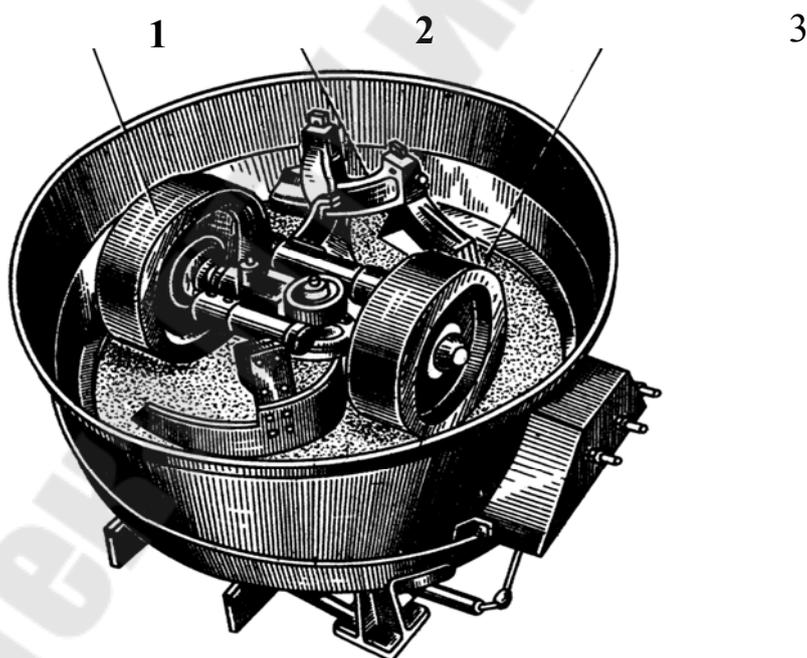


Рис. 1.1. Лабораторные бегуны

Загрузка компонентов при приготовлении смеси осуществляется в такой последовательности: загружают в работающие бегуны сухой песок, затем добавляют воду и после двух-трех минут перемешивания вводят глину и перемешивают еще 2-3 минуты.

Свойства изготовленной смеси зависят от количества глины, песка и его зернистости, количества воды и других факторов.

Для получения отливок требуемого качества в песчано-глинистых формах формовочная смесь должна обладать определенными свойствами: прочностью, газопроницаемостью, противопригарностью, податливостью и т. д. Основными из этих свойств считаются прочность и газопроницаемость. Поэтому в данной лабораторной работе будут исследоваться газопроницаемость, прочность в сыром и сухом состоянии.

Газопроницаемость – способность смесей вследствие своей пористости пропускать образующиеся в форме газы при заливке ее расплавленным металлом. Газопроницаемость улучшается с увеличением зернистости и однородности песка, а также по мере уменьшения глины, влаги и плотности набивки.

Для установления зависимости газопроницаемости формовочной смеси от содержания глины или влаги, а также плотности набивки, из нее изготавливают стандартные образцы диаметром $50 \pm 0,8$ мм на лабораторных копрах (рис. 1.2).

Металлическую гильзу 9 устанавливают на поддон 1 и в нее высыпают навеску (~170 г) формовочной смеси и следят, чтобы поверхность насыпанного слоя смеси перед уплотнением была горизонтальной. Подъемником 3 копра поднимают шток 4 с грузом 6. После этого на станину по центровочному отверстию устанавливают поддон с гильзой 4, плавно опускают в гильзу боек 2 до соприкосновения его со смесью. Уплотняют смесь тремя ударами груза 6, который поднимается по штоку эксцентриком 7 при вращении

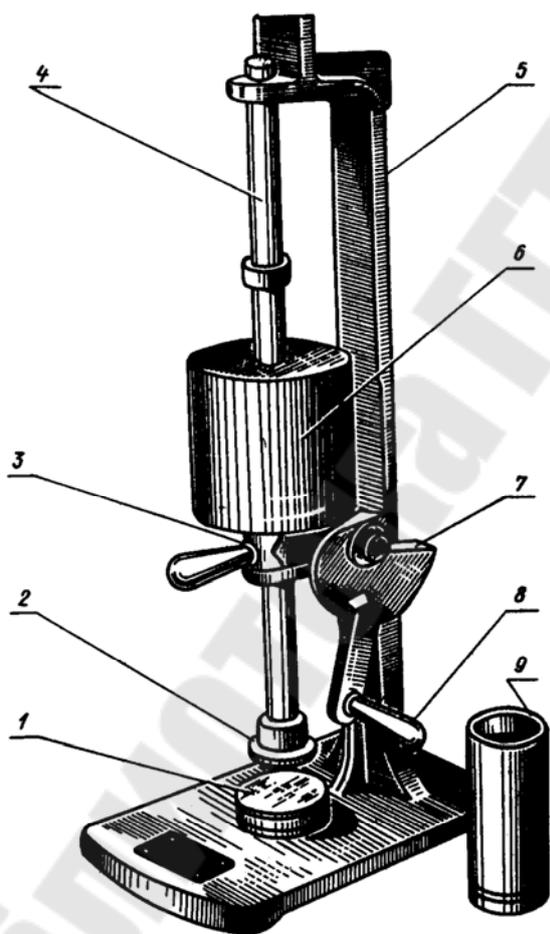


Рис. 1.2. Лабораторный копер

рукоят-ки 8. Высоту образца при уплотнении контролируют по трем горизонтальным рискам, нанесенным на стойке 5 станины. Совпадение верхнего торца штока со средней риской соответствует высоте образца 50 мм. Крайние риски указывают на допустимые отклонения высоты образца. После этого гильзу с уплотненной формовочной смесью и поддоном снимают с копра, отделяют поддон от гильзы, а затем образец смеси вместе с гильзой устанавливают на чашку затвора 9 прибора для определения газопроницаемости (рис. 1.3).

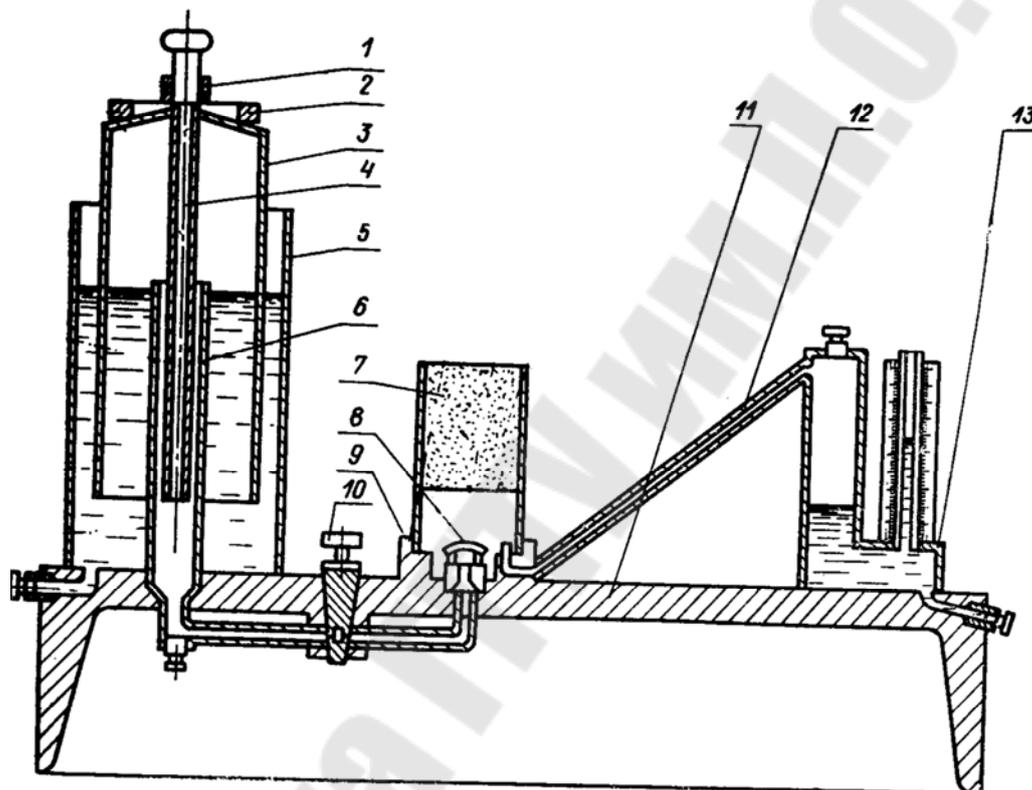


Рис. 1.3. Схема прибора для определения газопроницаемости

Прибор состоит из бака 5, в котором перемещается колокол 3, в крышку которого впаяна трубка 4, скользящая внутри трубки 6 при поднятии и опускании колокола. Трубка 6 герметично впаяна в дно бака. Бак заполняется водой так, чтобы объем под колоколом был изолирован от атмосферы. Объем под колоколом через трубку 6 соединен с трехходовым краном 10, который предназначен для набора воздуха под колокол при подъеме колокола и подачи воздуха под образец из смеси при его опускании.

После установки гильзы с образцом формовочной смеси на чашку затвора 9, трехходовой кран ставят в положение «атмосфера» и

с помощью ручки поднимают колокол, набирая 2000 см³ воздуха, а затем трехходовой кран поворачивают в положение «испытание» и опускают ручку колокола. Колокол опускается вниз под собственным весом, а воздух из под колокола через трехходовой кран подается под образец формовочной смеси под давлением, создаваемым колоколом. Для испытания крупнозернистых смесей на газопроницаемость достаточно давление воздуха 0,5 кПа, а мелкозернистых смесей – 1 кПа. Дополнительное давление создается за счет использования дополнительного груза 2. Колокол опускается до тех пор, пока верхняя отметка на колоколе не совпадет с краем бака. Это значит, что через образец из-под колокола прошло 2000 см³ воздуха. Время его прохождения фиксируют с помощью секундомера, а давление воздуха под образцом из смеси замеряют при помощи водяного манометра 13, который соединен с полостью под образцом трубкой 12. Газопроницаемость определяют по формуле:

$$K = \frac{V h}{\rho F \tau},$$

где V – объем воздуха, прошедшего через образец, см³;

h – высота образца, см;

F – площадь поперечного сечения образца, см²;

ρ – давление воздуха под образцом, Па;

τ – время прохождения воздуха через образец, мин.

Газопроницаемость может быть определена ускоренным методом, для чего в приборе имеются два ниппеля 8 с калиброванными отверстиями диаметрами 0,5 и 1,5 мм. Эти отверстия обеспечивают определенный минутный расход воздуха, что исключает необходимость пропускания объема воздуха 2000 см³ и определения времени его прохождения. В этом случае достаточно получить показания водяного манометра. Газопроницаемость определяется в зависимости от давления по таблице 1.1.

При этом для испытания смеси с газопроницаемостью более 50 единиц применяют ниппель с отверстием диаметром 1,5 мм, а для смеси с меньшей газопроницаемостью – ниппель с отверстием диаметром 0,5 мм.

Прочностью смеси называют ее способность выдерживать внешние нагрузки без разрушения. Применяют два метода определения прочности: сырой смеси на сжатие и сухой смеси на растяжение.

Таблица 1.1

Газопроницаемость смесей

Давление, МПа	Диаметр отверстия ниппеля, мм		Давление, МПа	Диаметр отверстия ниппеля, мм	
	0,5	1,5		0,5	1,5
0,10	-	950	0,24	40	358
0,10	-	850	0,25	38	341
0,12	-	780	0,26	36	326
0,13	-	710	0,27	34	313
0,14	-	650	0,28	33	300
0,15	-	610	0,29	31	287
0,16	-	550	0,30	30	275
0,17	-	525	0,31	29	264
0,18	-	492	0,32	28	253
0,19	-	467	0,33	27	243
0,20	49	440	0,34	25,8	235
0,21	47	417	0,35	24,2	226
0,22	44	398	0,36	24,4	219

Для определения прочности на сжатие во влажном состоянии используют образцы смеси после их испытания на газопроницаемость. С этой целью образец смеси при помощи деревянного или пластмассового выталкивателя выдавливается из металлической гильзы и помещается на площадку 3-рычажного прибора для испытания на сжатие (рис. 1.4).

Указатель 5 каретки 7 предварительно устанавливают на нулевое деление шкалы рычага 4. Затем с помощью винта 1, на котором закреплена площадка 2, зажимают образец. Вращением рукоятки 6 винта 8 перемещают каретку 7 до тех пор, пока под действием сжимающей нагрузки образец не разрушится. При этом указатель фиксирует на рычаге разрушающее напряжение с точностью до 5 кПа.

Испытания проводят на трех образцах. Предел прочности принимают равным среднему значению. Если это значение отличается от одного из трех показаний больше, чем на 10 %, испытание должно быть повторено на вновь приготовленной смеси.

Смесь в сухом состоянии, как правило, испытывают на растяжение сухих образцов в виде плоской восьмерки (рис. 1.5).

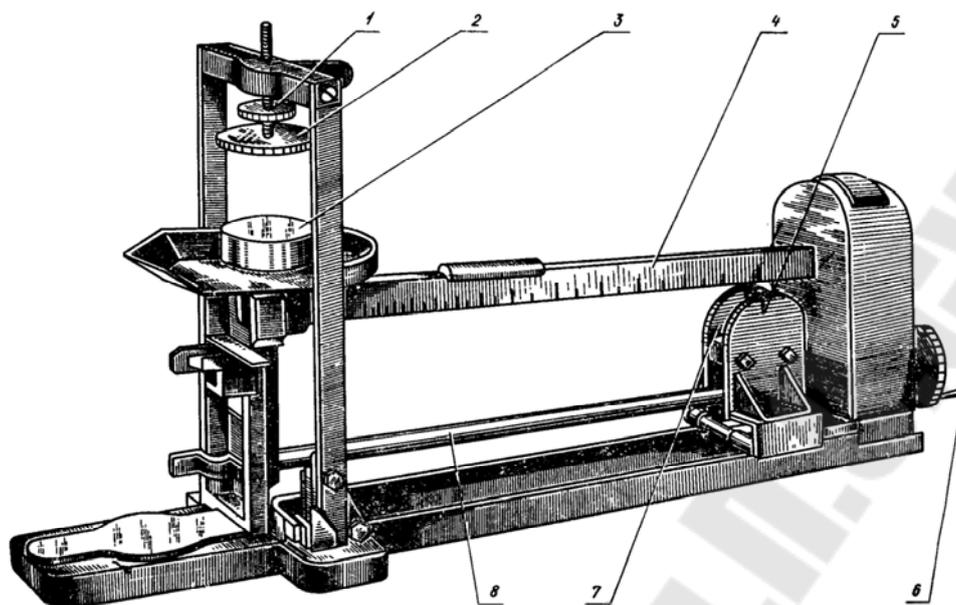


Рис. 1.4. Прибор для определения прочности

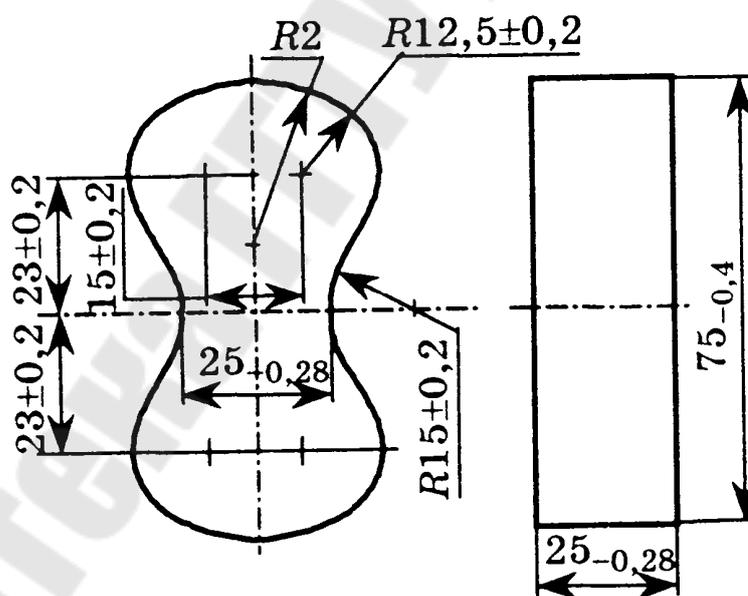


Рис. 1.5. Стандартный образец для испытания на разрыв

Образец изготавливают в металлическом ящике на лабораторном копре за три удара и высушивается. После охлаждения образец устанавливается в зажимах 1 прибора для испытания на растяжение (рис. 1.6).

При этом рычаг 3 устанавливают в горизонтальное положение. После этого вращением гайки 7 поднимают нижний захват в верхнее положение до тех пор, пока образец свободно будет устанавливаться

в зажимах. А затем затягивают зажимы до полного соприкосновения их с поверхностью образца. Для создания нагрузки на образец через рычаг 3 открывают отверстие в коническом дне воронки 5 путем оттягивания затвора 4 и его фиксации. Металлическая дробь из воронки 5 высыпается в емкость 6, создавая постепенно возрастающее усилие, растягивающее образец до его разрушения. В момент разрыва образца рычаг 3 падает и извлекает фиксатор, а затвор 4 перекрывает выходное отверстие воронки 5, прекращая высыпание дроби. После этого ведро с дробью взвешивают и определяют прочность образца на растяжение σ :

$$\sigma = K P / F,$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения плеч рычага;

P – разрушающая нагрузка, определяемая взвешиванием дроби, Н;

$F = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – площадь образца.

Результаты испытаний заносят в таблицу 1.2.

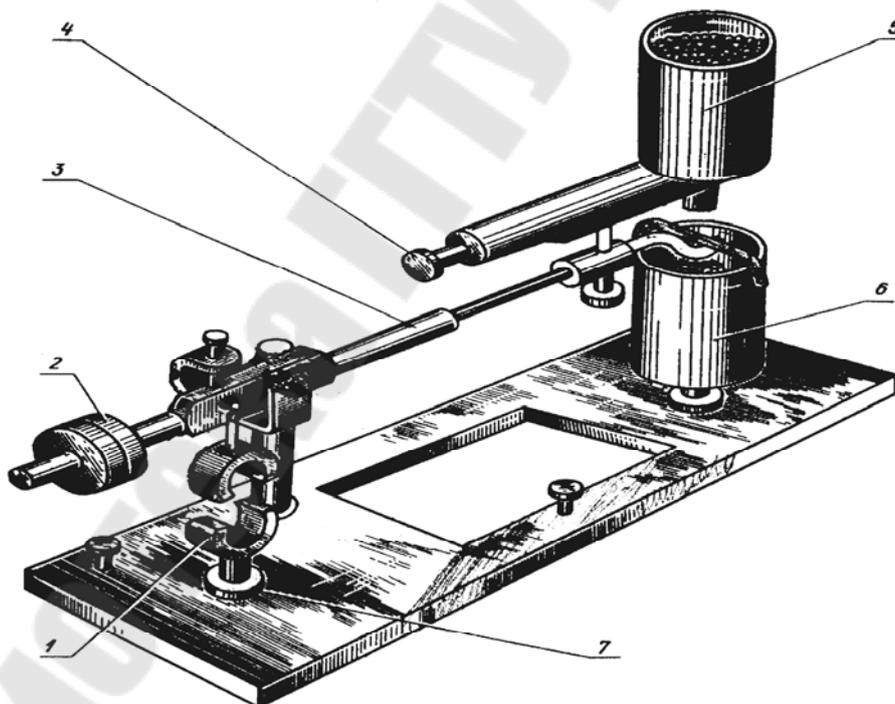


Рис. 1.6. Прибор для испытания на разрыв

Таблица 1.2

Результаты испытаний формовочных смесей

№ смеси	Газопроницаемость				Предел прочности при сжатии во влажном состоянии, Па			Предел прочности при растяжении в высушенном состоянии, Па				
	По нормальному методу		По ускоренному методу									
	№ замера		Среднее знач.	№ замера		Среднее знач.	№ замера		Среднее знач.	№ замера		Среднее знач.

Основные этапы изготовления литейных песчано-глинистых форм ручной формовкой

К основным операциям изготовления литейных песчано-глинистых форм относятся: приготовление формовочной смеси; заполнение опок смесью; уплотнение смеси для получения точного отпечатка модели отливки в форме и придания формовочной смеси достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для отвода газов из полости формы, выделяющихся из металла и формовочной смеси при заливке расплавленного металла; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы. По степени механизации различают ручную и машинную формовки.

Ручную формовку применяют для получения небольшого количества отливок в условиях опытного производства или при изготовлении крупных отливок.

Изготовление литейной формы в парных опоках по разъемной модели отливки (рис. 1.7) производят в такой последовательности: на нижнюю модельную плиту устанавливают нижнюю половину модели, модели питателей 4 и нижнюю опоку 11.

Модель отливки и питателя посыпают графитом и наносят облицовочную смесь на модель отливки и питателя толщиной 30-50 мм; оставшееся пространство в опоке заполняют наполнительной смесью с избытком; уплотняют смесь; остатки смеси срезают с опоки линейкой; накалывают вентиляционные каналы 14; изготовленную нижнюю полуформу переворачивают на 180°.

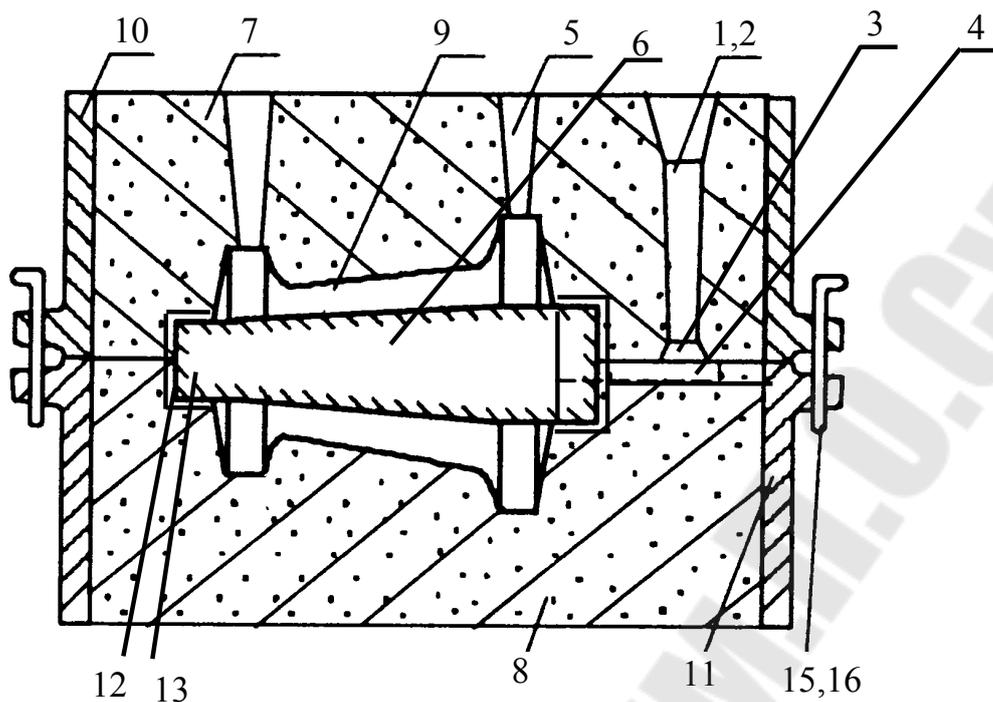


Рис. 1.7. Литейная форма в сборе: 1 – воронка; 2 – стояк; 3 – шлаковик; 4 – питатель; 5 – прибыль; 6 – стержень; 7 – верхняя полуформа; 8 – нижняя полуформа; 9 – полость под отливку; 10 – верхняя опока; 11 – нижняя опока; 12 – замок стержневого знака; 13 – стержневой знак; 14 – вентиляционные каналы; 15 – центрирующая система; 16 – скобы

Верхнюю полуформу изготавливают в такой же последовательности: на верхнюю модельную плиту устанавливают верхнюю половину модели отливки, на которой закрепляют модель прибыли 5 для отливок из металлов с большой усадкой. На плиту устанавливают модель шлаковика 3; на модель шлаковика устанавливают модель стояка 2, а затем на модельную плиту устанавливают верхнюю опоку 10; насыпают графитом модель отливки, шлаковика, стояка, прибыли, наносят облицовочный слой и оставшееся пространство засыпают наполнительной смесью и уплотняют; остатки смеси срезают с опоки линейкой. После извлечения модели стояка и модели прибыли верхнюю полуформу переворачивают на 180° . Затем из верхней полуформы извлекают модель шлаковика и верхнюю половину модели отливки, а из нижней полуформы извлекают нижнюю половину модели отливки и модель питателя. В нижнюю полуформу устанавливают стержень 6 и накрывают ее верхней полуформой. Верхнюю и нижнюю полуформы скрепляют скобами 16. Изготовленную литейную песчано-глинистую форму отправляют на заливку расплавленным ме-

таллом. После заливки расплавленного металла и его затвердевания формовочную смесь разрушают в опоках и извлекают отливку.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о свойствах смесей.
3. Эскизы литейной формы, прибора для определения газопроницаемости и прибора для определения сырой прочности.
4. Результаты испытаний свести в табл. 1.2.
5. Выводы о влиянии компонентов формовочной смеси на ее свойства.

Контрольные вопросы

1. Из чего состоят формовочные смеси?
2. Как устроен прибор для определения газопроницаемости и принцип его работы?
3. В какой последовательности изготавливается литейная форма?
4. Для чего накалываются вентиляционные каналы в верхней полуформе?
5. Какими основными свойствами должны обладать формовочные смеси?
6. Как работают приборы для определения сухой и сырой прочности?

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: ознакомиться с методами определения жидкотекучести, усадки и остаточных напряжений в отливках.

Оборудование и материалы: плавильная печь; модельно-опочная оснастка; набор формовочного инструмента; измерительный инструмент; шихтовые материалы; ручная ножовка; спецодежда; технологические пробы.

Порядок выполнения работы

1. Студенты, выполняющие работу, изготавливают технологические пробы на жидкотекучесть, усадку и определение напряжений.
2. Определяют жидкотекучесть расплава от температуры перегрева, свободную и затрудненную усадку и остаточные напряжения в отливке по технологическим пробам.

Общие сведения

Возможность получения тонкостенных, сложных по форме или больших по габаритным размерам отливок без дефектов обусловлена литейными свойствами сплавов. Наиболее важные литейные свойства сплавов: жидкотекучесть, усадка (линейная и объемная); склонность к образованию горячих и холодных трещин; склонность к газонасыщению в процессе плавки и газовыделению при кристаллизации и образованию газовых раковин и пористости; ликвации (неоднородность по химическому, структурному составу в различных зонах отливки). Контролируемыми свойствами считаются: жидкотекучесть, усадка, образование трещин, внутренние напряжения, которые будут изучены в процессе проведения лабораторной работы.

Жидкотекучесть – это способность металлов и сплавов в расплавленном состоянии заполнять полость формы, четко воспроизводить контуры отливки и сохранять форму отливки после затвердевания металла. На жидкотекучесть сплавов оказывают влияние различные физико-химические свойства: температура перегрева выше температуры плавления, химический состав, температурный интервал кристаллизации, вязкость, поверхностное натяжение, теплопроводность сплава и материала литейной формы, смачиваемость расплавом поверхности формы, газотворность и газопроницаемость формы и т. д.

Основным фактором, влияющим на жидкотекучесть, является температура перегрева, которая позволяет на практике регулировать ее в нужных пределах.

Определяется жидкотекучесть по технологическим пробам, которые можно разделить на три группы:

- 1) постоянного сечения: спиральная (рис. 2.1, а); прутковая (рис. 2.1, б); U-образная (рис. 2.1, в);
- 2) переменного сечения – клиновья (рис. 2.2, а); шариковая (рис. 2.2, б);
- 3) комбинированные.

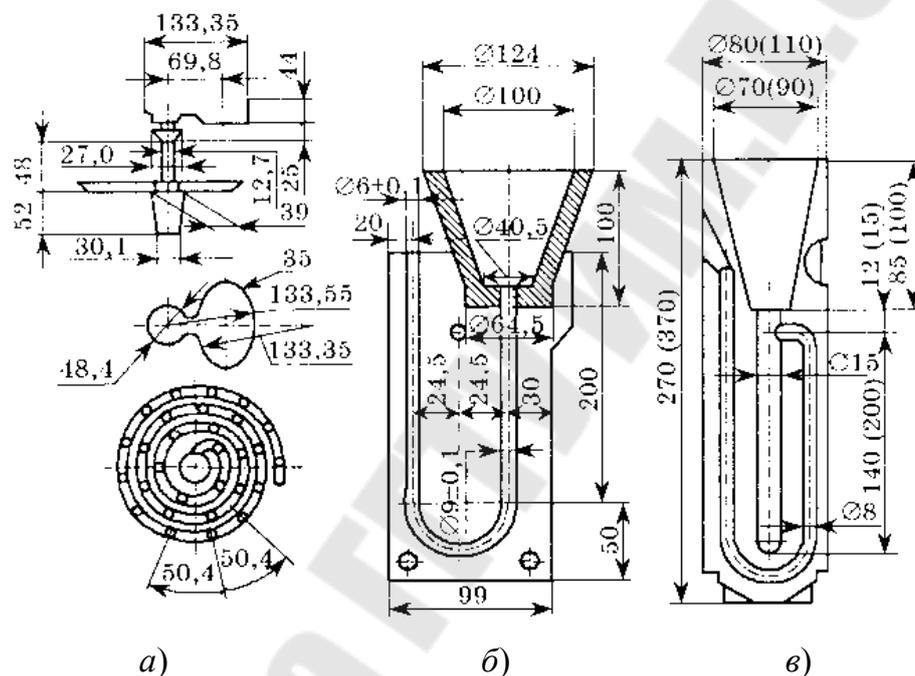


Рис. 2.1. Схема проб для определения жидкотекучести металлов

При определении жидкотекучести с помощью проб постоянного сечения литейные формы устанавливаются строго горизонтально. Площадь поперечного сечения и длину полости формы изготавливают так, чтобы металл к моменту остановки и затвердевания не заполнял ее полностью, потому что за меру жидкотекучести в этих пробах принимают длину полученной спирали или прутка при выбранных режимах заливки и охлаждения металла.

Конструкцию литниковой системы литейной формы при получении спиральной пробы изготавливают так, чтобы соотношение площади поперечного сечения стояка и подводящих каналов обеспечивало поступление металла в полость формы с некоторой постоянной

скоростью, а литниковая чаша стояка была полностью заполнена в процессе заливки. Для этого отверстие стояка закрывают графитовой пробкой, которую удаляют после заливки чаши металлом до определенного уровня. Такие условия при заливке предотвращают захватывание расплавом металла воздуха в полость формы. Температуру металла следует измерять не в ковше, а в литниковой чаше, чтобы четко определить ее влияние на жидкотекучесть.

Для облегчения определения длины спирали на модели спирали, а соответственно и на отливке спирали имеются метки, расположенные на расстоянии 50 мм друг от друга. Следовательно, жидкотекучесть определяется длиной спирали, выраженной в миллиметрах, полученной после подсчета меток.

Жидкотекучесть литейных сталей определяется по U-образным пробам (рис. 2.1, б). Жидкотекучесть определяют по длине прутка, которую измеряют от места перехода широкого стояка в узкий вертикальный канал диаметром 6 мм, который находится в разъемной металлической форме. Усовершенствованная разновидность U-образной вертикальной пробы показана на рис. 2.1, в, которая позволяет одновременно с определением жидкотекучести оценить усадку сплава и склонность его к образованию трещин.

Клиновая проба (рис. 2.2, а) определяется также путем заливки расплавленного металла в металлическую форму. Для исключения влияния инерции струи на жидкотекучесть расплава вершину угла клина во время заливки располагают вертикально. Жидкотекучесть определяют расстоянием от затвердевшего металла до вершины угла клина.

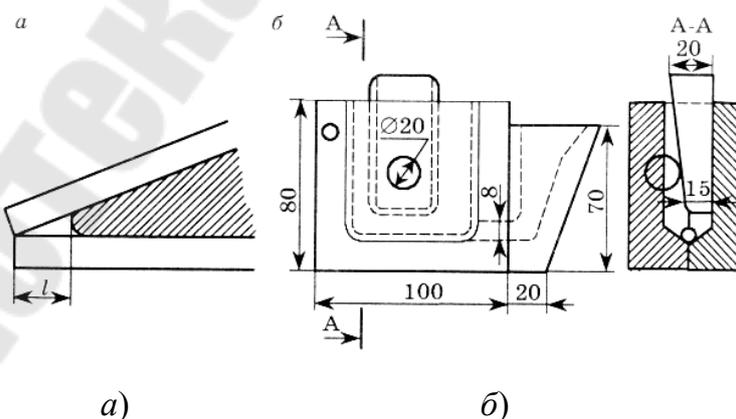


Рис. 2.2. Схема проб для определения жидкотекучести

Для определения жидкотекучести цветных сплавов на основе меди, алюминия и магния применяют шариковую пробу (рис. 2.2, б).

Жидкотекучесть определяют по отверстию в отливке под шариком. При заливке клин касается шарика и поэтому в пробе после затвердевания образуется отверстие, диаметр которого характеризует жидкотекучесть и чем меньше это отверстие, тем выше жидкотекучесть.

Усадка литейных сплавов

Усадка – это свойство литейных сплавов уменьшать объем при охлаждении в жидком состоянии, а в ходе кристаллизации и дальнейшего охлаждения изменять не только объем, но и линейные размеры. Поэтому принято различать объемную и линейную усадку, выражаемую в процентах.

Объемная усадка – уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при затвердевании отливки:

$$\varepsilon_v = \frac{V_{\phi} - V_{от}}{V_{от}} \cdot 100 \%,$$

где V_{ϕ} и $V_{от}$ – объем полости формы и отливки при $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Линейная усадка – уменьшение размеров отливки после ее затвердевания относительно размеров полости формы:

$$\varepsilon_{\text{лин.}} = \frac{l_{\phi} - l_1}{l_1} \cdot 100 \%,$$

где l_{ϕ} и l_1 – размеры полости формы и отливки при $T = 20^{\circ}\text{C}$.

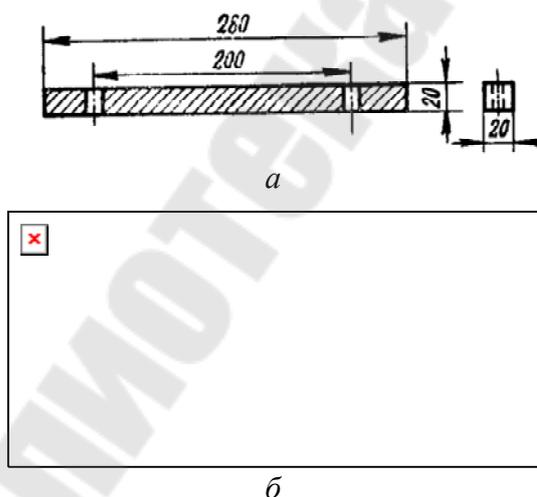


Рис. 2.3. Модели для определения свободной (а) и затрудненной (б) усадок

Литейная усадка – уменьшение размеров отливки после ее затвердевания относительно размеров модели:

$$\varepsilon_{\text{лит.}} = \frac{l_{\text{мод}} - l_{\text{отл}}}{l_{\text{отл}}} \cdot 100 \%,$$

где $l_{\text{мод}}$ и $l_{\text{отл}}$ – линейные размеры модели и отливки при $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Литейная усадка зависит не только от коэффици-

ента линейной усадки металла, но и конструкции отливки, температуры заливки металла, скорости охлаждения, условиями извлечения модели из формы, методом ее изготовления и т. д.

Одним из примеров влияния конструкции отливки на величину литейной усадки является определение свободной (рис. 2.3, *a*) и затрудненной (рис. 2.3, *б*) усадок. Отливки изготавливаются по моделям (рис. 2.3, *a* и *б*), в которых имеются выступы, расстояние между центрами которых равны 200 мм. Этими выступами в полости формы делаются метки, которые сохраняются на отливке после заливки в форму расплавленного металла и его кристаллизации. По разнице между соответствующими размерами на модели и отливке определяют литейную усадку.

При охлаждении отливок от температуры заливки до температуры окружающей среды условно можно наблюдать три вида усадки:

1) усадка в жидком состоянии при понижении температуры заливки ($T_{\text{зал.}}$) до начала температуры кристаллизации ($T_{\text{кр.}}$ - ликвидуса);

2) усадка в жидко-твердом состоянии при понижении от температуры ликвидуса до температуры солидуса конца кристаллизации;

3) усадка в твердом состоянии при охлаждении отливки от температуры солидуса до температуры окружающей среды. Полная объемная усадка металла за время охлаждения составит:

$$\varepsilon_{\text{пол}} = \varepsilon_{VЖ} + \varepsilon_{VЗ} + \varepsilon_{VT} .$$

Усадка сплава в различные фазовые периоды не одинаково влияет на качество отливки. Наиболее безвредна усадка в жидком состоянии, т. к. в этом состоянии расплава происходит только снижение его уровня в полости формы (прибыли, литниковой системе). Усадка

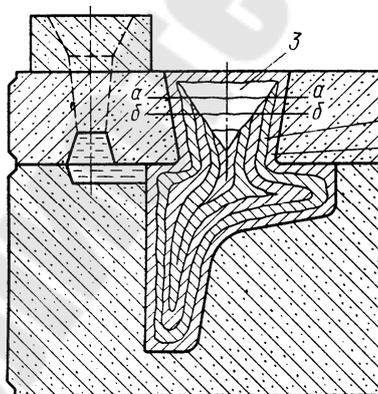


Рис. 2.4. Схема образования усадочной раковины

в отливке проявляется в виде усадочных раковин, пористости, короблений и горячих и холодных трещин, что требует применения специальных мер по их устранению.

Усадочные раковины – сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, затвердевающих последними (рис. 2.4).

Процесс затвердевания металлов и сплавов происходит следующим об-

разом. Сначала около стенок литейной формы образуется слой 1 твердого металла. Вследствие того, что усадка расплава при переходе из жидкого состояния в твердое превышает усадку твердого слоя, то уровень расплава в незатвердевшей части отливки понизится до уровня **а-а**. В следующий момент времени на затвердевшем слое 1 нарастает новый твердый слой 2, а уровень жидкого расплава понизится до уровня **б-б** и так до полного затвердевания. Снижение уровня расплава в процессе затвердевания приводит к образованию сосредоточенной раковины 3. Такие раковины образуются у чистых металлов, сплавов эвтектического состава и сплавов с узким эвтектическим интервалом кристаллизации.

Кроме этих факторов, практикой работы литейных цехов установлено, что:

а) объем усадочной раковины больше у тех металлов и сплавов, у которых больше коэффициент объемной усадки в жидком состоянии;

б) усадочная раковина тем больше, чем больше разница между температурой центра отливки и наружным слоем в момент его образования.

Следовательно, чем ниже температура заливки расплава, тем меньше усадочная раковина. Она меньше при заливке металла в нагретые формы по сравнению с заливкой в холодные, а также в сухие формы по сравнению с сырыми и больше – у толстостенных отливок.

Усадочная пористость – скопление пустот малых размеров (микрораковин), которые образуются в межзеренных промежутках на границе зерен первичной кристаллизации и расположены преимущественно в термическом центре отливки. Они, как правило, представляют собой группу микрораковин, являющихся продолжением концентрированной усадочной раковины.

Получить отливки без усадочных раковин и пористости возможно путем непрерывного подвода расплавленного металла в процессе его кристаллизации через прибыли, которые устанавливаются на участки отливки, затвердевающими последними. Схема установки прибылей показана на рис. 2.5.

Прибыли могут быть прямые (верхние) и отводные (боковые). Верхние прибыли устанавливают непосредственно на питаемый участок. Они могут быть открытые и закрытые (рис. 2.5, *а* и *б*), боковые или отводные прибыли для питания участков отливки, находящихся

сбоку или в нижней части формы (рис. 2.5, в). Их обычно делают закрытыми.

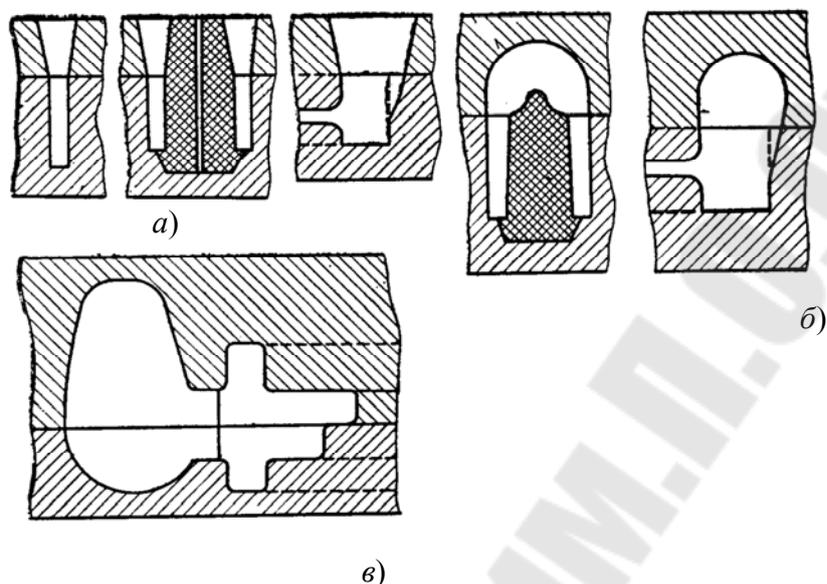


Рис. 2.5. Схема установки прибылей

Напряжения в отливках. Внутренние напряжения в отливках возникают в результате неравномерного затвердевания тонких и толстых ее частей, что приводит к неравномерной и неодновременной усадке, торможения усадки стенками формы при охлаждении.

Напряжения, вызванные этими факторами, подразделяется на три вида:

1) термические напряжения, обусловленные резким перепадом температур в разных частях отливки при кристаллизации;

2) фазовые напряжения, возникающие в результате одновременного протекания фазовых и структурных превращений при охлаждении расплавов;

3) механические (усадочные) напряжения, возникающие вследствие механического торможения усадки отливки со стороны литейной формы.

Если величина этих напряжений превзойдет предел прочности литейного состава в данной части отливки, то в теле ее образуются горячие или холодные трещины.

Горячие трещины в отливках возникают в температурном интервале кристаллизации при переходе из жидкого состояния в твердое, т. е. между линиями ликвидуса (начало кристаллизации) и соли-

дуса (конец кристаллизации). Горячие трещины проходят по границам кристаллов и имеют окисленную темную поверхность.

Ведущую роль в образовании горячих трещин играет механическое торможение усадки, наличие серы и окислов.

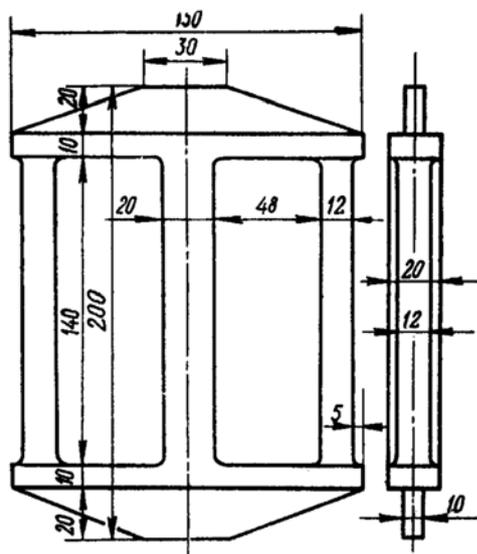


Рис. 2.6. Проба для определения внутренних напряжений

Холодные трещины образуются в области упругих деформаций, когда сплав полностью затвердел. Основной причиной образования холодных трещин являются термические напряжения и наличие фосфора.

Для определения внутренних напряжений в отливках используют технологические пробы (усадочные решетки). Одна из разновидностей решеток приведена на рис. 2.6.

Внутренние напряжения определяются следующим образом. В отливке усадочной решетки, которая состоит из толстого и тонких брусков, соединенных между собой перемычкой, на толстый брус наносят керном метки. После этого тщательно замеряют расстояние между метками, а затем в пространстве между ними, толстый брус разрезают и снова замеряют это расстояние. Разность между первым и вторым замерами (Δl) указывает на наличие внутренних напряжений в отливке технологической пробы.

Практическая часть

Зная величину разности замеров Δl , можно приблизительно определить величину внутренних напряжений по формуле:

$$\sigma = \frac{\Delta l E}{l} \left(1 + \frac{f_1}{f_2} \right),$$

где σ – напряжение в толстом бруске, МПа;

Δl – разность между замерами, м;

E – модуль упругости, МПа;

l – длина толстого бруска, м;

f_1 – сечение тонкого бруса, m^2 ;

f_2 – сечение толстого бруса, m^2 .

Результаты опытов свести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Сплав	Температура заливки, $^{\circ}C$	Жидкотекучесть	Объем залитого керосина, cm^3	Сечение бруска		Расстояние между метками, мм		Напряжения, МПа
				тонкого	толстого	до резки	после резки	
Чугун								
Сталь								

Содержание отчета

1. В отчете должны быть указаны: цель работы, инструмент и применяемое оборудование.

2. Основные сведения о свойствах литейных сплавов и факторы, оказывающие влияние на их изменение.

3. Эскизы схем технологических проб на жидкотекучесть, усадку и внутренние напряжения.

4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами характеризуются литейные сплавы?

2. Перечислите факторы, влияющие на жидкотекучесть расплавов.

3. Какие технологические пробы используют для определения жидкотекучести?

4. Что такое усадка сплава? Какие возникают дефекты при усадке?

5. Какие факторы вызывают остаточные напряжения в отливках?

6. Какие виды трещин возникают в отливках и перечислите причины их возникновения?

Лабораторная работа № 3

Получение изделий методом центробежного литья

Цель работы: Ознакомить студентов с технологическим процессом получения отливок изделий центробежным литьем

Оборудование и материалы: Лабораторная установка центробежного литья с вертикальной осью вращения, плавильная электропечь сопротивления, стальной тигель, парафин, сплав Вуда, сплав свинца с оловом.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия установки для центробежного литья.

2. Изучить теоретические аспекты процесса получения пространственного изделия в условиях действия на расплавленный материал центробежной силы.

3. Подготовить к работе установку центробежного литья заготовок.

4. Изготовить литые изделия из парафина (воска), сплава Вуда и свинца.

5. Проанализировать влияние свойств расплава на размеры и форму получаемого изделия. Определить давление жидкого металла на форму и оптимальную скорость вращения формы при получении изделий из различных материалов.

Общие сведения

Отличительной особенностью центробежного литья является использование центробежной силы в процессе заполнения и кристаллизации металла в полости литейной формы. Этот способ применяют для получения литых изделий, представляющих собой тела вращения (трубы, втулки, шестерни и т.п.), а также фасонных отливок. Под действием центробежной силы жидкий металл прижимается к внутренней поверхности вращающейся формы, увлекается ею и в таком состоянии затвердевает. Величина центробежной силы, которая действует на металл при вращении формы (Н):

$$P = m\omega^2 r,$$

где m – масса отливки, кг; ω – угловая скорость вращения формы, с^{-1} ; r – расстояние центра тяжести рассматриваемого объема металла от оси вращения формы, м.

При выражении углового ускорения через число оборотов формы в минуту $\omega = 2\pi/60 = \pi/30$ получаем следующую формулу для определения величины центробежной силы:

$$P = (\pi^2 / 900) mn^2 r$$

Положительное влияние центробежной силы сказывается на повышении плотности и механических свойств отливок в результате улучшения условий питания кристаллизующегося сплава и перемещения более легких неметаллических включений (газ, окислы, шлак) к внутренней - поверхности отливки. Кроме того, движение жидкого металла, в процессе кристаллизации способствует измельчению структуры отливки.

Для получения отливок используют центробежные машины с горизонтальной и вертикальной осью вращения формы (рис. 3.1).

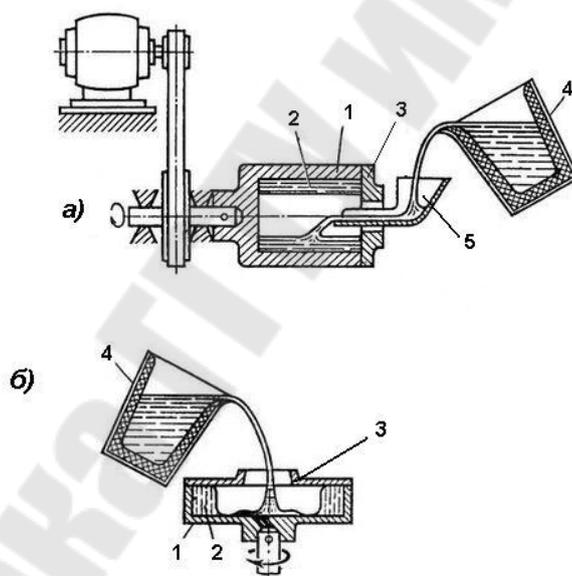


Рис. 3.1. Схемы центробежных машин с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осью вращения формы: 1 – металлическая форма; 2 – жидкий металл (отливка); 3 – крышка формы; 4 – заливочный ковш; 5 – заливочный желоб

Внутренняя поверхность расплава при центробежном литье на машинах с вертикальной осью вращения формы имеет вид параболоида вращения, поэтому отливки получают с различной толщиной по высоте. Это ограничивает область применения машин, их в основном применяют для изготовления отливок, диаметр которых значи-

тельно больше высоты (червячные колеса, венцы, кольца, втулки, вкладыши, шестерни).

Центробежный способ применяется также для получения фасонных отливок, не являющихся телами вращения. В этом случае вертикальная ось вращения формы может не совпадать с геометрической осью отливок. Полости, служащие формами для получаемых отливок, располагаются симметрично по периферии вращающейся планшайбы, а заливка металла производится при помощи радиальных или тангенциальных литников, соединенных с центральным литниковым каналом, совпадающим с осью вращения (рис. 3.2).

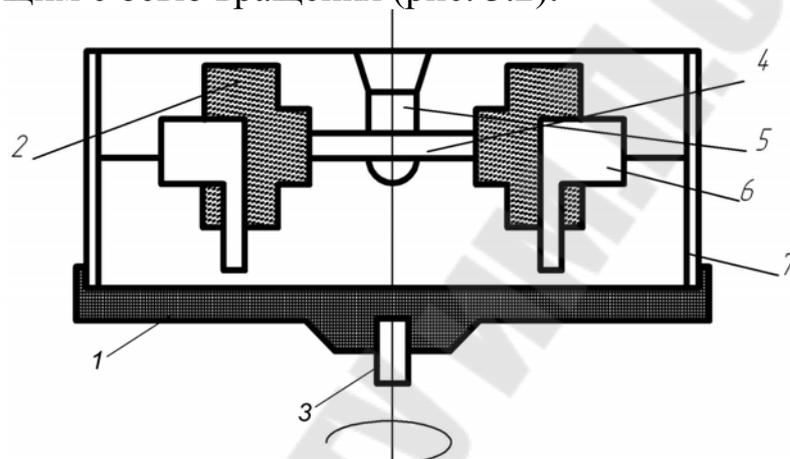


Рис. 3.2. Схемы центробежных машин с вертикальной осью вращения металлической (а) и песчано-глинистой (б) формы:
1 – планшайба; 2 – отливка; 3 – ось центробежной машины;
4 – литники; 5 – центральный литниковый канал;
6 – стержень; 7 – опока.

Получение качественной отливки при центробежном литье во многом зависит от скорости вращения формы. Оптимальную скорость вращения для каждой конкретной отливки определяют по эмпирическим формулам или номограммам. Наиболее надежные, результаты, близкие к практике центробежного литья, дают следующие методы расчета оптимальной скорости вращения формы: по гравитационному коэффициенту и по формуле Л.С. Константинова.

Гравитационный коэффициент K представляет собой отношение центробежной силы к силе тяжести (P/G). Этот коэффициент при центробежном литье на машинах с горизонтальной осью вращения принимают равным 60 - 65, а на машинах с вертикальной осью вращения - 90 - 100. Определение оптимального числа оборотов формы производится расчетным путем по формуле (в оборотах в минуту):

$$n_{opt} = 43.32 \cdot [P / (G \cdot D)]^{1/2} = 42.32(K / D)^{1/2},$$

где P – центробежная сила, Н; G – сила тяжести, Н; D – внутренний диаметр формы или наружный диаметр отливки, м, а также по номограмме (рис. 3.3).

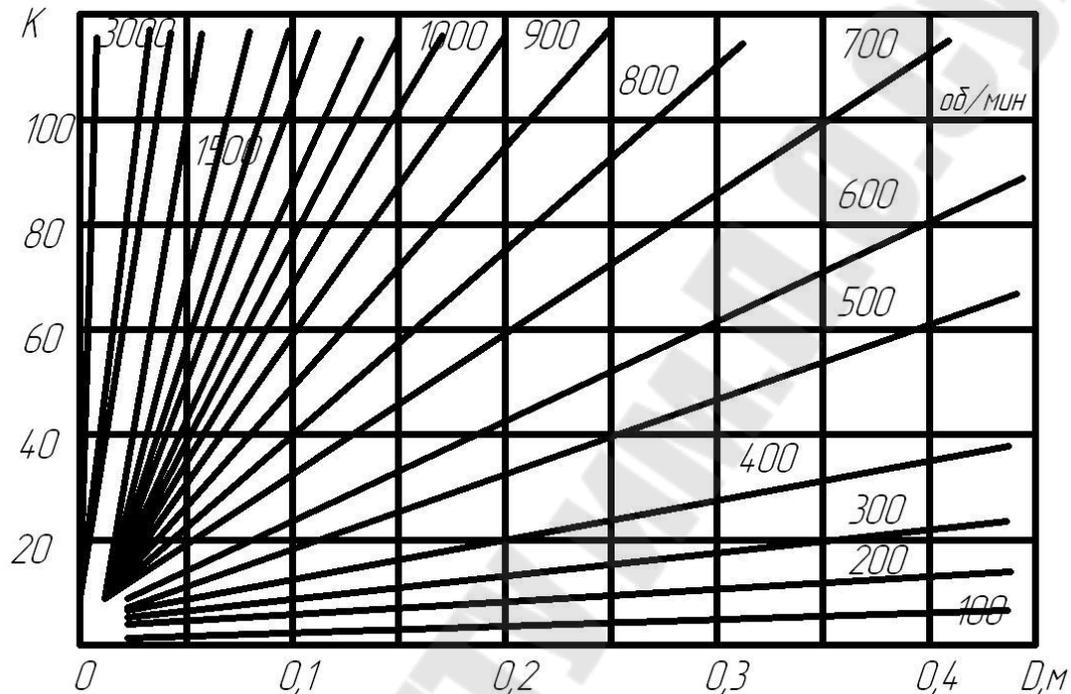


Рис. 3.3 Номограмма для определения числа оборотов формы при центробежном литье

Л.С. Константинов предложил следующую формулу для определения оптимального числа оборотов формы при центробежном литье (обороты в минуту):

$$n_{opt} = 5520 / ((\rho \cdot d / 20)^{1/2}),$$

где ρ – плотность жидкого сплава, кг/м³; d – внутренний (меньший) диаметр отливки, м.

Практическая часть

1. Ознакомиться с устройством и работой лабораторной установки центробежного литья с вертикальной осью вращения формы (обратить особое внимание на надежность крепления крышки к корпусу формы).

2. Нагреть в муфельной печи тигель с парафином до расплавления. Ознакомиться с процессом заливки жидкого материала во вра-

щающуюся форму, и последующим затвердеванием парафина. После выключения установки и охлаждения формы извлечь отливку. Осмотреть ее, осуществить измерение всех размеров (все манипуляции с вращающейся формой и расплавленным материалом осуществляет мастер производственного обучения).

3. Протереть насухо металлическую форму и установить ее на установку. Нагреть в муфельной печи тигель со сплавом Вуда и получить отливку втулки по технологии, описанной в пункте 2 (все манипуляции с вращающейся формой и расплавленным материалом осуществляет мастер производственного обучения).

4. Аналогичным способом получить отливку из свинца.

5. Рассчитать давление жидкого металла на форму с вертикальной осью вращения по уравнению (в МПа)

$$P = 13.71 \cdot 10^{-6} \cdot \rho (n/100)^2 (D^2 - d^2),$$

где ρ – плотность жидкого сплава, кг/м³; n – число оборотов формы, об/мин; D – наружный диаметр отливки, м; d – внутренний диаметр отливки, м.

Расчет давления жидкого металла на стенки формы выполнить при изменении скорости ее вращения в следующих пределах:

n – 1000...2000 об/мин с шагом 100 об/мин;

Остальные величины принять равными:

Плотность парафина ρ - 915 кг/м³;

Плотность сплава Вуда ρ - 9720 кг/м³;

Плотность сплава свинца ρ - 11341 кг/м³;

Внутренние и внешние диаметры отливок d и D (м), определить непосредственным измерением.

6. Определить по формуле Л.С. Константинова

$$n_{opt} = 5520 / ((\rho \cdot d / 20)^{1/2})$$

оптимальное число оборотов формы, при котором может быть получена одинаковая по толщине, гладкая внутри и без дефектов на наружной поверхности отливка.

Расчет оптимального числа оборотов формы выполнить для указанных выше параметров.

7. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Материал отливки	Диаметр отливки, м		Давление жидкого сплава на форму Р, МПа	Число оборотов формы, об/мин	
	наружн.	внутрен.		фактич. $n_{факт}$	оптим. $n_{опт}$
Парафин				1280	
Сплав Вуда				1280	
Сплав свинца с оловом				1280	

Содержание отчета

1. Охарактеризовать сущность технологического процесса получения изделий центробежным литьем.
2. Привести схемы центробежных машин с горизонтальной и вертикальной осями вращения формы.
3. По результатам расчетов выбрать для полученной отливки из металлического и неметаллического сплава давление жидкого металла на форму и оптимальное число оборотов формы. Занести эти значения в табл.3.
4. Провести анализ зависимости давления жидкого металла на форму и оптимального числа оборотов формы от параметров. Объяснить полученные различия в размерах отливок из металлического и неметаллического материалов.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность технологического процесса центробежного литья ?
2. Чему равна центробежная сила, действующая на металл при вращении формы?
3. Что такое гравитационный коэффициент?
4. Какую величину имеет гравитационный коэффициент при центробежном литье на машинах с горизонтальной осью вращения?
5. Какую величину имеет гравитационный коэффициент при центробежном литье на машинах с вертикальной осью вращения?

6. Какая скорость вращения формы при центробежном литье является оптимальной?

7. Как определяется давление жидкого сплава на форму при центробежном литье с горизонтальной осью вращения?

8. Как определяется оптимальное число оборотов при центробежном литье с горизонтальной осью вращения формы?

Литература

1. Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Технология литейного производства. Специальные виды литья. – М. : Машиностроение, 1983. – 287 с.

2. Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литье. – М: Машиностроение, 1972. – 279с.

Лабораторная работа № 4 ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ И ВЫЖИГАЕМЫМ ТОНКОСТЕННЫМ МОДЕЛЯМ

Цель работы: ознакомить студентов с методами изготовления неразъемных литейных форм для получения сложных трехмерных изделий по выплавляемым и выжигаемым тонкостенным моделям.

Оборудование и материалы: модели из неметаллических материалов для получения неразъемных форм; лабораторные бегуны; формовочная смесь на основе кварцевого песка; формовочная смесь на основе быстротвердеющего гипса; неразъемная опока; тигельная электрическая печь; тигель для плавления литейного сплава; алюминиевый литейный.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с принципами изготовления литейных форм по выплавляемым и выжигаемым газифицируемым моделям.

2. Для изготовления литейной формы по выплавляемой модели использовать парафиновую отливку, полученную методом центробежного литья в лабораторной работе № 3. Механическим путем изготовить на наружной поверхности парафиновой заготовки сложнопрофильные канавки имитирующие элементы зацепления (зубья или шлицы). Припаять модели литниковой системы и прибыли. Приготовить формовочную смесь на основе гипса и поместить в нее восковую модель.

Дальнейшие действия с гипсовой формой осуществляются на втором занятии. Процесс отверждения гипсовой формы должен занимать не менее 24 часов.

После отверждения гипсовой смеси выплавить восковый состав нагрев форму в сушильном шкафу до температуры 80°C. Расплавить сплав Вуда и залить его в образованную полость формы.

3. После отверждения расплава разрушить гипсовую форму и извлечь полученное изделие.

4. Для получения формы по выжигаемой напечатанной модели использовать напечатанную на 3-D принтере модель с литниковой системой и прибылями.

5. Изготовить огнеупорную оболочку путем окунания модельного блока в гипсоводинасовую смесь.

6. Высушить оболочку. Дальнейшие действия с гипсовой формой осуществляются на втором занятии. Процесс отверждения гипсовой формы должен занимать не менее 24 часов.

7. Установить оболочку в металлическую опоку и засыпать с внешней стороны кварцевым песком. Прокалить форму в тигельной печи при температуре не ниже 600°C в течение 20 минут. Залить в полость формы расплавленный металл.

9. Залитые формы охлаждают в течение 20–30 мин и разрушают. После чего выбивают и очищают полученные изделия. Поверхность отливок зачищают от остатков смеси, отрезают ножовкой литниковую систему, зачищают напильником остатки питателей.

Общие сведения

Классическая технология изготовления трехмерных изделий литьем по выплавляемым моделям предполагает изготовление модели из воскообразных материалов (наиболее распространенный модельный материал). Модели отдельных деталей komponуют в блоки с единой литниковой системой. Традиционный способ изготовления формы заключается в приготвлении суспензии, состоящей из кремнийсодержащего жидкого связующего этилсиликата (жидкое стекло) и пылевидного огнеупорного материала. В суспензию опускают блок моделей, затем извлекают, и полученный слой суспензии обсыпают зернистым огнеупорным материалом (кварцевым песком). Обсыпанный слой суспензии отверждается на воздухе или в парах аммиака. Число слоев определяется массой блока и габаритными размерами моделей и колеблется от 3 до 20. После отверждения последнего слоя из формы нагревом выплавляют модельный состав (эта операция дала название процессу), форму прокаливают при температуре 800–1000 °C и заливают металлом. Перед прокаливанием оболочковую форму обычно формуют в опоках сухим огнеупорным песком. После затвердевания отливки отделяют от литниковой системы, очищают в кипящем щелочном растворе и термически обрабатывают. Технологический процесс литья по выплавляемым моделям – самый сложный из всех существующих способов литья. Он включает много переделов, различные материалы (твердые, жидкие, газообразные). В этом, процессе используются кислоты, щелочи, поверхностно-активные вещества, органические растворители, масла и многие другие вещества. Одна часть технологических операций проводится последовательно, а другая – параллельно. Общая длительность процесса, начиная со стадии изготов-

ления моделей и до отправления отливок в механообрабатывающие цехи, сократились до 10–12 ч.

Особенности процесса:

- использование одноразовой удаляемой модели;
- модель не имеет разъема и знаковых частей для стержней;
- формовочной смесью является жидкоподвижная суспензия;
- связующий материал (в большинстве случаев) готовится в литейном цехе путем проведения химической реакции
- гидролиза этилсиликата;
- оболочковая форма состоит из нескольких слоев и не имеет разъема;
- форма термостойка, имеет чистую гладкую поверхность и высокую точность;
- металл заливается в негасотворную газопроницаемую инертную раскаленную форму.

Преимущества процесса:

- повышенная точность геометрических и весовых параметров и низкая шероховатость поверхности отливок;
- минимальные припуски на механическую обработку, а иногда их отсутствие;
- получение отливок практически любой степени сложности из любых сплавов, любых габаритных размеров и массы;
- малые термические напряжения в отливках;
- получение отливок с заданной структурой, вплоть до монокристаллической.

Недостатки процесса:

- сложность технологического процесса из-за множества межоперационных переделов;
- проведение в литейном цехе несвойственных литейщикам операций (изготовление разовых моделей, реакция гидролиза);
- длительность, трудоемкость и энергоемкость процесса;
- высокая себестоимость процесса и повышенный брак отливок.

Область применения процесса:

- заготовки, требующие большого объема механической обработки;
- заготовки из труднообрабатываемых сплавов;
- узлы деталей, скомпонованные из отдельных частей;
- зубопротезное и ювелирное производство;
- художественное литье.

Последовательность выполнения технологического процесса.

Технология получения отливок литьем по выплавляемым моделям включает следующие этапы: изготовление разъемных пресс-форм; получение неразъемных легкоплавких моделей в пресс-формах; изготовление неразъемной разовой формы по легкоплавким моделям; выплавление моделей из формы; обжиг формы; заливка формы металлом и выбивка готовых отливок. Разъемные пресс-формы изготавливают из стали или алюминиевых сплавов. Полость пресс-формы точно повторяет конфигурацию и размеры будущей детали с учетом усадки модельного состава. Неразъемные легкоплавкие модели получают запрессовкой в прессформу модельного состава, нагретого до тестообразного состояния. Для его изготовления широко используют легкоплавкие материалы: парафин, стеарин, воск, церезин, канифоль и др.

С развитием современных технологий трехмерной печати для изготовления модельного комплекта все чаще используются 3D-принтеры. Они также могут изготавливать модели из традиционных воскообразных материалов. Но наиболее технологичным вариантом является печать моделей из полимерных материалов, обладающих низкой зольностью. Например - полилактида (PLA), акрилонитрил бутадиен стирола (ABS) и других полимерных материалов. В случае применения тонкостенных напечатанных моделей процесс нагрева затвердевшей гипсовой оболочки сопровождается размягчением, расплавлением и в конечном итоге сгоранием полимера. Именно поэтому изготовление форм по напечатанным моделям зачастую называют литьем по выжигаемым 3D моделям. Модель является точной копией изготавливаемой детали: она неразъемна, имеет все внутренние полости, отверстия, резьбу и не имеет стержневых знаков.

На рис. 4.1 приведен чертеж отливаемой детали (рис. 4.1, *а*) и неразъемной *восковой* модели (рис. 4.1, *б*), отличающейся от нее наличием питателя. Модели питателями «припаивают» к общему легкоплавкому стояку 2 и в результате получают блок моделей (рис. 4.1, *в*). Модели из полимерных материалов как правило печатают вместе с литниковой системой, что позволяет изготовить сразу весь модельный блок за одну технологическую операцию.

Чтобы изготовить литейную форму, готовый блок моделей окунают в огнеупорную смесь, представляющую собой суспензию маршалита (60–70 %) в гидролизованном этилсиликате (30–40 %). После окунаний на моделях, питателях и стояке остается тонкая огнеупор-

ная пленка смеси 3 (рис. 4.1, г). Эта же смесь заполняет все полости и отверстия в моделях, образуя стержни. Для упрочнения огнеупорной пленки блок моделей посыпают мелким сухим кварцевым песком 4. Прилипая к сырой пленке, песок образует огнеупорный слой, который сушат либо на воздухе, либо помещая блок моделей в аммиачную камеру для ускоренной химической сушки. Когда слой высыхает, операции окунания, посыпания песком и сушки повторяют от 3 до 5 раз. После сушки последнего огнеупорного слоя получают форму в виде многослойной оболочки с заформованными легкоплавкими моделями. Форму помещают в сушильный шкаф и выдерживают при температуре более 100 °С или погружают в горячую воду. Модели и элементы литниковой системы (стояк и питатели) плавятся и вытекают из формы. Для выжигания остатков модельного состава из полости, а также для упрочнения оболочки полученную литейную форму в металлическом ящике 5 (рис. 4.1, д) засыпают металлической дробью и помещают в термическую печь, где обжигают при температуре 800–900 °С.

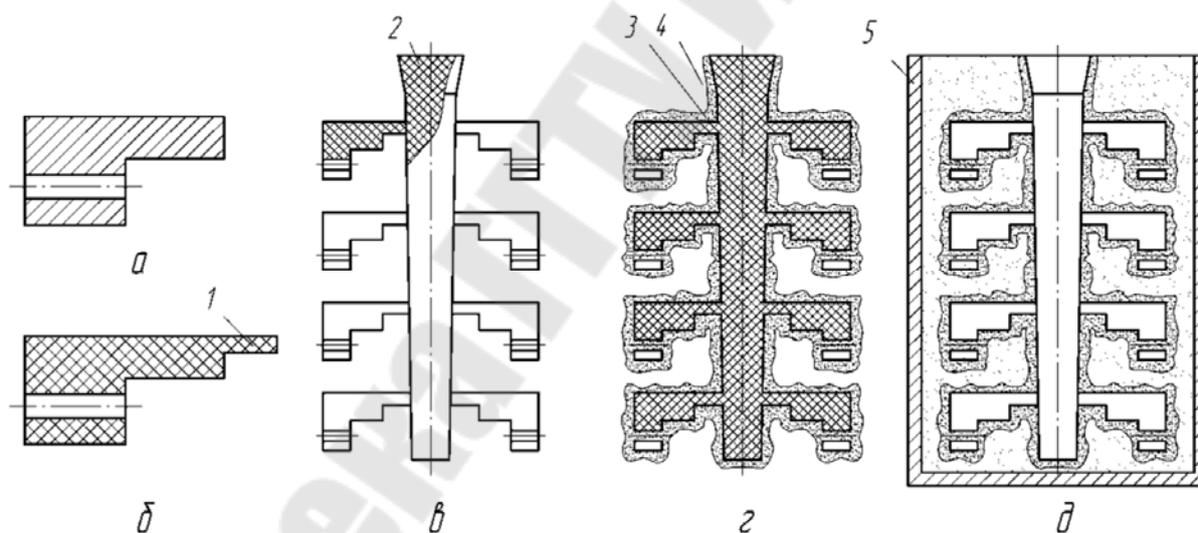


Рис. 4.1. Технологическая последовательность процесса литья по выплавляемым моделям

В настоящее время все большее применение в качестве модельных составов находят смеси быстрого отверждения на основе гипса. Они не требуют многократного окунания модельного блока и его сушки. Вся процедура осуществляется за один переход. При этом гипсовая масса занимает весь свободный объем опоки и выполняет дополнительную роль поддерживающего материала.

Заливку металла производят в горячую форму, что дает возможность получать тонкостенные сложной конфигурации отливки. Выбивку отливок и отделение литников осуществляют на виброустановках.

Практическая часть

Осуществить изготовление форм по выплавляемым и выжигаемым моделям в соответствии с порядком выполнения работы. Провести визуальный осмотр поверхности отливок полученных двумя разными способами и оценить наличие дефектов.

Содержание отчета

Отчет должен содержать формулировку цели работы, этапы выполнения технологии изготовления отливки, анализ качества отливки и рекомендации по его улучшению.

Контрольные вопросы

1. Какое развитие получил способ литья по выплавляемым моделям в литейном производстве?
2. Какие требования предъявляются к отливкам, изготовляемым литьем по выплавляемым моделям?
3. Чем отличается литье по выплавляемым моделям от литья, получаемого в песчаные формы по качеству металла, точности размеров и чистоте поверхности?
4. Какое оборудование применяется для сушки огнеупорного покрытия?
5. Какие требования предъявляются к материалам, используемым при литье по выплавляемым и выжигаемым моделям?

Лабораторная работа № 5 ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ И ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Цель работы: изучить технологический процесс получения сложнопрофильных отливок в металлических многоразовых и однократно используемых формах полученных по газифицируемым моделям.

Оборудование и материалы: заливаемый сплав – силумин (сплав алюминия с кремнием), формовочная смесь, тигель для жидкого металла, кокиль – металлическая литейная форма, газифицируемая модель (пенополистироловая), муфельная печь для получения расплава.

Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с методами литья: в металлические формы (кокили) и по газифицируемым моделям.
2. Получить отливки образцов для механических испытаний.
3. Провести сравнительный анализ свойств образцов, полученных литьем в кокиль и литьем по газифицируемым моделям.

Основные положения

1. Литье в металлическую форму (кокиль)

Кокиль – металлическая литейная форма, которая обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла и формирования отливки. Кокиль изготавливают из чугуна, стали и других сплавов.

Способ литья в кокиль имеет преимущества перед литьем в песчаные формы. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от заливаемого в них сплава: чем ниже температура заливаемого сплава, тем больше их стойкость. При этом способе исключается применение формовочной смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок с высокими механическими свойствами. Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров с небольшими припусками на механическую обработку. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

К недостаткам этого способа литья относится высокая трудоемкость изготовления и стоимость кокилей.

Существует опасность образования внутренних напряжений в отливке из-за отсутствия податливости металлической формы. В поверхностном слое кокильных чугунных отливок образуется структура цементита, что затрудняет их механическую обработку, поэтому необходима термическая обработка (отжиг) отливок.

В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 6 % стальных отливок, 11 % чугунных отливок. Этот способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производстве.

В зависимости от конфигурации и размеров отливки металлические формы делятся на неразъемные и разъемные.

В **неразъемных формах** вся отливка целиком получается в одной форме (типа чашки). На рисунке 1 изображена неразъемная вытряхиваемая форма. Ее применяют для получения простых отливок, имеющих достаточные уклоны на боковых стенках (плиты, коробки и т. п.).

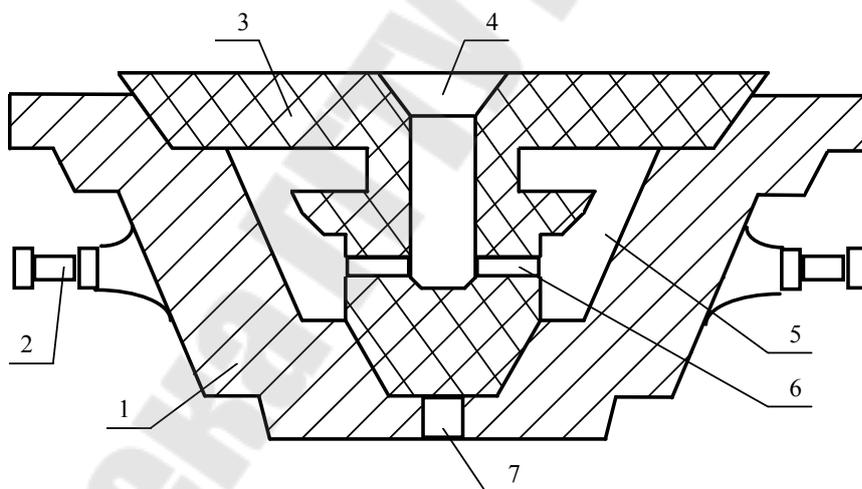


Рис. 5.1. Вытряхиваемая неразъемная форма:

- 1 – корпус формы, 2 – цапфа для поворота формы при выбивке отливки,
- 3 – керамический одноразовый стержень, 4 – литниковая чаша со стояком,
- 5 – полость формы, 6 – питатели, 7 – вентиляционный канал

Внутреннюю и внешнюю поверхности отливки в неразъемном кокиле формируют при помощи стержней. Литниковая система делается внутри стержня. Такие металлические формы обычно закрепляются при помощи цапфы на специальных стойках. После заливки производится поворот формы на 180° и удаляется (вытряхивается) отливка вместе со стержнем.

Разъемные формы состоят из двух или более частей и, в свою очередь, разделяются на формы с горизонтальной, вертикальной и комбинированной плоскостями разъема (см. рис. 5.2 и 5.3).

Металлическую форму с горизонтальным разъемом (рис. 5.2) применяют для таких же отливок, как и в неразъемной форме, но с более сложной верхней поверхностью, образуемой рабочей частью верхней половины формы.

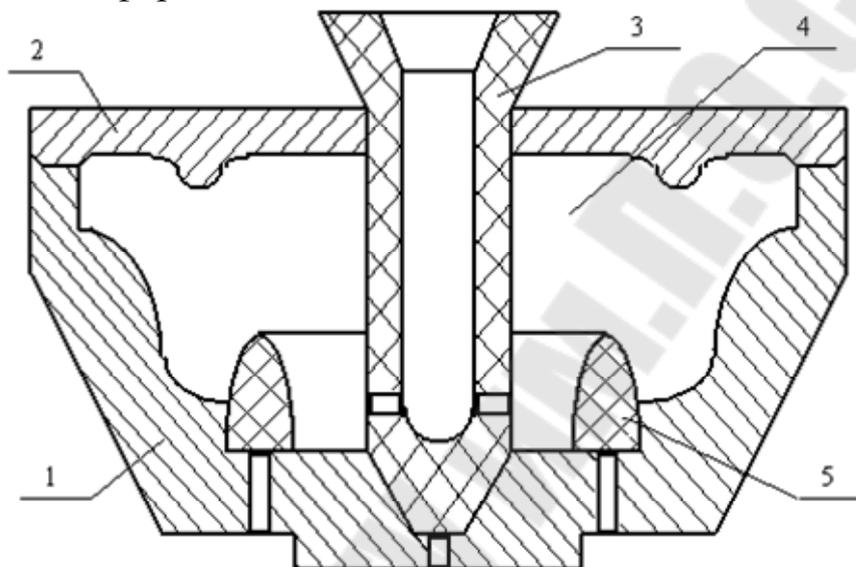


Рис. 5.2. Кокиль с горизонтальным разъемом:

- 1 – нижняя часть формы, 2 – верхняя часть формы, 3 – центральный керамический стержень, 4 – полость формы, 5 – нижний кольцевой стержень

Металлические формы с вертикальным разъемом (рис. 5.3) применяют для изготовления более разнообразных и сложных отливок (корпусные детали, литые блоки цилиндров автомобильных двигателей, крупные поршни, крышки с массивными фланцами и т. д.). Металлические формы с комбинированным разъемом применяют для отливки сложных по конфигурации деталей. Внутреннюю конфигурацию и отверстия в отливках получают с помощью стержней, керамических (изготовленных из песка со связующим) или металлических. Керамические песчаные стержни применяют для отливок из стали и чугуна. Они обладают повышенной податливостью, газопроницаемостью и огнеупорностью. Однако чистота внутренней поверхности отливок хуже, чем при применении металлических стержней

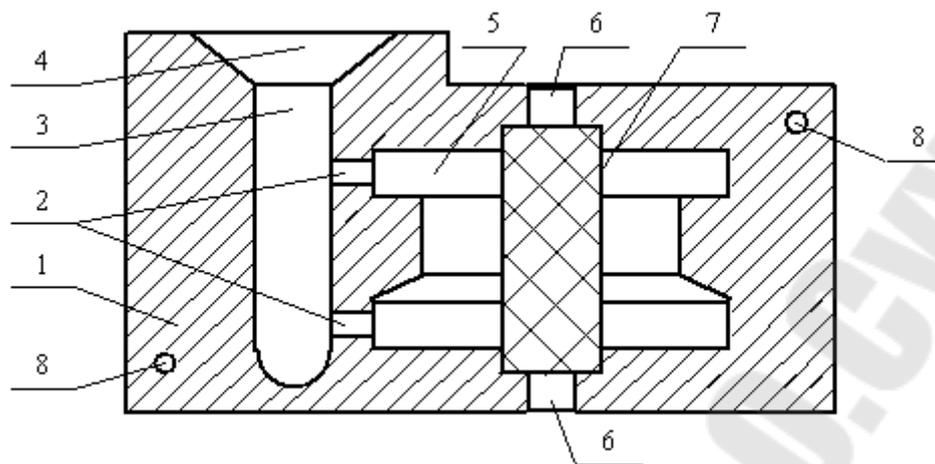


Рис. 5.3. Металлическая форма с вертикальным разъемом, с песчаным стержнем:

- 1 – левая половина формы, 2 – каналы-питатели,
- 3 – стояк литниковой системы, 4 – литниковая воронка,
- 5 – полость формы, 6 – вентиляционные каналы,
- 7 – керамический стержень, 8 – центрирующие отверстия

Металлические стержни применяют для сплавов с низкой температурой плавления, таких как алюминиевые, магниевые и др. Металлические стержни, не обеспечивающие свободной усадки отливки при охлаждении, обычно удаляются из отливки сразу после затвердевания, т. е. перед выбивкой всей отливки из формы. Для удаления газов из кокиля по линии разъема изготавливают газовые каналы и выпоры. Газовые каналы делают обычно глубиной 0,2-0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав, но легко удаляются газы.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования упроченного слоя на их поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их готовят из одного или нескольких огнеупорных материалов (кварцевой пыли, молотого шамота, графита, мела, талька и др.) и связующего материала (жидкого стекла, сульфидного щелока и др.).

Механизировать и автоматизировать процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины – однопозиционные и карусельные. В этих машинах автоматизируют следующие технологические операции: открывания и закрывания кокилей, установку и удаление металлических стержней и выталкивание отливки из кокиля (рис. 5.4).

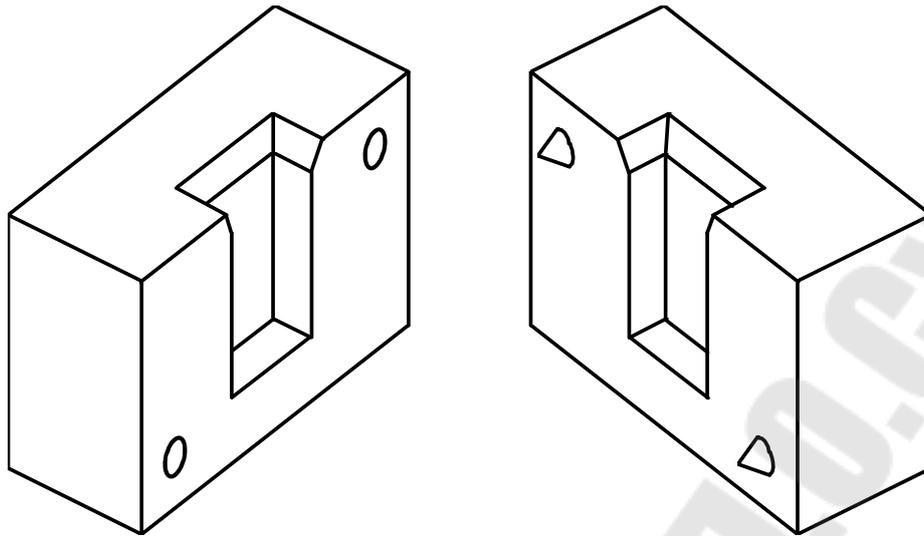


Рис. 5.4. Металлическая форма для изготовления испытуемого образца

В металлических формах получают отливки чугуны от 10 г до 15 т, стальные от 0,5 г до 5 т и из цветных металлов (медных, алюминиевых, магниевых) от 4 г до 400 кг.

2. Литье по газифицируемым моделям

Очень часто возникает необходимость в разовых, единичных отливках тех или иных деталей. В этих случаях по традиционной технологии приходится предварительно делать деревянные модели для получения наружного отпечатка в литейной форме и стержневые ящики для образования внутренних полостей отливки. Трудоемкость изготовления модельных комплектов в три – пять раз превышает трудоемкость изготовления самой отливки. Для ее уменьшения и снижения себестоимости разовых отливок новаторы судостроительной верфи г. Николаева (Украина) предложили делать модели не из дерева, а из пенополистирола, который газифицируется (мгновенно и практически без золы сгорает) в контакте с расплавленным металлом. В последние годы использование пенополистирола в качестве модельного материала получает все большее распространение. Использование пенополистирола (пенопласта) обеспечивает возможность получения различных отливок в неразъемных формах без извлечения модельных комплектов из форм, без формовочных уклонов и с минимальными припусками на механическую обработку (рис. 5).

Пенополистирол – материал легко формирующийся, а это значит, что из него можно изготовить модели сложной конфигурации.

В массовом производстве для изготовления моделей применяется бисерный пенополистирол в виде гранул, в замкнутых ячейках которых содержится порошкообразный наполнитель (легкоплавкий компонент) с объемной массой 0,015-0,025 г/см³. Пенополистирол с большим удельным весом не содержит нужного количества воздуха, необходимого для его сжигания, такой пенополистирол лишь расплавляется, не сгорая, тем самым заполняет часть формы и приводит к браку при отливке детали. Пенополистирол с меньшим удельным весом при формовке деформируется, что приводит к искажению формы и размеров отливки.

Применение пенополистироловых моделей сокращает трудоемкость формовочных работ на 80 %, объем обрубных и зачистных работ на 70 %. Достоинство пенополистироловых моделей – их способность не усыхать и не набухать от влаги. Это исключает коробление при транспортировке и, особенно, хранении. При отливке деталей сложной конфигурации внешних и внутренних обводов, модель может быть изготовлена частями, которые собираются во время формовки (рис. 5.5, 5.6).

К недостаткам литья по газифицируемым моделям нужно отнести, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с определенной скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведет к образованию газовых пор в отливках, уменьшающих их прочность.

Другим существенным недостатком пенопластовой модели является потеря точности при уплотнении формовочной смеси из-за податливости пенополистирола. Решить эту проблему можно с помощью электромагнитного поля и замены формовочной смеси железными опилками.

На дно опоки, вставленной внутрь соленоида, присоединенного к сети переменного тока, насыпают слой железного порошка, ставят на него пенопластовую модель с литниковой системой и засыпают ее доверху тем же железным порошком (опилками), затем включают ток, превращающий железный порошок в монолит, и заливают расплавленный металл, мгновенно сжигающий пенопласт. Как только отливка чуть затвердеет, ток выключают, и форма вновь становится порошком.

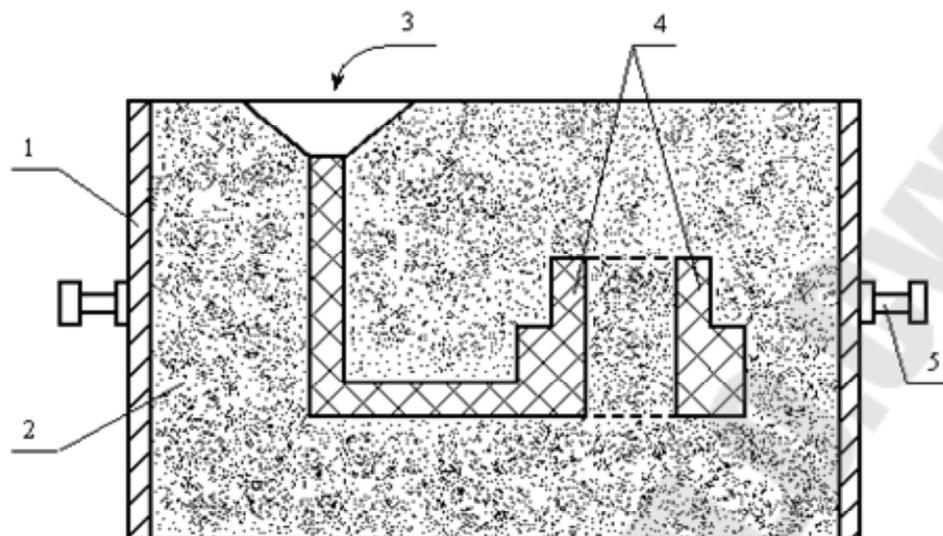


Рис. 5.5. Неразъемная форма с пенополистироловой моделью:
 1 – опока, 2 – формовочная смесь, 3 – расплавленный сплав,
 4 – модель из пенополистирола (пенопласта), 5 – цапфы

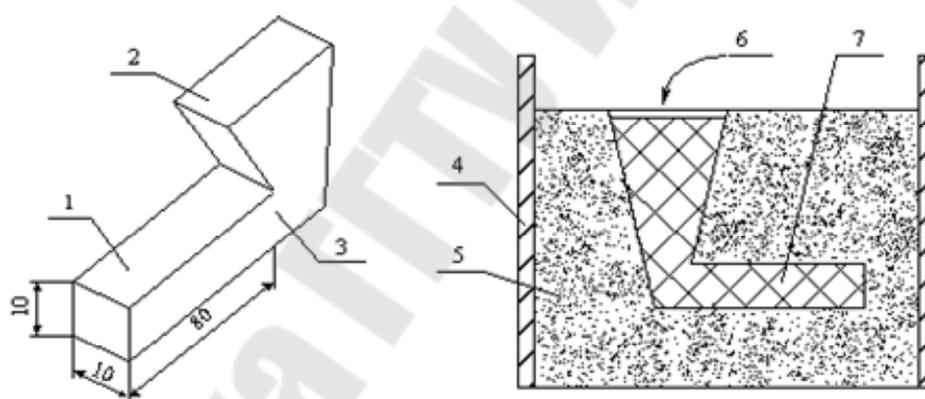


Рис. 5.6. Пенополистироловая модель для изготовления
 испытуемого образца и ее расположение в опоке:
 1, 7 – пенополистироловая модель, 2 – литниковая система,
 3 – линия отрезки литниковой системы от детали, 4 – опока,
 5 – формовочная смесь, 6 – заливка расплавленного металла

На установке успешно отливались магниевые блоки для автомобильных двигателей, причем качество не уступало кокильному литью. Отсутствие дорогостоящих кокилей, простота и универсальность магнитных форм с использованием газифицируемых моделей позволили снизить себестоимость продукции ровно вдвое.

Практическая часть

1. Подготовить кокиль под заливку. Для этого необходимо зачистить внутреннюю полость кокиля от пригаров, окалины и старой огнеупорной смазки, а затем смазать полость кокиля огнеупорной смазкой. Собрать половинки кокиля и прогреть до 100-300 °С.

2. Подготовить формовочную смесь для формовки. Для этого ее необходимо разрыхлить, удалить металлические включения в виде капель и приливов. Формовочная смесь должна быть совершенно сухой.

3. Заформовать пенопластовые модели в формовочную смесь.

4. Проследить за заливкой металла, выполняемой мастером производственного обучения, и за остыванием отливок, засекая время по секундомерам.

5. Затвердевшие и охлажденные до комнатной температуры образцы подвергнуть испытанию на ударную вязкость с помощью маятникового копра и результаты свести в таблицу. Объясните причины различия результатов испытаний ударной вязкости.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Материалы и оборудование.

3. Описать (кратко) способы литья в кокиль и по газифицируемым моделям (обязательно включить в отчет рис. 4, 6).

4. Определить ударную вязкость отлитых образцов по формуле $KC = \frac{A}{S}$; где

A – работа, затраченная на излом образца [Дж];

S – площадь поперечного сечения образца [м²].

5. Описать ход экспериментальной части и результаты эксперимента с пояснениями, анализом и выводами. Объяснить, почему отливки имеют разную макроструктуру, ударную вязкость и качество поверхности.

6. Краткий вывод по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Что такое кокиль и для чего он предназначен?

2. Какие преимущества у литья в кокиль по сравнению с литьем в песчаные формы?

3. Какие недостатки имеет литье в кокиль?
4. Назовите область применения кокильного литья.
5. Какими бывают металлические формы в зависимости от конфигурации и размеров отливки?
6. В каких формах вся отливка целиком получается в одной форме (типа чашки)?
7. Для чего нужны цапфы?
8. Какие виды разъемных форм вы знаете?
9. Для изготовления каких отливок применяют металлические формы с горизонтальным разъемом?
10. Для изготовления каких отливок применяют кокили с вертикальным разъемом?
11. Что такое стержень, и для чего он служит?
12. Какие виды стержней вы знаете, и для чего они применяются?
13. Что такое газовые каналы и выпоры, и для чего они применяются?
14. Что такое теплоизоляционные покрытия, из чего они состоят и для чего служат?
15. Что такое газифицируемая модель?
16. Каковы преимущества литья по газифицируемым моделям в сравнении с литьем в песчаные формы?
17. Каковы недостатки литья по газифицируемым моделям в сравнении с литьем в песчаные формы?
18. Какой плотности пенополистирол применяется при изготовлении газифицируемых моделей?
19. Что произойдет, если плотность пенополистирола будет больше или меньше, чем необходимо для нормального процесса литья?
20. Перечислите пути повышения производительности труда при использовании методов литья в кокиль и по газифицируемым моделям.

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Цель работы: изучить технологический процесс изготовления стержней для однократного использования в литейных формах, выявить влияние вида связующего вещества на прочностные свойства стержней.

Оборудование и материалы: стержневые ящики для изготовления стержней по нагреваемой технологической оснастке, сушильный шкаф, стержневые смеси, полимерное связующее и жидкое стекло, пресс лабораторный.

Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с методами изготовления стержней
2. Изготовить стержни с использованием в качестве связующего компонента жидкого стекла и полимерной смолы. Тщательно утрамбовать стержневую смесь в ячейках ящиков. Извлечь сырые стержневые заготовки и провести их испытания на сжатие.
3. Повторно набить стержневой смесью ячейки ящиков (Осуществить под руководством мастера производственного обучения к окончанию первой пары).
4. Извлечь высушенные стержни из стержневых ящиков (осуществляется на второй паре).
5. Провести сравнительный сравнительные испытания стержней на прочность при сжатии.

Основные положения

Технологические процессы изготовления стержней делят на две группы. Первая группа включает в себя традиционные процессы, давно применяемые в литейных цехах. Они характеризуются отверждением стержней вне оснастки, как правило, с помощью тепловой сушки. Первоначальная прочность стержней достигается повышенной сырой прочностью стержневых смесей, высокой степенью уплотнения стержней, а также применением металлических каркасов.

Вторая группа процессов обеспечивает отверждение стержней непосредственно в оснастке в основном за счет химического или физикохимического упрочнения материалов, входящих в состав стержневых смесей. К этой группе относятся процессы, основанные на ис-

пользовании самотвердеющих смесей или смесей, твердеющих при продувке газом-отвердителем в нагреваемой оснастке, а также процессы, основанные на использовании стержневых смесей, затвердевающих под воздействием теплоты нагреваемой оснастки. В последнем случае отверждение смеси происходит за счет ее нагрева вместе с оснасткой (ящиком).

Технологические процессы изготовления стержней в холодной оснастке делят на две группы. К первой группе относят процессы с использованием самотвердеющих смесей, а ко второй – процессы, основанные на отверждении смеси в оснастке при их продувке. Процессы с использованием самотвердеющих смесей подразделяют на процессы изготовления стержней из сыпучих смесей с нормальной и повышенной скоростями самозатвердевания, а также на процессы изготовления стержней из ЖСС.

В современных процессах изготовления стержней используют широкую гамму связующих материалов, отличающихся как по химической номенклатуре, так и по механизму действия, кроме того, применяемые технологии можно разделить по типу материалов, организационно-техническим решениям и набору оборудования (в зависимости от вида сплава, массы и размера отливки, серийности производства и объемов выпуска отливок в год).

Для извлечения стержня из разъемного ящика последний устанавливают на сушильную плиту открытой знаковой частью вниз. Затем половинки разъемного ящика раздвигают в стороны параллельно плоскости сушильной плиты. Высокие (длинные) стержни с малыми знаками, которые не могут быть устойчиво установлены на сушильной плите знаковыми частями или могут деформироваться и разрушиться под собственным весом, извлекают из ящика в горизонтальном положении. При этом сначала снимают верхнюю половину ящика, а вместо него на нижнюю половину ящика устанавливают фасонную сушильную плиту. Затем нижнюю половину ящика кантуют вместе с плитой и стержнем.

Первичную отделку стержня проводят сразу после извлечения из ящика. Исправляют поврежденные, уплотняют недоуплотненные места, укрепляют выступающие части стержня стальными шпильками через каждые 25-40 мм, открывают доступ к вескам и делают дополнительные вентиляционные каналы. При необходимости на рабочую часть стержня наносят противопопригарное покрытие. Сушат стержни вне оснастки. При этом происходит не только их обезвоживание (соб-

ственно сушка), но и плавление и затвердевание или окисление и полимеризация связующих. Все эти процессы направлены на повышение рабочих свойств стержня. Вследствие удаления влаги происходит упрочнение стержней из смесей на водных связующих материалах. Масла и продукты их переработки окисляются и полимеризуются, природные смолы и пеки минерального происхождения расплавляются и, затвердевая, также повышают прочность стержней. Параллельно с упрочнением стержней улучшаются их податливость и выбиваемость, растет газопроницаемость (рис. 6.1).

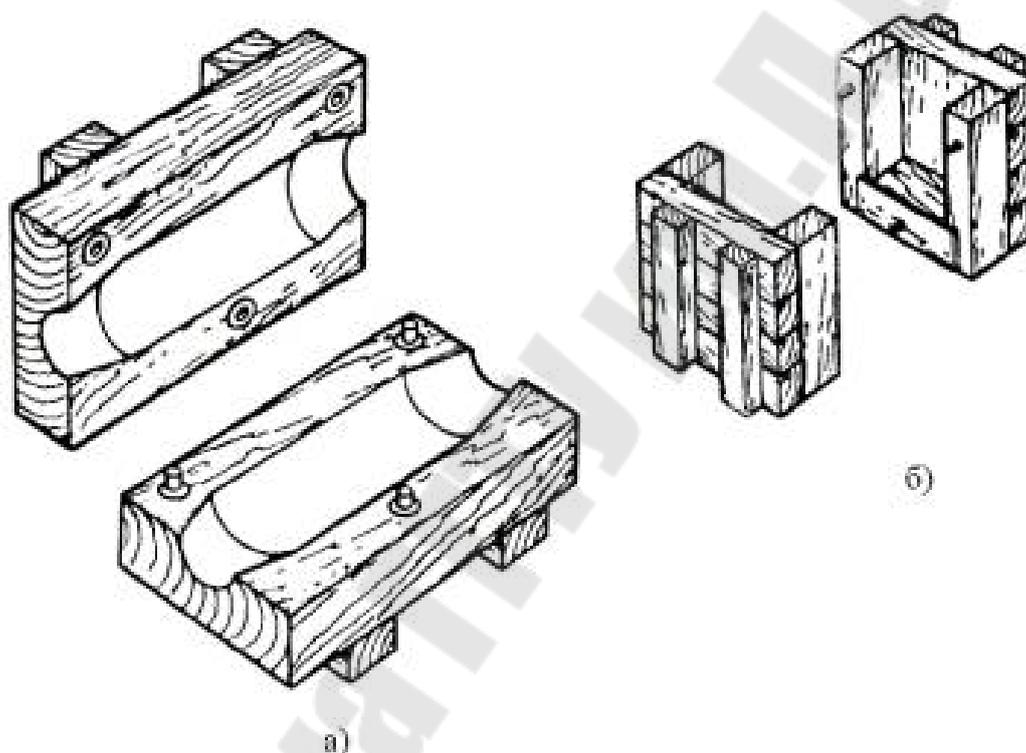


Рис. 6.1. Стержневые ящики с горизонтальным (а) и вертикальным (б) разъемом

Процесс сушки включает три этапа: нагрев, выдержку при заданной температуре и охлаждение. Первый этап осуществляют путем медленного нагрева до заданной температуры при повышенной влажности печной атмосферы. Это обеспечивает более быстрый прогрев стержня и предотвращает чрезмерное высыхание его поверхностных слоев и образование трещин. Второй этап сушки проводят в атмосфере топочных газов с низкой влажностью. Температура сушки определяется природой связующего, а длительность – толщиной стенок стержней (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Режимы сушки стержней

Связующие	Температура сушки, °С	Продолжительность сушки, ч., при толщине стенки стержня, мм		
		до 100	100-200	более 200
Органические	160-240	0,75-1,500	1,50-3,00	3,00-7,00
Глина	300-350	1,00-2,00	2,00-5,00	5,00-24,00
Жидкое стекло	200-250	0,75-1,00	1,00-2,00	2,00-5,00
Синтетические смолы	300-350	0,30-0,75	0,75-1,5	

На этапе охлаждения стержней завершаются процессы, обеспечивающие повышение прочности, газопроницаемости и других свойств. Технологический процесс изготовления стержней заканчивается окончательной их отделкой и контролем. Дефекты на сухих стержнях заделывают замазкой, пригароопасные места натирают противопригарной пастой, при необходимости отдельные части склеивают или собирают в блоки. Геометрию и размеры стержней контролируют с помощью шаблонов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Описать (кратко) способы изготовления стержней, их технологические преимущества и недостатки.
4. Описать ход экспериментальной части. Внести результаты экспериментов в таблицу.

Таблица 6.2

Результаты испытания стержневых смесей при сжатии

Контролируемые показатели	Вид связующего стержневой смеси	
	Жидкое стекло	Полимерное связующее
Давление при разрушении стержня до сушки, МПа		
Давление при разрушении стержня после сушки, МПа		

5. Сделать краткий вывод по результатам экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение стержней? Какие требования к ним предъявляют?
2. Назовите элементы стержня. Каково их назначение?
3. Какие технологические операции включает процесс изготовления стержней?
4. В чем особенности конструкции разъемных и вытряхных стержневых ящиков?
5. Какими способами уплотняют смесь в стержневых ящиках?
6. Как получают стержни в вытряхных стержневых ящиках?
7. Режимы сушки. Что это такое?

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы: ознакомить студентов со свойствами стержневых смесей, изготовленных на различных видах связующего компонента

Оборудование и материалы: стержневые ящики для изготовления стержней по нагреваемой технологической оснастке, сушильный шкаф, стержневые смеси, полимерное связующее и жидкое стекло, пресс лабораторный, печь лабораторная камерная, пресс гидравлический.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с видами связующих компонентов стержневых смесей.
2. Изучить процессы изготовления стержней по нагреваемой и холодной технологической оснастке.
3. Произвести опытные партии стержней с жидкостекольным и органическим (смоляным наполнителем).
4. Изучить влияние нагрева на прочностные характеристики стержневых смесей.

Общие сведения

К стержневым смесям предъявляют более высокие требования, чем к формовочным по прочности, податливости, газопроницаемости и огнеупорности. Приготавливают стержневые смеси в основном из свежих формовочных материалов и только иногда с использованием небольшого количества оборотной смеси. В такие смеси вводят от 2 до 7% связующих и добавок.

В современном литейном производстве помимо песчано-глинистых смесей используют химически твердеющие смеси на жидком стекле (СО₂-процесс), различные самотвердеющие смеси (ЖСС и ХТС) и смеси для получения стержней в нагреваемых ящиках.

Для приготовления *жидкоподвижных самотвердеющих смесей* (ЖСС) используют сухой кварцевый песок, а в качестве связующих применяют жидкое стекло, портландцемент, глиноземный цемент, синтетические смолы и др. Добавкой, которая приводит к отверждению и самоупрочнению смеси, служит шлак феррохромового производства и другие материалы.

Текучесть ЖСС обеспечивается введением в них поверхностно-активных веществ (контакта Петрова, ДС-РАС и др.), а также за счет интенсивного перемешивания смеси, сопровождающегося образованием мелких пузырьков воздуха и устойчивой пены. Приготовленные для использования ЖСС обладают в течение 8—12 мин способностью течь и заполнять стержневой ящик (или опоку) без уплотнения. По истечении указанного времени смесь теряет «живучесть» и необратимо отверждается до состояния, когда от нее можно отделить стержневой ящик без разрушения стержня. Прочность смесей при 90-минутной выдержке на воздухе достигает 2—4 кгс/см² и с увеличением выдержки повышается.

Основным достоинством жидкостекольных смесей является их высокая огнестойкость – до 2000°С. К недостаткам следует отнести трудность повторного использования из-за отсутствия в настоящее время рентабельных технологических процессов регенерации смеси. Отработанные смеси приходится захоранивать на полигонах технологических отходов.

Для изготовления стержней и форм широко применяют смеси на основе органических смол. Такие смеси затвердевают при нагреве или под воздействием кислот при нормальной температуре. Стержни из смесей на основе органических смол имеют высокую прочность, но при взаимодействии с расплавом связующая пленка, образованная вокруг каждой частицы песка, разлагается. При этом стержень разрушается и легко удаляется из отливки.

На способности органических смол затвердевать под воздействием кислот основан процесс изготовления стержней и форм из холоднотвердеющих смесей (ХТС) с использованием деревянной, металлической, пластмассовой и другой оснастки. Смесей применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства отливок, а при наличии специализированного оборудования могут применяться в условиях крупносерийного производства. ХТС на синтетических смолах состоят из наполнителя, связующего и отвердителя.

Связующими для ХТС являются фурилофенолоформальдегидная ФФ-1СМ, фенолоформальдегидная ОФ-1, карбамидно-фурановая КФ-90, мочевиноформальдегидные УКС и М-19-62 и другие синтетические смолы. Наиболее часто применяют смолы УКС и М-19-62.

В качестве отвердителей для ХТС используют ортофосфорную кислоту и бензолсульфокислоту, для ХТС на основе связующих УКС

и М-19-62 рекомендуется применять отвердитель КД, например, в смеси следующего состава в массовых частях: песок кварцевый –100, смола УКС (или М-19-62) – 2,5–3; отвердитель КД–0,8–1,5; Смесь имеет «живучесть» 3–12 мин и через 15 мин приобретает предел прочности на сжатие 0,8 ч 2 кгс/см², а через 24 ч – 6 кгс/см², газопроницаемость смеси 180–200 ед.

Недостатком ХТС является выделение формальдегида в виде газа в процессе приготовления, формовки и особенно заливки форм расплавом. Концентрация формальдегида в атмосфере рабочего помещения не должна превышать 0,5 мг/м³. Кроме того, при использовании ХТС на отливках может образоваться металлизированный пригар. Пригар предотвращают покрытием стержней и форм противопригарными красками на основе циркона, корунда и дистенсиллиманита.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Описать (кратко) существующие технологии применения различных связующих материалов при изготовлении стержней.
4. Описать ход экспериментальной части. Внести результаты экспериментов в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Результаты испытания стержневых смесей при сжатии

Контролируемые показатели	Вид связующего стержневой смеси					
	Жидкое стекло			Полимерное связующее		
Температура обжига образца стержня						
Давление при разрушении стержня после сушки, МПа						

5. Сделать краткий вывод по результатам экспериментов и построить графические зависимости влияния температуры обжига стержневой смеси на его прочность.

Контрольные вопросы

1. Какие виды связующих компонентов применяются при изготовлении стержней?
2. В чем особенность применения жидкостекольных смесей?
3. Какие технологические мероприятия отличают приготовление стержней из смесей на полимерном связующем?
4. Смеси на каком связующем рекомендуется применять для производства стальных отливок?
5. Какие изменения происходят со смесью изготовленной на основе органической смолы при ее контакте с жидким металлом?
6. Почему жидкостекольные смеси не получают повсеместного применения?
7. Какие смеси по итогам экспериментов оказались более огнестойкими?

Лабораторная работа № 8

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

Цель работы: изучить методы изготовления отливок различными способами, условные обозначения на чертежах отливки, ознакомиться с основными мероприятиями по охране труда и технике безопасности.

Содержание работы: выбрать способы изготовления отливки, положение отливки в форме, линию разъема; разработать чертеж отливки (А₄): назначить припуски на механическую обработку, уклоны, радиусы закруглений, стержневые знаки, чертеж модели (А₄), модельной плиты (А₄), стержневого ящика (А₄), литейной формы в сборе (А₄), состав формовочных и стержневых смесей, отделочные операции после выбивки отливки.

Форма отчета

1. Наименование лабораторной работы.
2. Факультет. Группа. Номер варианта.
3. Фамилия, имя, отчество студента.
4. Данные индивидуального задания.
5. Расчет по индивидуальному заданию производить в соответствии с методическими указаниями.

1. Теоретическая часть

Основными исходными данными при разработке технологического процесса изготовления отливки является чертеж детали с указанием размеров, их допускаемых отклонений, шероховатости поверхности и других требований к точности обработки, материал детали, его марка по ГОСТу, класс точности.

Конструирование отливки должно обеспечивать высокий уровень служебных характеристик (прочность, жесткость, герметичность и т. д.) при заданной массе и точности конфигурации, а также учитывать технологию ее изготовления. Следовательно, при конструировании отливок целесообразно соблюдать следующие требования:

1. Необходимо, чтобы изготовление модельного комплекта для отливки требовало минимальных затрат труда и материалов. Отливка должна быть компактной, обеспечивать простоту изготовления и

- сборку формы. Крупные отливки сложной конфигурации лучше отливать по частям, а затем соединять сваркой или болтами.
2. Полости в отливках должны иметь простую конфигурацию, а также окна в форме с размерами, достаточными для ввода знаковой части стержня.
 3. Отливка должна иметь по возможности равномерную толщину и не должно быть острых углов и резких переходов, что может привести к образованию дефектов.
 4. Необходимо учитывать литейные свойства сплавов.
 5. Конструкция отливки должна обеспечивать удобство ее очистки и обрубки после выбивки. Базовые поверхности должны быть удобно расположены для обработки резанием. Если конструкция отливки не отвечает требованиям литейной технологии, то она может быть изменена полностью.

1.1. Основные требования ЕСКД

Одним из основных стандартов ЕСКД для выполнения графической части работы является ГОСТ 3-1125-88 «Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки». На рис. 8.1–8.6 приведено несколько примеров из этого стандарта.

Разъем модели и формы показывают прямой сплошной линией толщиной «S». Разъем обозначают «РМФ», а направление разъема показывают сплошной линией со стрелками (рис. 8.1). При использовании неразъемной модели указывают разъем формы «РФ» (рис. 8.2). При нескольких разъемах – каждый указывают отдельно (рис. 8.3). Положение отливки в форме при заливке обозначают буквами «В» (верх) и «Н» (низ). Буквы проставляют у стрелок, указывающих направление разъема модели и формы (рис. 8.1-8.2). Если формовка производится в горизонтальном направлении, а заливка – в вертикальном, то параллельно направлению заливки рядом с чертежом проводят линию со стрелками, у которых проставляют обозначение «В» и «Н» (рис. 8.2, 8.4). Отверстия, впадины, не выполняемые литьем, зачеркивают тонкими линиями (рис. 8.5).

Технологический припуск обозначают «Т» и цифрой со знаком «+» или «-», который проставляют на продолжении размерной линии или на поле линии выноски (рис. 8.4).

Стержни, их знаки и фиксаторы, разделительные диафрагмы легкоотделяемых прибылей, знаки в модели показывают сплошной тонкой линией (S/2), на изображении стержня проставляют размеры

знаков и их зазоры. Стержень обозначают «СТ» и порядковый номер. Стержень в разрезе штрихуют только по контуру (рис. 8.6). Невидимые контуры стержней наносят, если без этого нельзя получить ясного представления об их форме. Знак стержня в плане изображается тонкой линией (рис. 8.7). Разрешается делать разрыв знака или изображать его не в масштабе (рис. 8.8). Линию разъема стержня изображают тонкой сплошной линией и надписью «Линия разъема». Вывод газов из стержня и формы изображают стрелкой, вдоль которой прокладывают буквы «ВГ», а также показывающие направление набивки стержня (\downarrow) и разъема стержневого ящика ($\leftarrow \rightarrow$). Соотношение размеров стрелок должно соответствовать ГОСТ 3-1125-88 (рис. 8.11). Сечение литниковой системы изображают линией (S/2) или (S/3) в одном масштабе (1:1) с указанием размеров без штриховки (рис. 8.11). При нанесении обозначений шероховатостей обязательно применять ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 2.309-73 (рис. 8.12). Стандартом установлено 14 классов шероховатости поверхности.

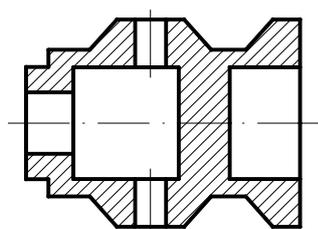


Рис. 8.1

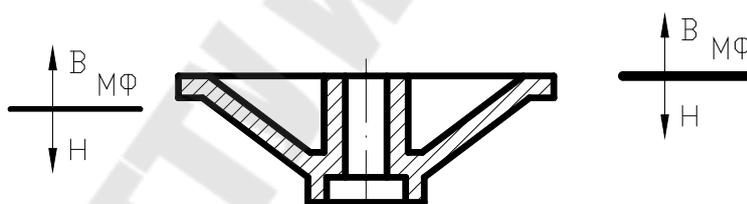


Рис. 8.2

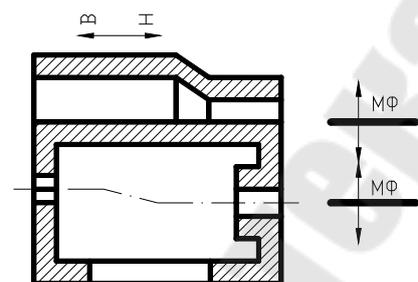


Рис. 8.3

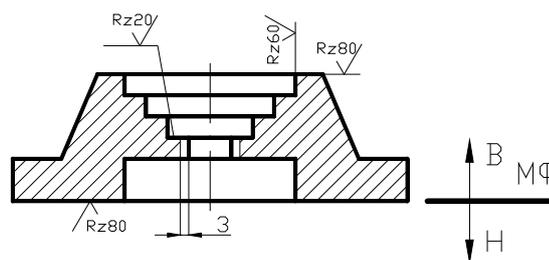


Рис. 8.4

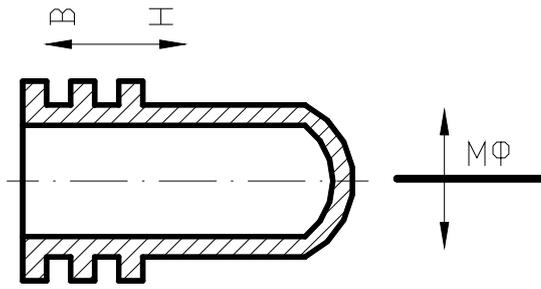


Рис. 8.5

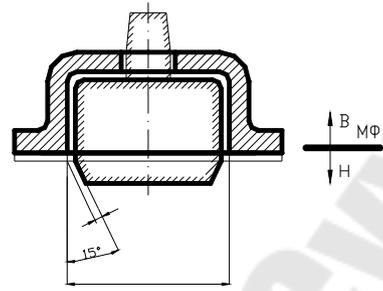


Рис. 8.6

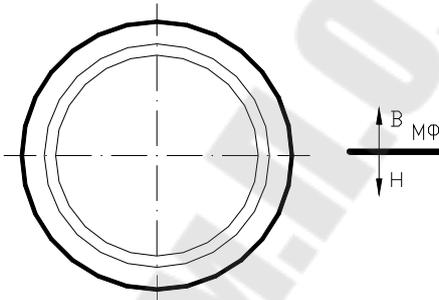
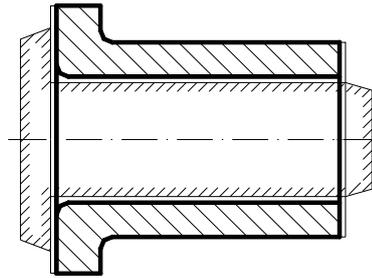


Рис. 8.7

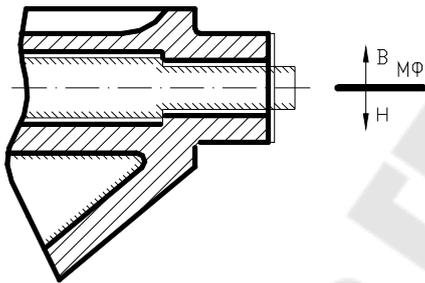


Рис. 8.8

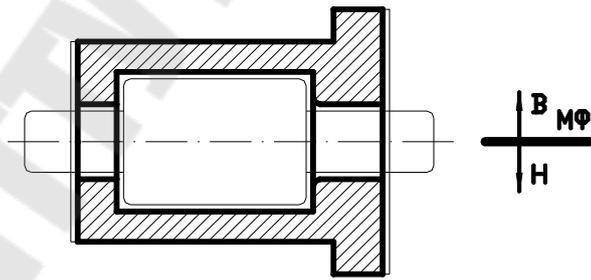


Рис. 8.9

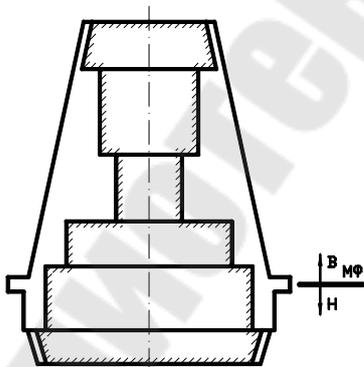


Рис. 8.10

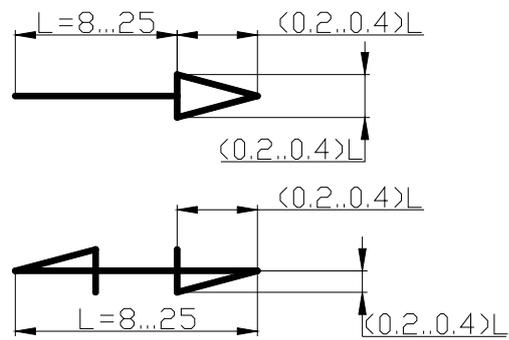


Рис. 8.11

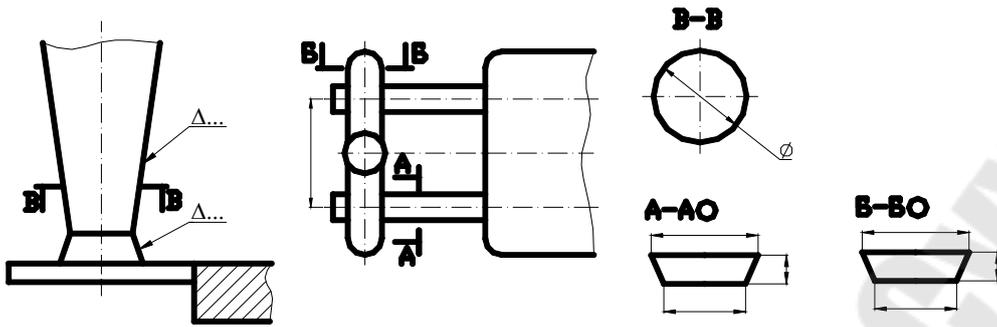


Рис. 8.12

1.2. Чертеж детали

Чертеж детали должен иметь требуемое количество проекций с необходимыми разрезами, с обозначением размеров и шероховатости поверхности (рис. 8.13). Согласно ГОСТ 2789-73 необрабатываемые поверхности обозначают знаком \surd .

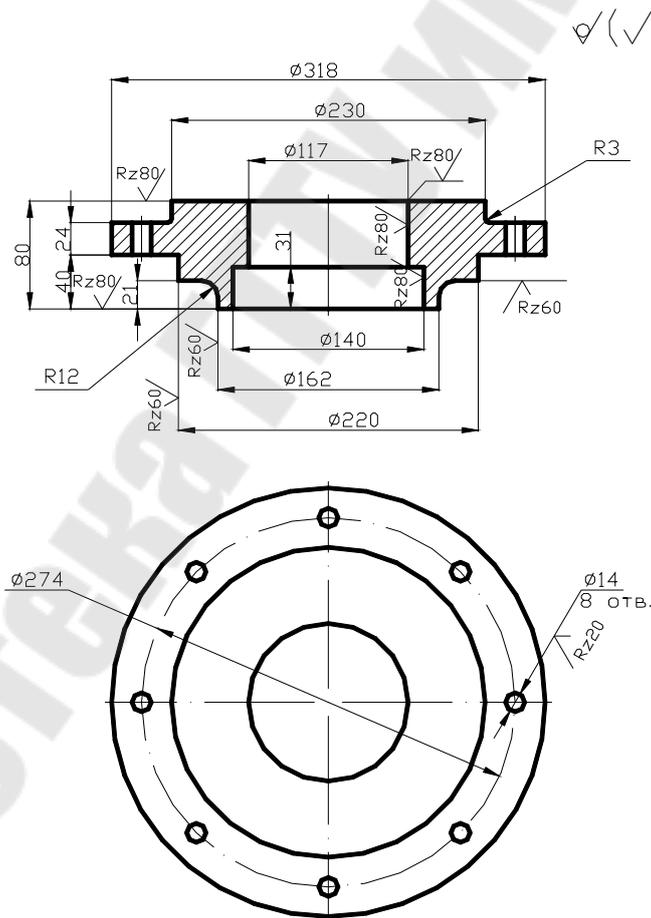


Рис. 8.13. Чертеж крышки насоса

Знак ($\sqrt{\quad}$) в правом верхнем углу чертежа обозначает, что все остальные поверхности, кроме обозначаемых, имеют указанную до этого знака шероховатость. Например, Rz 80 ($\sqrt{\quad}$) обозначает, что остальные поверхности обрабатываются до шероховатости Rz 80. Знак (\checkmark) обозначает, что остальные поверхности не обрабатываются. Если знак шероховатости проставлен только в правом верхнем углу чертежа, например, Rz 40, то это означает, что все поверхности обрабатываются.

1.3. Выбор положения отливки в форме, плоскости разъема формы и модели

В лабораторной работе применяется наиболее распространенный способ формовки в двух опоках по сырой формовочной смеси с минимальным числом стержней.

Положения отливки в форме и разъем формы должны обеспечить высокое качество отливки, минимальные затраты на ее изготовление и на механическую обработку, минимальные расходы металла и возможность применения механизации и автоматизации технологического процесса. Выбор положения отливки в форме производится согласно [4, 5, 9] в следующей последовательности:

- ответственную часть отливки следует располагать в нижней части формы, где металл более плотный;
- обрабатываемые поверхности желательно располагать внизу, вертикально или наклонно. Большие горизонтальные поверхности необходимо располагать сверху, где наиболее вероятны дефекты – шлаковые включения, ужимины, поры;
- отливку с обрабатываемыми наружными и внутренними поверхностями по возможности располагать вертикально, очень длинные поверхности наклонно;
- при повышенной склонности к усадке и образованию усадочных раковин массивные части следует располагать сверху или сбоку для удобства установки прибылей;
- массивные части из серого чугуна следует располагать в нижней полуформе;

– отливку в форме при машинной формовке следует располагать так, чтобы общая высота формы была наименьшей, а полуформы имели примерно одинаковую высоту.

При выборе поверхности разъема модели и формы необходимо выполнять следующие требования:

- поверхность разъема целесообразно иметь плоскую, расположенную горизонтально, единую для формы и модели;
- модель должна легко извлекаться из формы;
- форма должна иметь минимальное количество стержней и чтобы все или большинство их устанавливалось в нижней полуформе;
- число разъемов формы должно быть минимальное;
- базовые поверхности должны быть расположены в одной полуформе, на них не должно быть литейных швов, заусенцы не допускаются;
- должно обеспечиваться удобство уплотнения и сборки формы, установки и контроля положения стержней.

1.4. Назначение припуска на механическую обработку

Припуск – дополнительный слой металла, срезаемый при механической обработке с поверхностями отливки с целью повышения точности размеров, качества поверхности детали. На чертеже детали при разработке чертежа отливки припуск обозначают тонкой линией.

Отверстия, полости, не выполняемые при литье, на чертеже отливки зачеркиваются накрест сплошными тонкими линиями. Величину припуска указывают перед знаком шероховатости поверхности (рис. 8.5) детали или величиной уклона линейными размерами. Указывают припуск цифрой со знаком (+) или минус (–) и буквой Т (технологический). Припуск на верхние поверхности принимается больше, так как эти поверхности больше загрязняются всплывающими газовыми пузырьками и шлаковыми включениями. В зависимости от точности получаемых размеров отливки делятся на классы точности. Припуск зависит от типа металла или сплава, способа литья, положения при заливке поверхности отливки, на которую назначается припуск, класса точности и рассматриваемого наибольшего габаритного размера, массы отливки, рядов припусков, качества точности и назначается по ГОСТ 26645-85. По выбранному классу точности, разме-

рам и массе отливки (табл. 8.1 и 8.2) определяются допуски для конкретных ее размеров по табл. 8.2.

1.5. Обозначение точности отливок

В технических требованиях чертежа отливки или детали должны быть указаны: класс точности размеров, класс точности массы, степень коробления и ряд припусков на механическую обработку.

Пример условного обозначения точности отливки 8-го класса точности размеров, 7-го класса точности массы, 5-й степени коробления и 4-го ряда припуска на механическую обработку: точность отливки 8-7-5-4 ГОСТ 26645-85.

Допускается в технических требованиях чертежа детали не указывать: степень коробления и ряд припусков на механическую обработку.

Допуски размеров элементов отливки следует устанавливать соответствующими классу точности размеров отливки. Допуски размеров элементов, образованных одной частью формы или одним стержнем, устанавливают на 1-2 класса точнее. Допуски размеров элементов, образованных тремя и более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также толщины стенок, ребер и фланцев устанавливают на 1-2 класса грубее.

Допуски размеров от предварительно обработанной поверхности, используемой в качестве базы, до литой поверхности, следует устанавливать на 2 класса точнее.

Допускается устанавливать симметричные и несимметричные предельные отклонения размеров, при этом предпочтительно следующее расположение полей допусков:

– несимметричное одностороннее “в тело” – для размеров элементов отливки (кроме толщин стенок), расположенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке, при этом для охватывающих элементов (отверстие) поле допуска располагают “в плюс” (120^{+2}), а для охватываемых (вал) – “в минус” (15_{-1});

– симметричное – для размеров всех остальных элементов отливок, не подвергаемых и подвергаемых механической обработке (100 ± 2).

Допуски линейных размеров должны соответствовать указанным в табл. 8.2.

Таблица 8.1

Классы точности размеров и масс и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных способов литья

Способ литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип металла и сплава		
		цветные с t плав. ниже 700 °С	цветной с t плав. выше 700 °С серый чугун	ковкий, высокопр. и легиров. чугун, сталь
		Классы точности размеров и масс отливок и ряды припусков		
Литье под давлением в металлические формы	До 100	$\frac{3T-5}{1}$	$\frac{3T-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$
	Св. 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$	$\frac{5T-7}{1}$
Литье в керамические формы и по выплавляемым и выжигаемым моделям	До 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$
	Св. 100	$\frac{4-7}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$	$\frac{5-8}{1-2}$
Литье в кокиль и под низким давлением в металлические формы без и с песчаными стержнями, литье в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой	До 100	$\frac{4-9}{1-2}$	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$
	Св. 100 до 630	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$
	Св. 630	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-5}$
Литье в песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, центробежное, в сырые и сухие песчано-глинистые формы	До 630	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-4}$	$\frac{7-13T}{2-5}$
	Св. 630 до 4000	$\frac{7-12}{2-4}$	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{3T-13}{3-6}$
	Св. 4000	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$	$\frac{9-14}{4-6}$

Примечание. В числителе указаны классы точности размеров и масс отливок, в знаменателе – ряды припусков. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие значения – к сложным, мелкосерийно

и индивидуально изготовленным отливкам; средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства. Классы точности масс следует принимать соответствующим классам точности отливок.

Для каждого интервала значений допусков размеров отливки в каждом ряду припусков в табл. 8.4 предусмотрены два значения основного припуска. Меньшие значения припуска устанавливают при более грубых качествах точности обработки деталей, большие значения припуска устанавливают при более точных качествах согласно табл. 8.5. При более высоких требованиях к точности размеров обрабатываемых деталей, чем это предусмотрено табл. 8.5, допускается увеличение основного припуска до ближайшего большего значения из того же ряда.

Значения основных припусков следует относить к поверхностям отливки, находящимся при заливке снизу или сбоку. На верхние при заливке поверхности допускается увеличение припуска до значения, соответствующего следующему ряду припусков согласно табл. 8.4.

Основные и дополнительные припуски на механическую обработку (на сторону) в зависимости от допусков размеров отливок следует устанавливать дифференцированно для каждого элемента отливки в соответствии с табл. 8.1–8.4.

Таблица 8.2

Допуски размеров отливок от классов точности

Интервалы номинал. разм., мм	Допуски размеров отливок, мм, не более, для классов точности размеров отливок																					
	1	2	3г	3	4	5г	5	6	7г	7	8	9г	9	10	11г	11	12	13г	13	14	15	16
До - 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-
4 - 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	-	-	-	-	-
6 - 10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	-	-	-
10 - 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	-	-
16 - 25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,86	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12
25 - 40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14
40 - 63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16
63 - 100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18
100 - 100	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,61	0,80	1,00	1,20	1,60	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20
100 - 250	-	-	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22
250 - 400	-	-	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24
400 - 630	-	-	-	-	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28
630 - 1000	-	-	-	-	-	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32
1000 - 1600	-	-	-	-	-	-	-	1,40	1,80	2,20	2,80	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36
1600 - 2500	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,40	3,20	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40
2500 - 4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,20	3,60	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28	36	44
4000 - 6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32	40	50
6300 - 10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40	50	64

Табл. 8.3

Предельное отклонение массы отливки от класса точности отливки

Интервалы номинал. масс, кг	Верхнее предельное отклонение массы, М, для классов точности массы отливки																					
	1	2	3 т	3	4	5 т	5	6	7 т	7	8	9 т	9	10	11 т	11	12	13 т	13	14	15	16
До - 0,10	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св.0,10 - 0,25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25 - 0,63	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-
0,63 - 1,00	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-
1,00 - 2,50	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	0,20	-	-	-	-	-	-
2,50 - 6,30	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	0,20	-	-	-	-	-
6,30 - 10	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	0,20	-	-	-	-
10 - 25	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	0,20	-	-	-
25 - 63	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	0,20	-	-
63 - 100	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	0,20	-
100 - 250	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	0,16	0,20
250 - 630	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	0,16
630 - 1000	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
1000 - 2500	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
2500 - 6300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
6300 - 10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
10000 - 25000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0
25000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0

Таблица 8.4

Припуски на механическую обработку, мм

Допуски размеров отливок	Основной припуск для рядов, не более					
	1	2	3	4	5	6
До 0,12	0,2 0,4	-	-	-	-	-
Св. 0,12 до 0,16	0,3 0,5	0,6 0,8	-	-	-	-
Св. 0,16 до 0,20	0,4 0,6	0,7 1,0	1,0 1,4	-	-	-
Св. 0,20 до 0,24	0,5 0,7	0,8 1,1	1,1 1,5	-	-	-
Св. 0,24 до 0,30	0,6 0,8	0,9 1,2	1,2 1,6	1,8 2,2	2,6 3,0	-
Св. 0,30 до 0,40	0,7 0,9	1,0 1,3	1,4 1,8	1,9 2,4	2,8 3,2	-
Св. 0,40 до 0,50	0,8 1,0	1,1 1,4	1,5 2,0	2,0 2,6	3,0 3,4	-
Св. 0,50 до 0,60	0,9 1,2	1,2 1,6	1,6 2,2	2,2 2,8	3,2 3,6	-
Св. 0,60 до 0,80	1,0 1,4	1,3 1,8	1,8 2,4	2,4 3,0	3,4 3,8	4,4 5,0
Св. 0,80 до 1,0	1,1 1,6	1,4 2,0	2,0 2,8	2,6 3,2	3,6 4,0	4,6 5,5
Св. 1,0 до 1,2	1,2 2,0	1,6 2,4	2,2 3,0	2,8 3,4	3,8 4,2	4,8 6,0
Св. 1,2 до 1,6	1,6 2,4	2,0 2,8	2,4 3,2	3,0 3,8	4,0 4,6	5,0 6,5
Св. 1,6 до 2,0	2,0 2,8	2,4 3,2	2,8 3,6	3,4 4,2	4,2 5,0	5,5 7,0

Окончание табл. 8.4

Допуски размеров отливок	Основной припуск для рядов, не более					
	1	2	3	4	5	6
Св. 2,0 до 2,4	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6	6,0
	3,2	3,6	4,0	4,6	5,5	7,5
Св. 2,4 до 3,0	2,8	3,2	3,6	4,2	5,0	6,5
	3,6	4,0	4,5	5,0	6,5	8,0
Св. 3,0 до 4,0	3,4	3,8	4,2	5,0	5,5	7,0
	4,5	5,0	5,5	6,5	7,0	9,0
Св. 4,0 до 5,0	4,0	4,4	5,0	5,5	6,0	8,0
	5,5	6,0	6,5	7,5	8,0	10,0
Св. 5,0 до 6,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	9,0
	7,0	7,5	8,0	8,5	9,5	11,0
Св. 6,0 до 8,0	-	6,5	7,0	7,5	8,5	10,0
	-	9,5	10,0	11,0	12,0	13,0
Св. 8,0 до 10,0	-	-	10,0	10,0	11,0	12,0
	-	-	13,0	13,0	14,0	15,0
Св. 10,0 до 12,0	-	-	13,0	11,0	12,0	13,0
	-	-	15,0	14,0	15,0	16,0
Св. 12,0 до 16,0	-	-	-	14,0	15,0	16,0
	-	-	-	16,0	17,0	19,0
Св. 16,0 до 20,0	-	-	-	17,0	18,0	19,0
	-	-	-	20,0	21,0	22,0
Св. 20,0 до 24,0	-	-	-	20,0	21,0	22,0
	-	-	-	23,0	24,0	25,0
Св. 24,0 до 30,0	-	-	-	-	26,0	27,0
	-	-	-	-	29,0	30,0
Св. 30,0 до 40,0	-	-	-	-	-	34,0
	-	-	-	-	-	37,0
Св. 40,0 до 50,0	-	-	-	-	-	42,0
	-	-	-	-	-	50,0
Св. 50,0 до 60,0	-	-	-	-	-	50,0
	-	-	-	-	-	50,0

Таблица 8.5

Класс точности от качественных точности размеров деталей

Класс точности размеров отливок	1 – 3 т	3 – 5 т	5 – 7	7 – 9 т	9 – 16
Квалитет точности размеров деталей, получаемых механической обработкой отливок	IT9 и грубее	IT10 и грубее	IT11 и грубее	IT12 и грубее	IT13 и грубее
	IT8 и точнее	IT8-IT9	IT9-IT10	IT9-IT11	IT10-IT12

1.6. Нанесение уклонов на отливке

Для того чтобы модель легко извлекалась из формы, не вызывая ее повреждений, поверхности модели, перпендикулярные плоскости разреза формы, выполняются с формовочными уклонами. Размеры уклонов назначаются по ГОСТ 3212-99. Уклоны назначаются от высоты и материала модели по табл. 8.6.

Таблица 8.6

Формовочные уклоны наружных поверхностей моделей

Измеряемая высота, мм	Уклоны для моделей		Измеряемая высота, мм	Уклоны для моделей	
	металлических	деревянных		металлических	деревянных
До 20	1°30'	3°00'	Св. 100 до 200	0°30'	0°30'
Свыше 20 до 50	1°00'	1°30'	Св. 300 до 800	0°20'	0°30'
Свыше 50 до 100	0°45'	1°00'	Св. 800 до 2000	0°15'	0°20'
Свыше 100 до 200	0°30'	0°45'	Св. 2000	0°10'	0°15'

Формовочные уклоны выполняются на обрабатываемых поверхностях с учетом припуска на механическую обработку путем увеличения размеров отливки. Если поверхность не обрабатывается и не сопрягается с другими поверхностями, то формовочные уклоны могут назначаться одновременно на увеличение и уменьшение разме-

ров отливки. При назначении уклонов на поверхности, которые сопрягаются с другими поверхностями, в зависимости от вида сопряжения: при подвижном – путем уменьшения, а неподвижном – увеличения размеров отливки. Уклоны на местных небольших утолщениях (бобышек, планок, поясков) принимаются – 30-45⁰. Формовочные уклоны в стержневых ящиках рекомендуется выполнять аналогично модельным уклонам. На отливке, как и на ее модели, также будут соответствующие уклоны.

1.7. Определение радиусов скругления

Для образования плавных переходов между поверхностями отливки внутренние углы поверхностей модели скругляются. Эти скругления облегчают извлечение модели из формы, а в отливке предотвращают образование усадочных раковин и трещин в углах. Их называют галтелями.

Радиусы галтелей:

$$r = \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{3} \right) \frac{a + b}{2}, \quad (8.1)$$

где a и b – толщина сопрягаемых стенок.

1.8. Изготовление стержней и выбор размеров их знаков

Стержни служат для образования отверстий и внутренних полостей в отливке. Стержни находятся в более тяжелых условиях, чем основная часть литейной формы при заливке металла, поэтому стержневые смеси должны иметь бóльшую прочность. В зависимости от сложности размеров, назначения и условий службы стержни разделяются на классы (табл. 87) [5].

Изготовление стержней осуществляется следующими способами: по стержневому ящику; по шаблону; комбинированно (по стержневому ящику и шаблону). Набивку стержней можно производить вручную, пескометом, встряхиванием смеси. Типовые составы стержневых смесей приведены в табл. 32, табл. 33 [9] и табл. 91 [5].

Положение стержня в форме фиксируется его знаками, т. е. опорными частями стержня, выступающими за пределы отливки. Различают стержневые знаки горизонтальных и вертикальных стержней, т. к. знаковые части их различны (табл. 8.7 и 8.8). Длина (l) или высота (h) знака зависит от длины стержня в отливке и от диаметра или полу-

суммы двух смежных сторон сечения стержня $(a + b)/2$. При изготовлении моделей отливки размеры стержневых знаков принимаются по ГОСТ 3212-92 (табл. 101-114) [5]. Формовочные уклоны знаковых частей стержня в моделях назначаются с учетом сборки формы без повреждения последней по табл. 110 [5].

Таблица 8.7

Длина горизонтальных стержневых знаков

Размер d или (a+b)/2, мм	Длина стержня L, мм			
	До 150	51-150	151-300	301-500
	Длина знаков l, мм			
До 25	15	25	40	-
26-50	20	30	45	60
51-100	25	35	50	70
101-200	30	40	55	80

Таблица 8.8

Высота вертикальных стержневых знаков

Размер d или (a+b)/2, мм	Высота стержня H, мм							
	До 50		51-150		151-300		301-500	
	Высота знаков A, мм							
	верх	низ	верх	низ	верх	низ	верх	низ
До 25	15	20	15	25	-	-	-	-
26-50	15	20	20	40	35	60	40	70
51-100	15	25	20	35	30	50	40	70
101-200	20	30	20	30	25	40	35	60

В вертикальных стержнях высота верхнего стержневого знака всегда меньше нижней. После определения размеров стержня и его стержневых знаков его показывают на чертеже отливки (рис. 8.14).

1.9. Модельный комплект для получения отливки

По чертежу отливки изготавливается модельный комплект, включающий модель отливки, стержневые ящики, подмодельные плиты, модели литниковой системы. Модели в мелкосерийном и серийном производствах – преимущественно деревянные, в массовом – металлические (из алюминиевого сплава или чугуна или пластмассовые). Форма модели соответствует форме отливки без полостей и отверстий

со стержневыми знаками. Все размеры модели по сравнению с чертежом отливки увеличивают на величину литейной усадки сплава в соответствии с табл. 8.9.

Таблица 8.9

Литейная усадка литейных сплавов

Марка материала	Усадка, %	Марка материала	Усадка, %
Чугун:		Бронза:	
– серый	0,9 ÷ 1,3	– оловянная	1,4 ÷ 1,6
– белый	1,6 ÷ 2,3	– алюминиевая	1,5 ÷ 2,4
– ковкий перлитный	1,2 ÷ 2,0	Латунь:	
– ковкий ферритный	1,0 ÷ 1,2	– цинковая	1,5 ÷ 2,2
– аустенитный	1,3 ÷ 2	– кремнистая	1,6 ÷ 1,8
– чугуль (18-25 %)	2,4 ÷ 2,7	Сплавы Al:	
Сталь:		– силумины (5-14 %) Si	1,0 ÷ 1,2
– углеродистая		– остальн. алюминии- вые	1,0 ÷ 2,0
(0,14-0,75 % C)	1,5 ÷ 2	– магниевые сплавы	1,1 ÷ 1,9
– марганцовистая	2,5 ÷ 2,8	– цинковые	1,0 ÷ 1,5
– жаростойкая	1,8 ÷ 2,2		

Знаковые части на моделях имеют бóльшие размеры, чем на стержнях, с целью образования зазора между знаком стержня и прилегаемой поверхностью формы для облегчения сборки формы. Величина зазора принимается по ГОСТ 3606-92. Поверхности модели и стержневого ящика окрашиваются: красный цвет – для чугуна, серый или синий – для стали, желтый – для цветных металлов, знаковые части в черный цвет. Эскиз модели показан на рис. 8.17. После чертежа модели необходимо вычертить чертежи стержней. Штриховка стержней выполняется как показано на рис. 8.16. Если по конфигурации отливки не представляется возможным изготовить требуемое количество знаков для закрепления стержней, то применяются металлические приспособления «жеребейки». Они изготавливаются из тонкого листового материала или проволоки и расплавляются при заливке формы.

1.10. Расчет литниковой системы

Литниковая система (рис. 8.14) – совокупность каналов и полостей для заполнения полости формы расплавленным металлом.

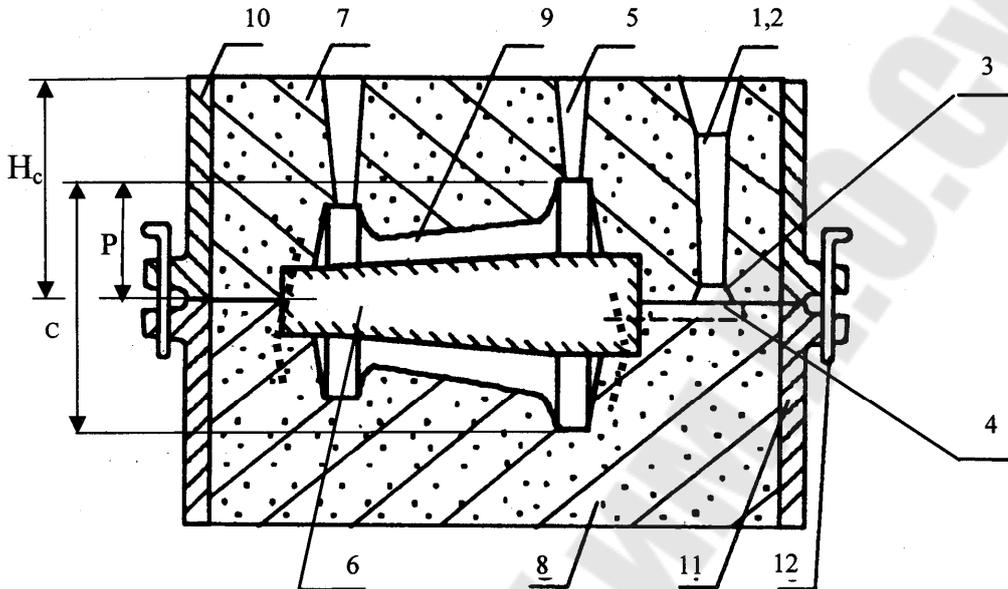


Рис. 8.14. Литейная форма в сборе:

1 – литниковая чаша для приема жидкого металла и задержания шлака; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель

К литниковой системе относятся также: 5 – прибыли – дополнительные полости в верхней части формы, питающие жидким металлом утолщенные части отливки при затвердевании. Литейная песчано-глинистая форма состоит из верхней 7 и нижней 8 полуформ, полости формы под отливку 9 и стержня 6, верхней 10 и нижней 11 опок.

Расчет литниковой системы основан на применении уравнений гидравлики с учетом опытных данных, полученных в конкретных условиях протекания жидкого металла по газопроницаемым каналам. Суммарная площадь сечения питателей определяется в следующей последовательности:

1. Определяем массу отливки

$$G = \gamma V_{\text{отл}}, \quad (8.2)$$

где γ – плотность металла, г/см³;

$V_{\text{отл}}$ – объем отливки, см³.

2. Определяем продолжительность заполнения формы, с:

а) тонкостенных отливок массой до 400 кг

$$t = S\sqrt{G_1}, \quad (8.3)$$

где $G_1 = 1,2 G_{\text{отл}}$ – масса отливки с литниковой системой, кг;

S – коэффициент, зависящий от толщины δ стенки отливки, принимается по [4]

δ , мм	2,5 ÷ 3,5	3,5 ÷ 8	8 ÷ 15
S	1,68	1,85	2,2

б) для средних и крупных отливок G_1 до 1000 кг и стальных отливок

$$t = S^3 \sqrt{G_1 \cdot \delta}, \quad (8.4)$$

где δ – среднее сечение стенки отливки, мм.

δ , мм	До 10	до 20	до 40	80 и более
S	1,0	1,35	1,5	1,7

3. Суммарная площадь сечения питателей литниковой системы определяется:

$$\Sigma F_n = \frac{n \cdot G_{\text{отл}}}{\gamma \mu t \sqrt{2gH_p}}, \quad (8.5)$$

где $G_{\text{отл}}$ – масса отливки, г;

t – продолжительность заливки, с;

$\mu \sim 0,3-0,5$ – коэффициент, учитывающий гидравлическое сопротивление движению металла в форме. Точное значение μ выбирается по

табл. 12.18 [6];

g – 981 см/с² – ускорение свободного падения;

H_p – расчетный статический напор металла, см.

4. Величина напора:

$$H_p = H_c - \frac{P^2}{2C}, \quad (8.6)$$

где H_c – высота от верхнего уровня металла в чаше до верхнего уровня металла в питателе, см;

P – высота отливки от места подвода металла в форму, см;

C – высота отливки, см.

После подстановки значений γ , t , q формулы будут иметь вид при:

а) тонкостенных отливках до 400 кг и отливок из чугуна $\gamma = 0,007 \text{ кг/см}^3$

$$\Sigma F_n = \frac{nG_{отл}}{0,34\mu S \sqrt{G_{отл} \cdot H_p}};$$

б) средних, крупных отливок до 1000 кг и отливок из стали $\gamma = 0,0078 \text{ кг/см}^3$

$$UF_n = \frac{G_{отл}}{S \sqrt[3]{G_{отл} \cdot \delta}} \text{ – для средних и крупных отливок,}$$

$$UF_n = \frac{G_{отл}}{0,094K_y L S \sqrt[3]{G_{отл} \cdot \delta}} \text{ – для стальных отливок,}$$

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

K_y – удельная скорость заливки (зависит от плотности отливки K_V) $\text{кг/см}^2 \cdot \text{с}$.

$K_V = \frac{G}{V} \text{ кг/дм}^3$	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-5	> 6
K_y	0,97	1,02	1,12	1,20	1,29	1,38	1,49

По найденной суммарной площади сечения питателей (ΣF_n) определяем площадь сечения шлаковика ($F_{ш}$) и стояка ($F_{ст}$) из соотношения:

- тонкостенные отливки – $\Sigma F_n : F_{ш} : F_{ст} = 1 : 1,06 : 1,11$;
- средние и крупные – $\Sigma F_n : F_{ш} : F_{ст} = 1 : 1,15 : 1,2$;
- крупные – $\Sigma F_n : F_{ш} : F_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4$.

Например, для крупных отливок площадь шлаковика будет равна:

$$F_{uu} = 1,2 \sum F_n, \quad \text{площадь стояка} - F_{cm} = 1,4 \sum F_n.$$

Соотношение между размерами трапецеидального сечения питателя по [8] следующее: a_n – малое основание (нижнее); b_n – большое основание (верхнее); h_n – высота питателя.

Соотношение между размерами трапецеидального сечения шлакоуловителя по [8] следующее: a_{uu} – большое основание трапеции (нижнее);

b_{uu} – малое основание (верхнее); h_{uu} – высота шлаковика.

Сечение стояка круглое

$$D_{CT} = \sqrt{\frac{4F_{cm}}{\pi}}.$$

Размеры трапецеидального сечения питателя и шлаковика определяют из равенства соотношения размеров трапеции (a , b , h) и площади трапеции по следующим формулам [8]:

- размеры питателя: $\sqrt{F_n} = \frac{(1,1a_n + a_n) \cdot 0,3a_n}{2}$, откуда

$$a_n = \sqrt{\frac{\sqrt{F_n}}{0,315}} \text{ (см);}$$

$$b_n = 1,1 a_n \text{ (см);}$$

$$h_n = 0,3 a_n \text{ (см);}$$

- размеры шлакоуловителя: $\sqrt{F_{uu}} = \frac{(a_{uu} + 0,7a_{uu}) \cdot 1,1a_{uu}}{2}$, откуда

$$a_{uu} = \sqrt{\frac{\sqrt{F_{uu}}}{0,935}} \text{ (см);}$$

$$b_{uu} = 0,7 a_{uu} \text{ (см);}$$

$$h_{uu} = 1,1 a_{uu} \text{ (см).}$$

Объем литниковой чаши $V_z = (4 \div 6) V_c n$ (3.7)

Для предотвращения попадания в полость формы шлака применяется замкнутая литниковая система, в которой площадь ее элементов от питателей увеличивается, т. е. $F_{cm} > F_{uu} > \sum F_n$.

2. Пример разработки технологического процесса получения отливки крышки насоса

2.1. Разработка чертежа отливки

После выбора положения отливки в форме и линии разреза модели и формы разрабатываем чертеж отливки (рис. 8.15).

Чертеж отливки выполняется в соответствии с ГОСТ 3.1125.88 «Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки» в такой последовательности:

а) вычерчиваем сплошными тонкими линиями с необходимыми размерами контуры детали (рис. 8.13) в таком положении, как она формуется;

б) обозначаем плоскость разреза модели и формы;

в) припуски на мехобработку изображаются основными линиями.

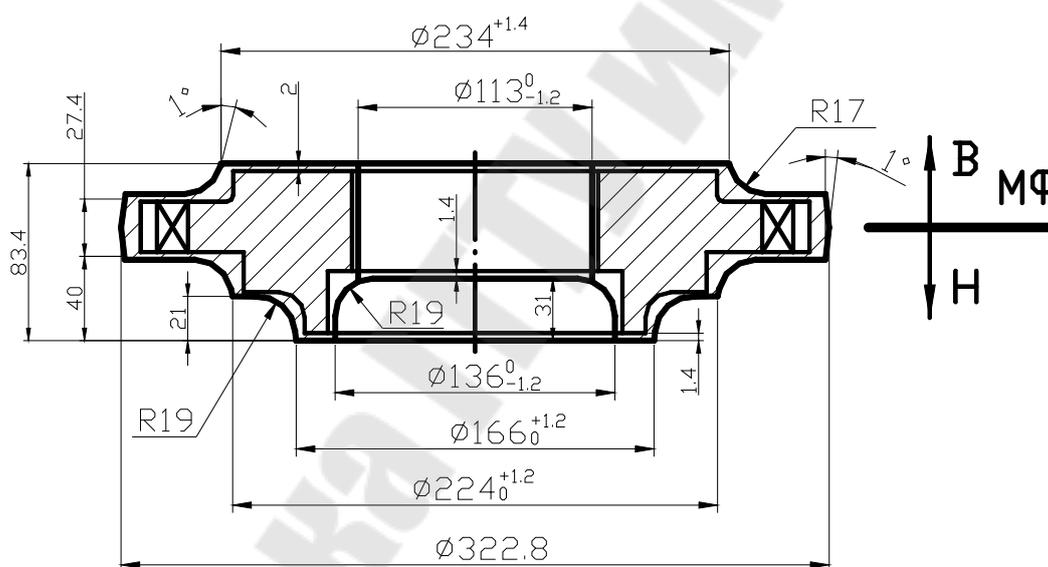


Рис. 8.15. Отливка крышки насоса

Величина припусков выбирается по табл. 8.1-8.5 и показывается на продолжении размерной линии. При получении отливки крышки насоса в сырых песчано-глинистых формах по табл. 8.1 для наибольшего габаритного размера до 630 мм выбираем 7-й класс точности размеров и массы отливки и принимаем 2-й ряд припусков. Допуск размеров отливки выбираем из табл. 8.2 в зависимости от габаритного размера и класса точности. Например, для габаритного размера диаметр 140-го и 7-го класса точности допуск составляет 1,2 мм. В соответствии с установленным допуском табл. 8.2 и принятым 2-м рядом

припусков устанавливаем припуск на механическую обработку 1,6-2,4 мм. Выбираем большее значение припуска 2,4 мм, т. к. к этой поверхности предъявляются более высокие требования к точности размера (установка уплотнительного кольца). Припуски на механическую обработку на других поверхностях устанавливаются дифференцированно для каждого элемента отливки в соответствии с табл. 8.1-8.4 в зависимости от допусков размеров и рядов припусков, приведенных в табл. 8.10 и показанных на рис. 8.15;

г) наносим формовочные уклоны на вертикальные поверхности отливки [4]. На обработанные поверхности уклоны наносим с увеличением размеров «в плюс», а на необработанные – с уменьшением размеров «в минус» (рис. 8.15). Серийность детали малая, поэтому изготавливаем модель отливки из древесины. Уклоны на отливке и модели согласно ГОСТ 3212-80 (табл. 8.7) составляют на высоту: $h_1 = 21,0$ мм $-1^{\circ}30'$; $h_3 = 19$ мм $-1^{\circ}30'$; $h_4 = 27,4$ мм $-1^{\circ}45'$; $h_5 = 16$ мм $-1^{\circ}30'$;

Таблица 8.10

Припуски на механическую обработку поверхностей отливки крышки насоса

Номинальные размеры деталей, мм	Допуск размеров отливки, мм	Класс точности отливки	Ряды припусков	Припуск на мех. обраб. мм	Размеры отливки, мм
Ø 140	1,2	7	2	2,0	135,0
Ø 162	1,2	7	2	2,0	166,0
Ø 220	1,4	7	2	2,0	224,0
Ø 117	1,2	7	2	2,0	113,0
Ø 230	1,4	7	3	2,0	234,0
Ø 318	1,6	7	3	2,4	322,8
$h_1 = 21$	0,8	7	2	1,3	21,0
$h_2 = 31$	0,9	7	2	1,4	31,0
$h_3 = 19$	0,8	7	2	1,3	19,0
$h_4 = 24$	0,8	7	-	1,4	27,4
$h_5 = 16$	0,8	7	2	2,0	16,0
$h_6 = 49$	1,0	7	2	1,4	52,4
$h_7 = 40$	1,0	7	-	-	40,0
$H = 80$	1,1	7	-	-	83,4

д) вычерчиваем галтели в местах сопряжения стенок отливки. Для сопряжения с толщиной стенок:

$$S_1 = 60,5 \text{ мм} \quad \text{и} \quad S_2 = 27,4 \text{ мм}; \quad r_1 = \frac{60,5 + 27,4}{5} = 17,6 \text{ мм};$$

$$S_2 = 27,4 \text{ мм}; \quad S_3 = 49,7 \text{ мм}; \quad r_2 = \frac{27,4 + 49,7}{5} = 15,4 \text{ мм};$$

$$S_3 = 49,7 \text{ мм}; \quad S_4 = 46,5 \text{ мм}; \quad r_3 = \frac{49,7 + 46,5}{5} = 19,2 \text{ мм};$$

е) наносим контуры напусков. Контуры отверстий, пазов, выточек, не выполняемых литьем, вычерчиваем сплошной тонкой линией (рис. 8.16);

ж) изображаем стержни и их знаки сплошными тонкими линиями; штриховку наносим у контурных линий; обозначаем буквами Ст. и указываем порядковый номер в соответствии с (рис. 8.8);

з) обводим основными линиями все наружные и внутренние контуры отливки, заштриховав разрезы (рис. 8.15);

и) проставляем размеры на отливке (рис. 8.15);

к) разрабатываем чертеж модели, который будет отличаться увеличением размеров по отношению к размерам отливки на величину усадки (для стали 2 %) (рис. 8.16);

л) разрабатываем чертеж модельной плиты. Размеры модельной плиты будут зависеть от: количества моделей на модельной плите; габаритных размеров модели и литниковой системы; расстояний от кромки модели до стенок опоки и между кромками моделей, которые выбираются от массы отливки (табл. 8.12, рис. 8.17);

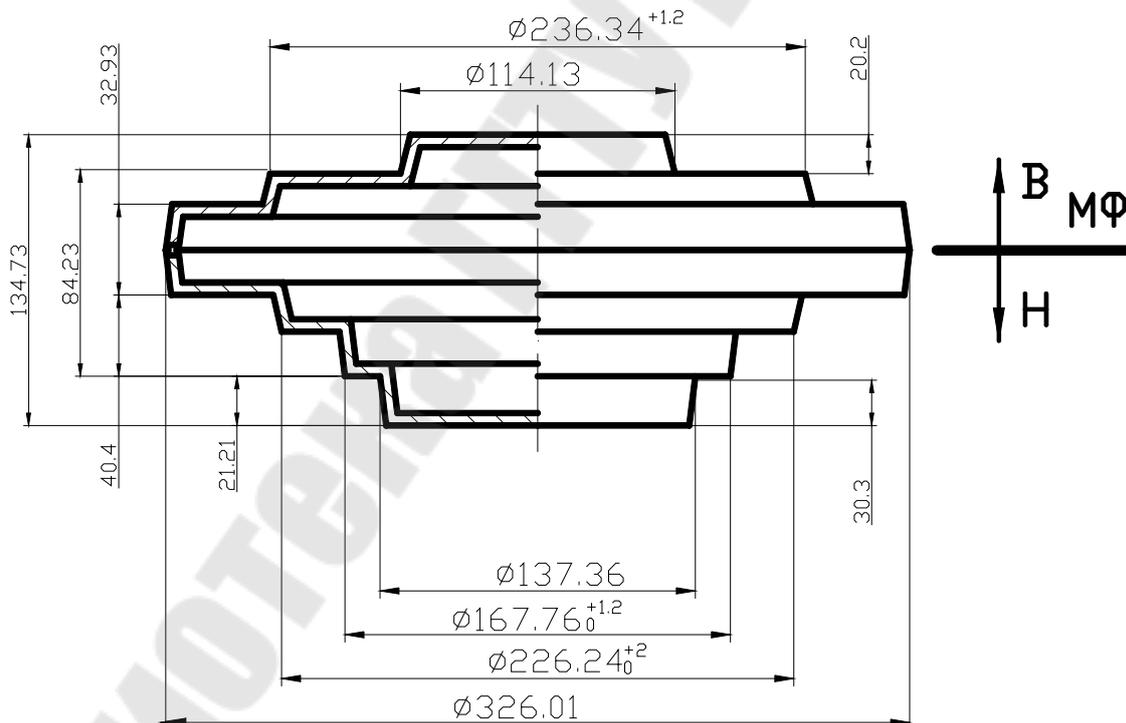
м) разрабатываем чертеж стержневого ящика, размеры которого будут определяться количеством изготавливаемых стержней, их размерами и конструктивными размерами и материалом стержневого ящика (рис. 8.18);

н) разрабатываем чертеж литейной формы (рис. 8.19). Размеры опоки в плане будут соответствовать размерам модельной плиты, а высота верхней и нижней опоки будут зависеть от высоты модели в форме и толщины формовочной смеси между верхней или нижней кромкой модели и верхом или низом опоки, соответственно. Эта толщина формовочной смеси зависит от массы отливки (табл. 8.11).

Таблица 8.11

Допустимые расстояния между моделями и элементами формы

Вес 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 шлакоул. 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



Не указанные литейные радиусы 3-5мм

Рис. 8.16. Модель отливки крышки насоса

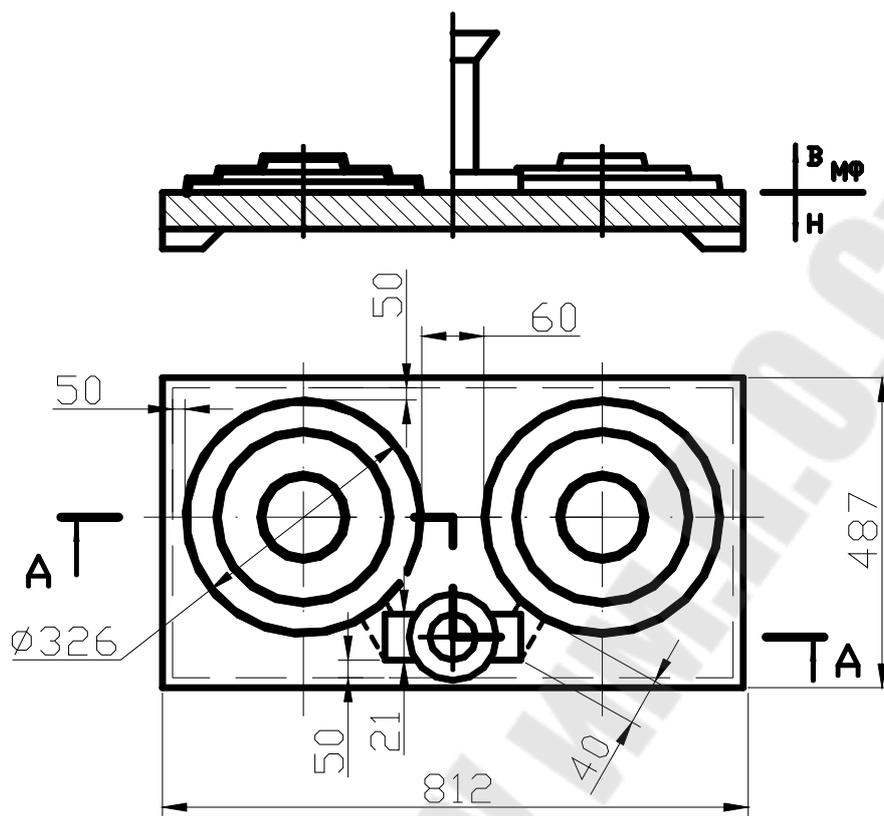


Рис. 8.17. Модельная плита с моделями

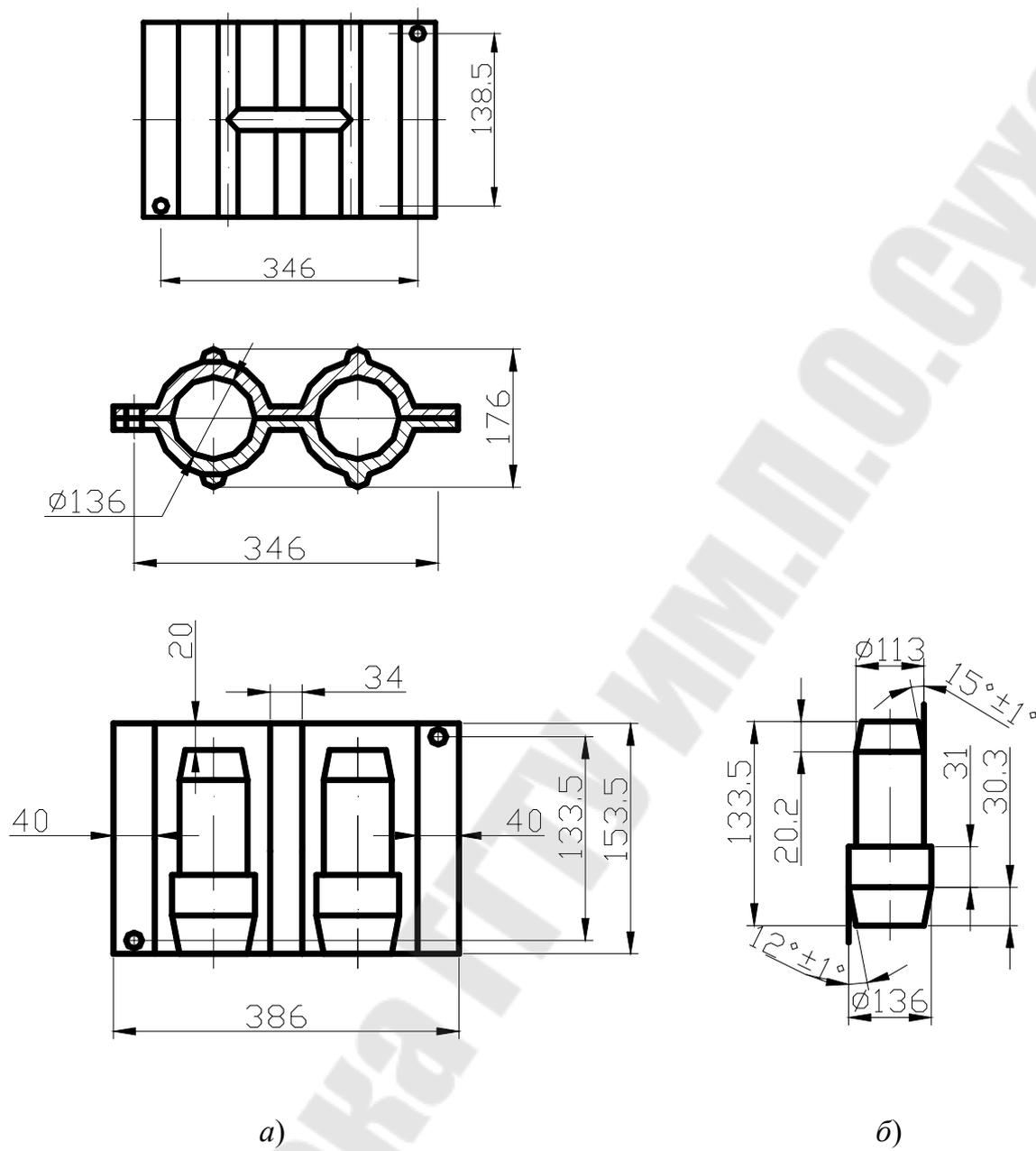


Рис. 8.18. Стержневой ящик (а) и стержень (б)

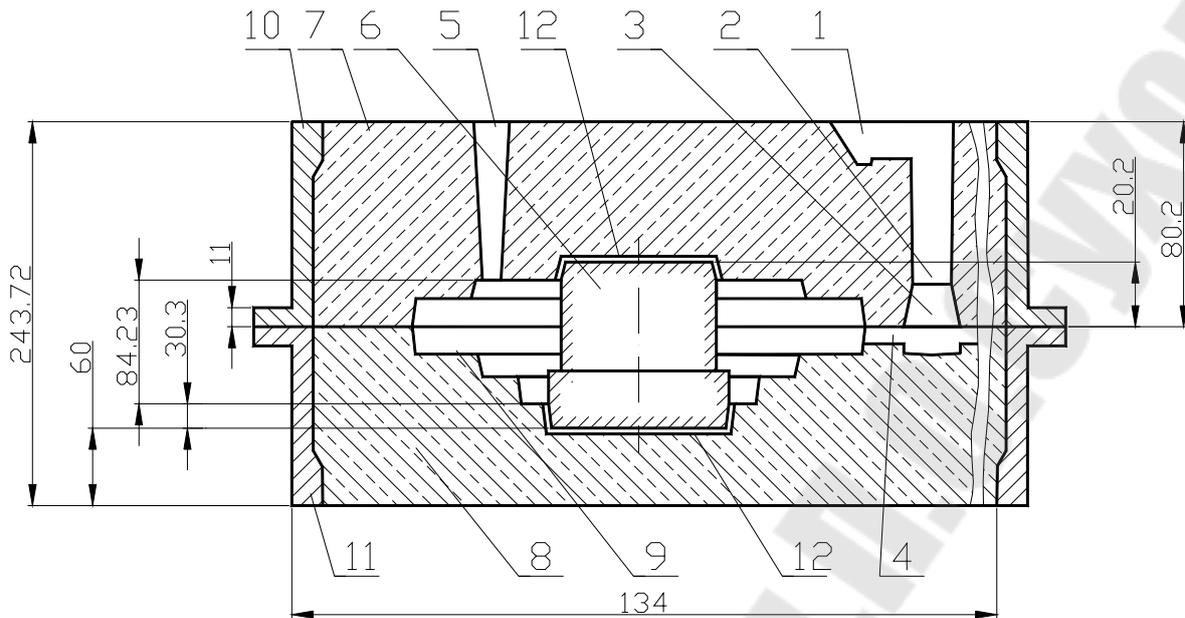


Рис. 8.19. Литейная форма в сборе

2.3. Расчет размеров литниковой системы

Для определения размеров литниковой системы при получении отливки крышки (рис. 8.17) необходимо рассчитать:

а) массу отливки:

$$G_{om} = \gamma \cdot V_{om} = \gamma \cdot \sum V_i = \gamma \frac{\pi}{4} \cdot \sum d_i^2 \cdot h_i,$$

где V_{om} , V_i , d_i , h_i – объем отливки, объемы частей отливки, диаметры и высоты частей отливки;

$\gamma = 0,0078 \text{ кг/см}^3$ – плотность стали в жидком состоянии;

$$G = 7,8 \cdot \frac{3,14}{4} \left[(23,4^2 - 11,3^2) \cdot 1,6 + (32,28^2 - 11,3^2) \cdot 2,74 + (22,4^2 - 11,3^2) \cdot 0,9 + (16,6^2 - 13,6^2) \cdot 3,1 \right] = 7,0 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 3794,312 = 2084975 \text{ Г} = 20,85 \text{ кг};$$

б) статический напор $H_p = H_c - \frac{P^2}{2 \cdot C},$

где H_{cm} – высота от верхнего уровня металла в чаше стояка до верхнего уровня металла в питателе, в соответствии со схемой рис. 8.16.

$H_{cm} = 7,6 \text{ см};$

P – высота отливки от места подвода металла в форму. $P = 1,6$ см;
 C – высота отливки $C = 8,34$ см.

$$\text{Следовательно, } H_p = H_{cm} - \frac{P^2}{2 \cdot C} = 7,6 - \frac{1,6^2}{2 \cdot 8,34} = 7,45 \text{ см.}$$

Сечение питателя определяем по формуле, приняв $\mu = 0,5$; $S = 1,5$ (табл. 12–18) [6].

$$\begin{aligned} \gamma F_n &= \frac{G}{\mu t \sqrt{2qH_p}} = \frac{G}{\mu S \sqrt{G} \cdot \sqrt{2qH_p}} = \\ &= \frac{20,85}{7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 1,5 \sqrt{20,85} \sqrt{2 \cdot 4807,45}} = 3,62 \text{ см.} \end{aligned}$$

По рассчитанной суммарной площади сечения питателя (ΣF_n) определяем площадь сечения шлаковика (F_u) и стояка (F_{cm}) из соотношения:

$$\gamma F_n : F_u : F_{cm} = 1 : 1,1 : 1,2; \quad \text{откуда}$$

$$F_u = 1,1 \gamma F_n; \quad F_u = 1,1 \cdot 3,62 = 3,98 \text{ см.}$$

$$F_{cm} = 1,2 \gamma F_n; \quad F_{cm} = 1,2 \cdot 3,62 = 4,35 \text{ см.}$$

Размеры трапецеидального сечения питателя, шлаковика и стояка будут равны:

$$a_n = \sqrt{\frac{\gamma F_n}{0,315}} = \sqrt{\frac{3,62}{0,315}} = 3,389 \text{ см}$$

$$e_u = 1,1 \times a_n = 1,1 \times 3,389 = 3,73 \text{ см}$$

$$h_n = 0,3 \times a_n = 0,3 \times 3,389 = 1,02 \text{ см}$$

$$a_u = \sqrt{\frac{F_u}{0,935}} = \sqrt{\frac{3,98}{0,935}} = 2,1 \text{ см}$$

$$e_u = 0,7 \times a_u = 0,7 \times 2,1 = 1,44 \text{ см}$$

$$h_u = 1,1 \times a_u = 1,1 \times 2,1 = 2,27 \text{ см}$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4F_{cm}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,35}{3,14}} = 2,3 \text{ см}$$

Эскизы сечений элементов литниковой системы показываются на рис. 8.21.

2.3. Выбор формовочных, стержневых смесей, способа изготовления форм и стержней, сборка, заливка литейных форм, охлаждение, выбивка отливок форм, очистка, отделка и термическая их обработка

2.3.1. Выбор формовочных и стержневых смесей

Формовочные и стержневые смеси выбирают в зависимости от марки материала отливки, толщины стенок, способа формовки.

Литейные легированные стали имеют плохие литейные свойства: пониженную жидкотекучесть, значительную усадку (до 2,5 %), что приводит к образованию усадочных раковин, пористости и трещин. Для предупреждения трещин необходимо формы изготавливать из податливых формовочных и стержневых смесей. А высокая температура заливки (1550-1600 °С) требует применения формовочных и стержневых смесей с высокой огнеупорностью.

В качестве исходных материалов выбираем рекомендуемый типовой состав стержневой и формовочной смесей, применяемых при получении стальных отливок.

Состав стержневой смеси:

- оборотная смесь – 40 %
- кварцевый песок – 45 %
- огнеупорная глина – 8 %
- связующее СП – 4-5 %
- опилки древесины – 3 %

Марка песка КО2А с содержанием глинистых до 12 %. Газопроницаемость смеси в сыром состоянии не менее 70 единиц.

Состав формовочной смеси:

- оборотная смесь – 97 %
- кварцевый песок – 0,5-3 %
- глина – 0,1-0,2 %
- гранулированный уголь – 0,1 %
- газопроницаемость не менее – 95 %
- влажность – 3 %

– текучесть –70 %

Для других марок и сплавов выбор формовочных и стержневых смесей осуществляем в соответствии [2, 3, 5, 7].

2.3.2. Выбор способа изготовления литейной формы и стержня

Применяют два способа изготовления форм и стержней: ручной и машинный. В данном случае имеем недостаточно большую серийность, но с учетом развития производства выбираем машинную формовку. Применение пескодувных машин позволяет совмещать две операции: наполнение и уплотнение. При изготовлении литейных форм и стержней на пескодувных машинах достигается большая скорость формообразования. Рациональным давлением надува при формообразовании является $4,5 \div 6,5$ Па. Время надува около 1 с. Этим параметром соответствуют пескодувный полуавтомат модели 912857. Цикловая производительность до 150 съемов в час.

Сборку литейных форм начинаем с установки нижней полуформы на заливочную площадку. Затем устанавливаем стержни в последовательности, указанной в технологической карте. После этого нижнюю полуформу накрывает верхней полуформой по направляющим штырям. Устойчивое положение стержней обеспечивается стержневыми знаками. Верхнюю полуформу с нижней скрепляем болтами, скобами или накладываем груз.

Заливку металла в полости литейной формы осуществляем из чайникового ковша, который от электродуговой плавильной печи с расплавленным металлом к месту заливки перевозят по монорельсовому пути. Температуру заливки металла назначаем на $100-150$ °С выше температуры ликвидуса: при этой температуре обеспечивается оптимальное питание отливок и исключается сильное окисление, газонасыщение, и пригар на поверхности отливок, а так же исключается незаполнение полости формы металлом.

Охлаждение отливок в форме до выбивки осуществляем обдувом воздухом. После охлаждения отливок до температуры 450 °С [6] удаляем их из формы на вибрационных машинах (марки 0-15) [7] путем разрушения литейной формы. Пустые опоки отправляются на изготовление новых литейных форм, формовочная смесь – в смесеприготовительное отделение, а отливки – на отжиг, очистку. Одновременно удаляются и стержни. Очистку поверхности отливок от пригара, формовочной и стержневой смеси осуществляем в дробемет-

ных камерах. После очистки отливок газовой резкой удаляются литниковая система и прибыли, а затем их отправляют к обдирочным станкам, где зачищают остатки прибылей, литниковой системы, заливки.

Для снижения твердости поверхности отливки и снятия внутренних напряжений перед механической обработкой производится отжиг при 650-700 °С. После отжига отливки отправляются на механическую обработку.

Контрольные вопросы

1. Какие способы литья применяют для получения отливок?
2. В зависимости от каких факторов выбирают линию разъема?
3. Как выбирают линию разъема?
4. В зависимости от каких параметров выбирают уклоны?
5. Какие факторы влияют при назначении припусков на механическую обработку?
6. От каких показателей зависят размеры стержневых знаков?
7. Какие параметры оказывают влияние на размеры модельной плиты, стержневого ящика, литейной формы?
8. В зависимости от чего выбирают состав формовочных и стержневых смесей?

Литература

1. ГОСТ 3.1125-88 Единая система технологической документации. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок.
2. ГОСТ 26645-85 Отливки из металлов и сплавов.
3. ГОСТ 3212-92 Комплекты модельные, стержневые знаки.
4. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности
5. Титов Н.Д. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1974. – 471 с.
6. Емельянова Л.П. Технология литейной формы. – М.: Машиностроение. 1979. – 240 с.
7. Справочник по чугуному литью /Под ред. Н.Г. Гиршовича. – М.: Машиностроение. 1978. – 758 с.
8. Матюхов В.Г. Техника безопасности в литейном производстве. – М.: Высшая школа, 1980. – 90 с.
9. Анисимов Н.Ф., Влачев В.Н. Проектирование литых деталей. – М.: Машиностроение, 1977. – 664 с.

Лабораторная работа № 9

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК

Цель работы: ознакомить студентов с методами определения свойств формовочных смесей, технологией ручной формовки литейных форм, изучить влияние состава формовочных смесей на их газопроницаемость и прочность.

Оборудование и материалы: образцы чугуновых отливок из белого и высокопрочного чугунов, лабораторная тигельная печь, закаточная ванна, полировально-шлифовальная машина, микроскоп металлографический, реактивы для травления микрошлифов, прессы определения твердости по методам Бринелля и Роквелла.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с видами термической обработки отливок из чугунов.
2. Изучить структуру образца отливки из белого и высокопрочного чугунов. Замерять твердость образцов.
3. Произвести закалку образца из высокопрочного чугуна, изучить структуру металла и измерять его твердость. Сделать вывод о влиянии закалки на структуру и свойства сплава.
4. Получить у преподавателя образец ковкого чугуна, изучить его структуру, измерить твердость. Сделать заключение о том в соответствии с каким графическим режимом осуществлялся отжиг белого чугуна. Описать полученную структуру. Сделать вывод о влиянии отжига на твердость сплава.

Общие сведения

Для отливок из чугунов применяются в основном два вида термообработки: отжиг и закалка с отпуском. При отжиге уменьшаются напряжения, появившиеся в обрабатываемой детали, а также происходит направленное изменение структуры металла. В случае закалки уровень температуры превышает уровень температуры фазового перехода, после чего обрабатываемая деталь быстро охлаждается с помощью охлаждающей среды. Это, как правило, вызывает обратное отжигу изменение свойств материала. Можно получить различные результаты при использовании воды, масла или охлаждения на воздухе.

В тоже время и отжиг, и закалка с отпуском, обеспечивают получение самых различных сочетаний структуры чугунов.

Во многих случаях естественное охлаждение чугунных отливок приводит к реализации эффекта закалки. В результате происходит образование метастабильной фазы железоуглеродистых сплавов – цементита, преимущественно в поверхностных слоях металла. С точки зрения структурного анализа данный процесс называют отбеливанием, потому что зоны с преобладающим содержанием цементита плохо поддаются травлению стандартными реактивами. В процессе микроанализа на микрошлифе отбеленные зоны образуют светлые участки.

В процессах термообработки, отбеливание представляет собой охлаждение обрабатываемой детали с большей скоростью, чем на открытом воздухе. Это может быть достигнуто посредством быстрого погружения в воду или масло (рис. 8.1), а также путем принудительного охлаждения струей воздуха. Необходимо следить за постоянством скорости охлаждения обрабатываемой детали. При погружении в жидкости, необходимо перемещать деталь или непрерывно перемешивать жидкость, чтобы гарантировать полное и равномерное охлаждение всех участков обрабатываемой детали. Подобный принцип следует использовать и при закалке на воздухе, обдув должен затрагивать всю поверхность детали. Закалка позволяет получить в структуре отливки мартенсит или бейнит, и повысить твердость, прочность и износостойкость закаленного слоя.

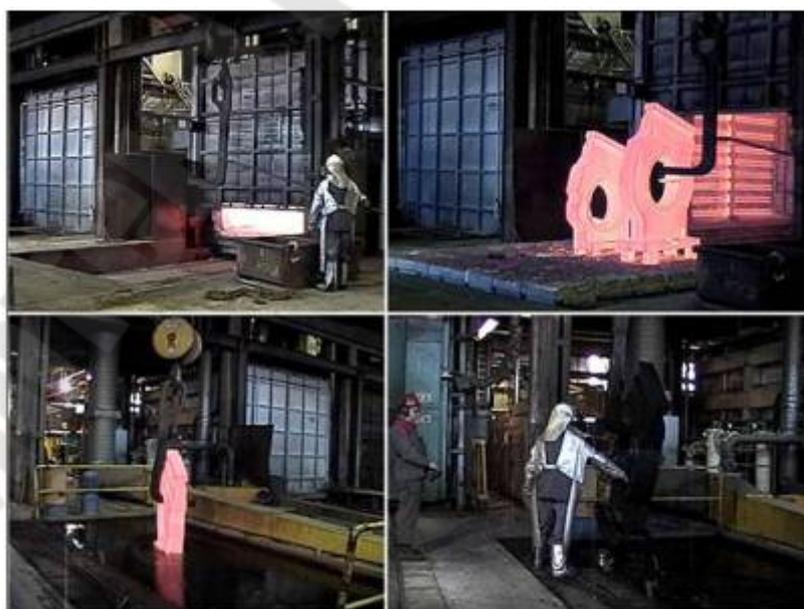


Рис. 9.1. Закалка горячей отливки сразу после термообработки

Процедура *отжига* для уменьшения напряжений заключается в нагреве отливки со скоростью 50–100 °С/час до 600 °С (следует внимательно следить за процессом и не превышать температуру 610 °С), после чего следует выдержка в течение минимум одного часа, плюс дополнительный час на каждые 25 мм толщины на самом толстом участке, и последующее охлаждение со скоростью 50 - 100 °С/час или меньше. Отливки должны соответствующим образом располагаться в печи так, чтобы расстояние между ними, позволяло свободно нагреваться всем обрабатываемым поверхностям.

В тонких участках отливок могут естественным образом формироваться отбеленные зоны, содержащие цементит. Такая структура наиболее часто формируется при получении чугуновых отливок в кокиле. Высокая теплопроводность металлических стенок формы, способствует ускоренному охлаждению мелких элементов отливки. Для устранения подобной ликвации проводят графитизирующий отжиг при температуре 900–925 °С в течение 3 - 5 часов, с последующим замедленным охлаждением отливок до температуры не ниже 400°С.

Наиболее тщательно процедуру отжига проводят для обработки отливок из белого чугуна. Как известно из изначальная структура отличается тем, что весь углерод, содержащийся в сплаве, связан в цементит. На первом этапе таких отливок осуществляют нагрев до температуры 930–1050 °С с выдержкой до 20 часов. В этот период происходит распад первичного цементита белого чугуна с образованием аустенита и графита. После этого следует медленное охлаждение со скоростью 20–35 °С/час, до температуры 760°С. После этого режим продолжения отжига зависит от того, какую структуру металлической матрицы нужно сформировать окончательно. Если требуется получить перлитную структуру основы сплава с высокой прочностью, медленное охлаждение не прерывают вплоть до комнатной температуры (рис. 8.2). Итоговая структура полученного композиционного материала будет иметь перлитную матрицу и графитовые включения хлопьевидной формы. Для частичного распада цементита, входящего в состав перлита, при температуре 760 °С начинают вторую стадию графитизации – изотермическую выдержку в диапазоне 760–700°С. Чем больше длительность данной выдержки, тем большее количество вторичного цементита, будет превращено в феррит и графит. На практике для получения смешанной структуры перлит+феррит вторую стадию графитизации продолжают не менее 10–15 часов. При увеличении длительности второй стадии графитизации

до 30 часов, происходит полный распад вторичного цементита. Итоговая структура такого сплава представлена только хлопьевидным графитом и металлической матрицей в виде феррита. Такой чугун обладает наиболее высокой пластичностью, которая может достигать 15 %. Одновременно снижается предел прочности сплава до уровня порядка 200 МПа.

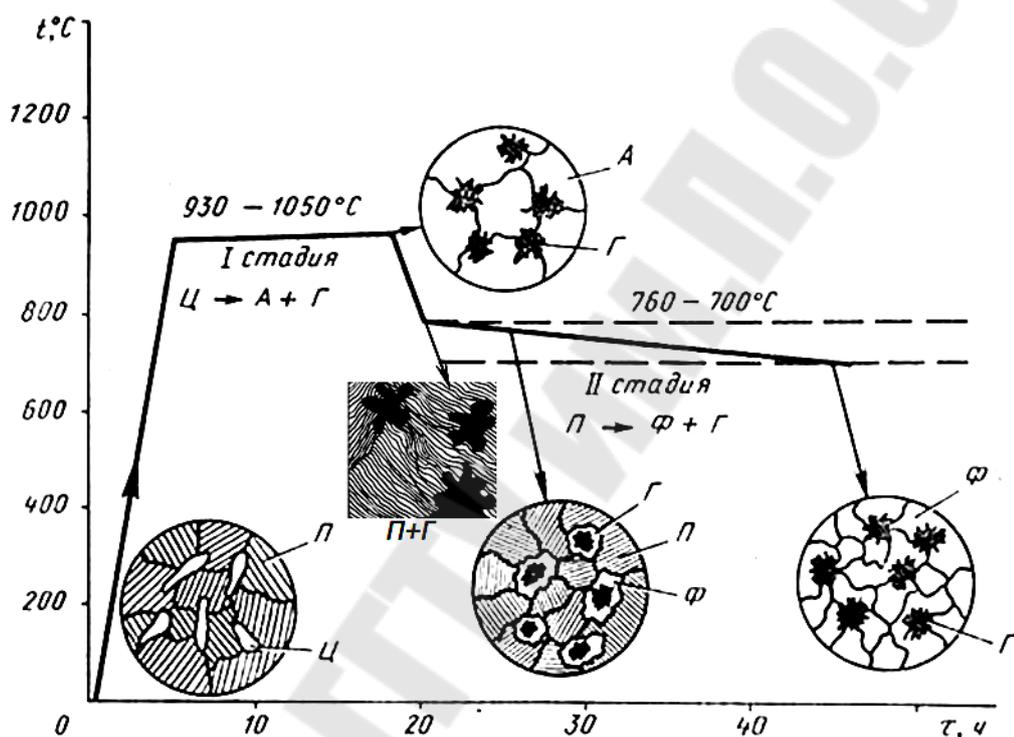


Рис. 9.2. График отжига белого чугуна на структуру ковкого

Нормализация для создания перлитной структуры. В процессе нормализации отливки выдерживаются при температуре выше критической, после чего необходимо провести охлаждение на открытом воздухе. Обычно выполняется повторная выдержка при температуре $900 - 925^\circ\text{C}$, чтобы гарантировать, что карбиды разрушены. Чтобы сформировать перлитную структуру, используется принудительное воздушное охлаждение. Тип имеющейся в наличии печи для термообработки и размер загрузки определяют требуемый производственный цикл процесса. Может понадобиться скорректировать структуру металла путем добавок олова или меди, что способствует полному формированию перлитных структур.

Формирование закаленных и отпущенных структур. Формирование структуры мартенсита, бейнита, троостита или сорбита. Зака-

ленные структуры создаются путем аустенизации отливки при температуре 900–920 °С, после чего следует закалка в масле. Отпуск обычно выполняется при температуре 600–650 °С.

Наиболее современной технологией термической обработки чугуновых отливок, является изотермическая закалка с получением аустенитно-бейнитной структуры металлической матрицы. Одновременно с формированием бейнита часть металлической матрицы превращается в феррит. Трудности с определением доли бейнита и феррита привели к тому, что на данном этапе развития технологии получения высоковязких чугунов условно считают, что их структура не содержит большого количества промежуточной фазы – бейнита, и чугуны называют аустферритными. Для того, чтобы сплав приобрел высокую прочность исходная структура графитовых включений должна быть шаровидной. Т.е. по сути речь идет от специальной закалке высокопрочных чугунов. В зарубежной классификации они получили название Austempered Ductile Iron (ADI). В отечественном литейном производстве их называют Аустенитно-бейнитным чугуном с шаровидным графитом (АБЧШГ). Одним из мировых лидеров в области освоения данных материалов является ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ». На этом предприятии запатентована марка высокопрочного чугуна ВЧТГ с аустенитно-бейнитной матрицей.

Термическая обработка ADI-чугуна представляет собой двухступенчатый процесс, схема которого представлена на рис. 9.3. Аустенизация выполняется при температуре 815–930 °С до полного создания аустенитной структуры. Это осуществляется либо в печи в неокисляющей атмосфере, либо в соляной ванне при высокой температуре. Температура и время выдержки определяются химическим составом, размером отливки и сортом требуемого ADI-чугуна; обычно достаточно 1–1.5 часа. Желательно проводить медленное начальное нагревание отливок, имеющих сложные формы, чтобы избежать риска образования трещин. Отливки затем подвергаются закалке при заданной температуре изотермической обработки, обычно между 210 и 400 °С. Это часто выполняется в соляной ванне.

Отливка выдерживается при этой температуре в течение 1–2 часов, до завершения процесса преобразования аустенита в аусферрит. Более низкие температуры дают высокую твердость, прочность и стойкость к износу, в то время как высокие температуры приводят к более высокой пластичности и жесткости. После изотермической обработки, отливка охлаждается до температуры окружающей среды.

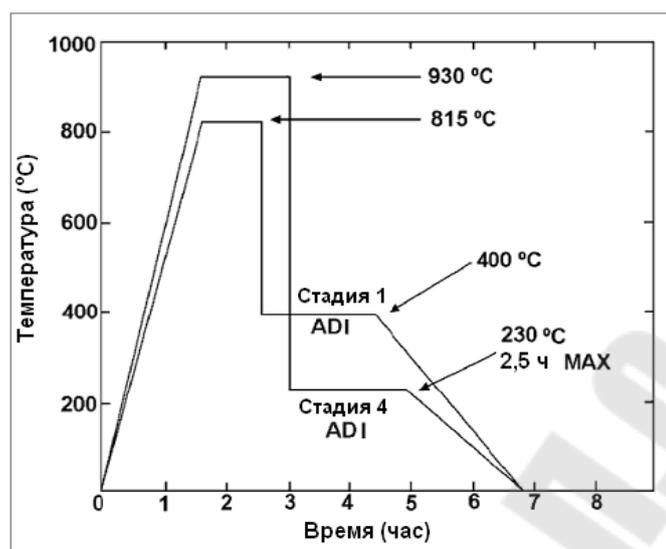


Рис. 9.3. Типичные стадии закалки ADI чугуна

Высокопрочный чугун, подвергнутый закалке на аустенит, используется в качестве замены стальной поковки в сельскохозяйственном, железнодорожном, автомобильном и общем машиностроении; например, для изготовления лезвия отвалов, зубьев землеройных машин, кронштейнов рессор, кронштейнов крепления задней оси, шестерен и т.д. Производство ADI-чугуна возрастает, но его использование ограничено до некоторой степени отсутствием соответствующих средств термической обработки.

Практическая часть

1. Получить у преподавателя образцы чугунных отливок из белого, ковкого и высокопрочного чугуна.
2. В соответствии с порядком выполнения работы провести необходимые исследования и эксперименты.
3. Оформить отчет. Занести результаты исследований в таблицу.

Материал образца	Изменение структуры и свойств экспериментальных образцов				Вид термической обработки
	структура		Твердость HB (HRC)		
	До ТО	После ТО	До ТО	После ТО	
Высокопрочный чугун					
Белый (ковкий) чугун					

4. Сделать вывод о влиянии термической обработки на структуру и свойства исследованных образцов из сплавов чугуна.

Контрольные вопросы

1. Какие формы графита существуют в чугунах?
2. Как влияет графит на механические свойства чугуна?
3. Какую металлическую основу имеют чугуны?
4. Для каких деталей рекомендуется использовать ковкий чугун?
5. Как получается в чугуне шаровидный графит?
6. Почему чугуны с шаровидным графитом называются высокопрочными?
7. Какие свойства чугунов зависят от металлической основы?
8. Где используют высокопрочные чугуны с шаровидным графитом?
9. Какой термической обработкой можно улучшить свойства высокопрочного чугуна?
10. Что понимается под названием аустферритный (аустенитно-бейнитный)чугун
11. Как получают ковкий чугун?
12. От чего зависит металлическая основа ковкого чугуна?

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ ВЫРУБКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: изучение технологического процесса вырубки, конструкции и работы вырубного штампа, принципа действия оборудования для листовой штамповки, освоение методики расчета усилия вырубки, экспериментальная проверка результатов расчета.

Содержание работы: изучение устройства и принципа действия оборудования и инструмента для разделительных операций холодной листовой штамповки; овладение навыками разработки технологического процесса вырубки; ознакомление с экспериментальными и теоретическими методами определения усилия вырубки.

Применяемое оборудование и материалы: лабораторный гидравлический пресс ПСУ-10, вырубной штамп, полоса из стали 10 КП толщиной 0,8-2 мм, машинное масло, штангенциркуль.

Порядок выполнения

1. Получить от учебного мастера полосовую заготовку, уточнить марку стали и ее механические свойства.
2. Расчетным путем определить усилие вырубки.
3. Ознакомиться с принципом действия вырубного штампа. Замерить диаметр пуансона, толщину заготовки.
4. Провести вырубку. Зафиксировать полученное усилие вырубки. Определить погрешность между экспериментальным и расчетным значением, усилия вырубки и сделать вывод по данной работе.

Общие сведения

Листовая штамповка – процесс обработки металлов давлением, при котором из листовой заготовки получается деталь плоской или пространственной формы. При этом толщина заготовки, как правило, не изменяется.

Все операции листовой штамповки делятся на разделительные и формоизменяющие. К разделительным относятся: отрубка, обрезка, вырубка, пробивка и др. Они обеспечивают отделение части заготовки.

Формообразующие операции изменяют форму заготовки без ее разделения. Это – вытяжка, гибка, обжим, отбортовка, скручивание, чеканка и др.

Заготовки обрабатывают с помощью инструментов – штампов.

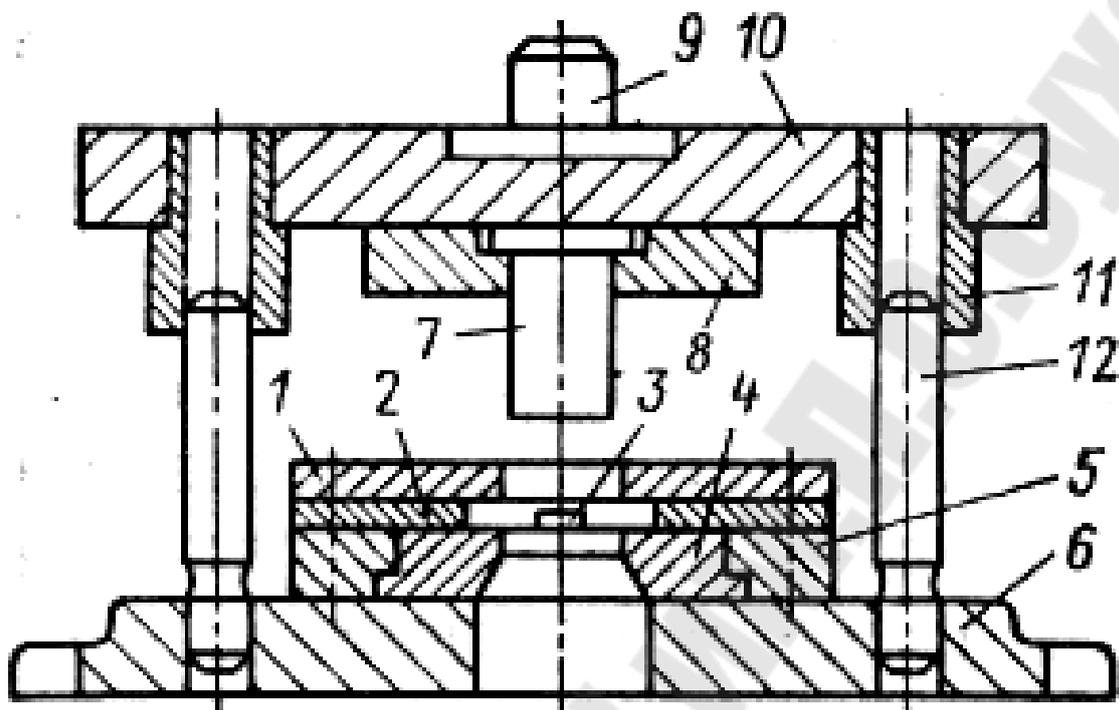


Рис. 10.1. Схема вырубного штампа:

- 1 – съемник; 2 – направляющие линейки; 3 – упор; 4 – матрица;
5 – матрицедержатель; 6, 10 – нижняя и верхняя плиты; 7 – пуансон;
8 – пуансонодержатель; 9 – хвостовик; 11 – направляющие втулки;
12 – направляющие колонки

Основой штампа (рис. 10.1) являются верхняя (6) и нижняя (10) плиты. На них крепятся остальные детали, и они, соответственно, образуют подвижную и неподвижную части штампа. Детали, непосредственно осуществляющими обработку заготовки, являются матрица (4) и пуансон (7). Пуансон крепится к верхней плите с помощью пуансонодержателя (8); матрица, направляющие линейки (2) и съемник (1) прикреплены к нижней плите с помощью болтов (на чертеже показаны лишь оси болтов). Положение заготовки относительно матрицы и пуансона определяется направляющими линейками (2) (определяют размеры заготовки и детали) и упором (3) (определяет шаг подачи заготовки). Направляющие колонки (12) запрессованы в нижнюю плиту, направляющие втулки (11) – в верхнюю. Хвостовик (9) закреплен в верхней плите за счет своего цилиндрического буртика, подкладной плиты и плиты пуансонодержателя.

Для обеспечения работы штампа его устанавливают на пресс. Для листовой штамповки наиболее часто применяют кривошипные прессы, реже – гидравлические и фрикционные. В отдельных случаях применяют электрогидравлическую штамповку взрывом. Схема кривошипного прессы представлена на рис. 10.2.

Пресс работает следующим образом. Электродвигатель (9) через шестерню (8) приводит маховик в непрерывное вращение. Маховик выполнен массивным и за счет этого накапливает при вращении значительную кинетическую энергию. При включении рабочей пусковой педали или кнопки включается муфта (6), соединяющая маховик с коленчатым валом (5). Под действием маховика коленчатый вал совершает один оборот, после чего муфта выключается и коленчатый вал останавливается. При вращении коленчатого вала связанный с ним шатун (4) приводит в действие ползун (3). При этом на первой половине оборота коленчатого вала ползун опускается вниз, затем на второй половине оборота поднимается вверх и останавливается в исходном положении.

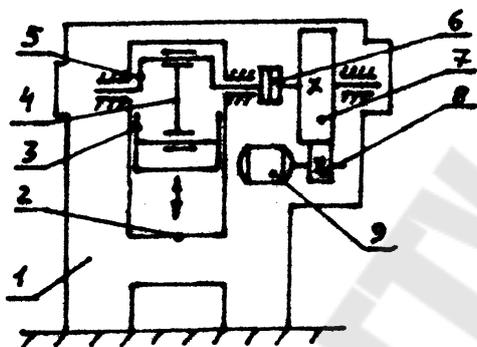


Рис. 10.2. Схема кривошипного прессы:
1 – станина; 2 – стол прессы; 3 – ползун;
4 – шатун; 5 – коленчатый вал;
6 – соединительная муфта; 7 – маховик;
8 – шестерня; 9 – электродвигатель

Штамп крепится нижней плитой на столе прессы (2) с помощью винтовых прижимов, верхней плитой – к ползуну с помощью хвостовика и винтовых прижимов.

Кривошипные прессы имеют высокую производительность, надежны в эксплуатации, выпускаются усилием от 6,3 до 100 МН.

Листовую штамповку проводят без нагрева заготовки и поэтому она основана на использовании пластичности обрабатываемых материалов. Выбор материала для изготовления конкретной детали осуществляют исходя из комплекса таких его свойств, как пластичность и прочность. Наиболее часто применяются низкоуглеродистые и низколегированные стали.

Под **вырубкой** понимается полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига.

Под **вырубкой** понимается полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига.

Для максимально полного использования металла листовая заготовка подвергается раскрою.

Раскром металла называют рациональное расположение вырубаемых деталей на исходном материале – листе, полосе, ленте. Принятый тип раскроя во многом определяет расход металла на изделие. На рис. 10.3 приведены схемы раскроя. Существует три основных типа раскроя: с технологическими отходами, малоотходный и безотходный.

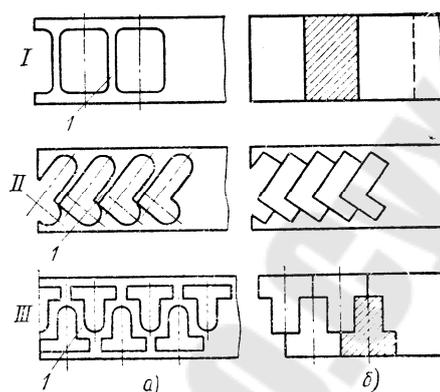


Рис. 10.3. Схема раскроя

Качество реза и усилие, необходимое для осуществления выруб-ки, в значительной степени зависят от величины зазора между пуансоном и отверстием матрицы. Оптимальным является зазор порядка 5–10 % от толщины заготовки. Возрастание зазора приводит к растяжению и изгибу материала в месте разреза. В этом случае отделению детали предшествует затягивание металла в зазор между пуансоном и матрицей и его упрочнение. В результате получается изделие с большим заусенцем со стороны пуансона. Помимо ухудшения качества изделия, вырубка с большими зазорами требует повышенных усилий, т. к. необходимо затрачивать работу не столько на скол металла, сколько на разрыв утяжины, образующейся по периметру между пуансоном и матрицей. Кроме того, контактное трение между режущими кромками пуансона и матрицы и находящегося между ними металла заготовки способствует повышенному тепловыделению, что интенсифицирует процесс износа и затупления режущих кромок пуансона и матрицы. Малые зазоры между матрицей и пуансоном требуют точного направления пуансона относительно отверстия матрицы. Оборудование, приводящее штамп в действие, не может осуществить подобное точное направление, поэтому эту функцию выполняют направляющие колонки и втулки штампа. Отверстие втулки и наружная поверхность колонки обработаны с высокой точностью и при движении втулки по колонке осуществляется точное центрирование пуансона относительно матрицы. Однако полное устранение зазоров между сопрягаемыми деталями нецелесообразно с точки зрения технологичности их установления. Поэтому применение зазора между пуансоном и матрицей ме-

нее чем 5 % от толщины заготовки может привести к неточному центрированию пуансона относительно матрицы.

Практическая часть

Произвести расчет усилия вырубki. Усилие вырубki (пробивки) зависит от многих факторов: толщины и механических свойств заготовки, длины вырубаемого контура, величины зазора, остроты режущих кромок матрицы и пуансона.

Усилие вырубki является важнейшим параметром, по которому осуществляется выбор кузнечно-прессового оборудования, т. к. осуществить процесс обработки металлов давлением возможно только в том случае, если требуемое для этого усилие окажется меньше номинального (рабочего) для имеющегося оборудования.

Приближенно, с достаточной для технологических целей точностью, усилие вырубki P определяется по следующей формуле:

$$P_g = \kappa L \cdot S \cdot \sigma_{cp}. \text{ (Н)}, \quad (10.1)$$

где κ – эмперический коэффициент пропорциональности, с помощью которого учитывают трудно поддающиеся учету факторы (обычно $\kappa = 1,2-1,3$);

L – длина вырубаемого контура в мм;

S – толщина заготовки в мм;

σ_{cp} – сопротивление материала срезу в МПа.

В свою очередь

$$\sigma_{cp} = (0,75 - 0,85) \sigma_g, \quad (10.2)$$

где σ_g – временное сопротивление разрыву в МПа, определяется по справочникам механических свойств [2].

Студентам необходимо произвести расчет усилия вырубki детали в виде круга при заданных размерах детали и марке материала. При этом диаметр заготовки и марка материала берутся из таблицы, толщина детали задается преподавателем.

Таблица 10.1

Индивидуальные задания для расчета усилия вырубki

Вариант задан.	Диаметр детали, мм	Марка сплава	Предел прочности, МПа	Вариант задан.	Диаметр детали, мм	Марка сплава	Предел прочности, МПа
1	10	0,8кп	330	15	100	15Г	410
2	20	Ст2кп	400	16	20	Ст4кп	500
3	30	15Г	420	17	60	10кп	350
4	35	10кп	350	18	40	0,8	330
5	40	40	600	19	45	50	620
6	25	10кп	350	20	50	0,8пс	340
7	15	20кп	410	21	15	20пс	420
8	20	30	500	22	25	35	550
9	45	10пс	370	23	20	45	620
10	15	ВСт3	450	24	25	Ст3кп	450
11	60	0,8пс	340	25	40	ВСт3кп	450
12	65	10кп	350	26	70	Ст2кп	400
13	35	12Г2	550	27	30	0,8	330
14	45	30ХГС	700	28	50	10кп	350

Экспериментальная проверка расчетного значения усилия вырубki

С помощью лаборанта или преподавателя осуществить процесс вырубki на лабораторном гидравлическом прессе ПСУ-10, обеспечивающем усилие вырубki до 100 кН. В процессе вырубki провести наблюдение за работой штампа и замерить усилие штамповки. Эксперимент провести трижды, определить среднее значение усилия. Затем провести с помощью штангенциркуля необходимые обмеры заготовки, рассчитать теоретическое усилие вырубki и вычислить относительную погрешность E по формуле:

$$E = \frac{P_p - P_{экс}}{P_{экс}} \cdot 100 \%, \quad (10.3)$$

где P_p , $P_{экс}$ – расчетное и экспериментальные значения усилия вырубki.

Контрольные вопросы

1. Что такое вырубка и пробивка?
2. Каков принцип действия оборудования для листовой штамповки?
3. Из каких деталей состоит инструмент для листовой штамповки, каково назначение каждой из этих частей?
4. Какой должна быть величина зазора между пуансоном и матрицей? На что она влияет?
5. От чего зависит усилие вырубки, для чего оно применяется?

Литература

1. Технология конструкционных материалов /Под ред. А.М. Дальского. – М., Машиностроение, 1985. – С. 449.
2. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 165-178.

Лабораторная работа № 11

ИЗУЧЕНИЕ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия оборудования для вытяжки; изучить существующие схемы вытяжки; освоить методику расчета усилия вытяжки без прижима и ознакомиться с характером деформации заготовки; провести экспериментальную проверку расчетного значения усилия вытяжки.

Содержание работы: изучение устройства и принципа действия оборудования и инструмента для формоизменяющих операций холодной листовой штамповки. Освоение методики расчета усилия вытяжки без прижима. Изучение характера формоизменения заготовки в процессе вытяжки.

Применяемое оборудование и материалы: лабораторный гидравлический пресс ПСУ-10; вытяжной штамп; заготовка из стали 10 кп диаметром 30-1 мм и толщиной $0,8 \pm 2$ мм; машинное масло, штангенциркуль.

Порядок выполнения работы

1. Получить у учебного мастера цилиндрическую плоскую заготовку и уточнить, из какого материала она изготовлена.
2. Замерить диаметр и толщину заготовки, диаметр пуансона вытяжного штампа и расчетным путем определить усилие вытяжки.
3. Ознакомиться с устройством и принципом действия вытяжного штампа и гидравлического пресса ПСУ-10.
4. Провести вытяжку. Зафиксировать полученное усилие вытяжки. Определить погрешность между экспериментальным и расчетным усилиями вытяжки. Сделать вывод о влиянии формы пуансона, свойств материала заготовки и коэффициента трения между пуансоном – заготовкой – матрицей на силовые параметры процесса вытяжки.

Общие сведения

Вытяжка – это операция листовой штамповки, при которой плоская или полая заготовка превращается в объемную деталь, открытую с одной стороны. Наряду с отбортовкой, формовкой, гибкой и обжимом вытяжка относится к формообразующим операциям листовой штамповки.

Различают 3 вида вытяжки:

- вытяжка без прижима (рис. 11.1, а);
- вытяжка с прижимом (рис. 11.1, б);
- вытяжка с утонением стенок (рис. 11.1, в).

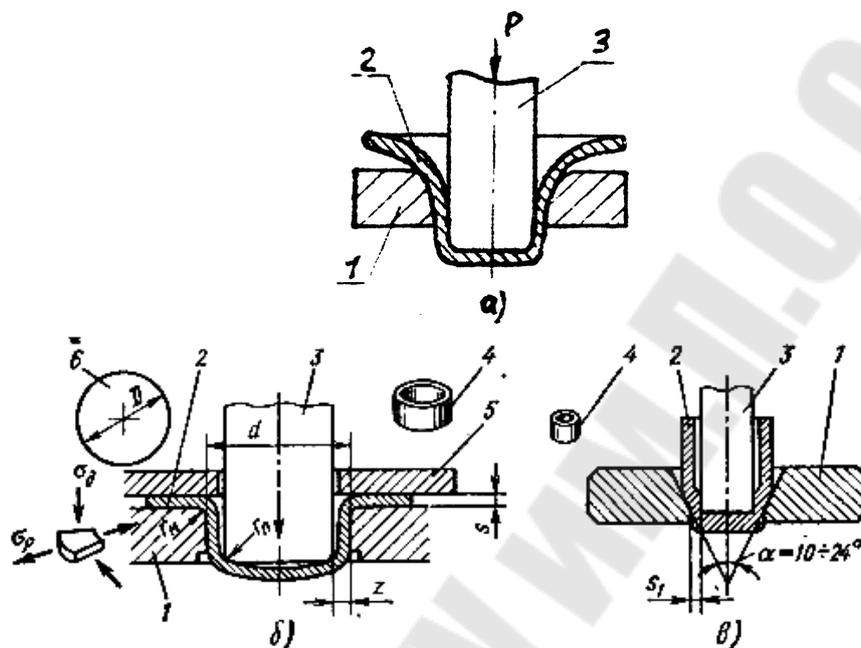


Рис. 11.1. Схемы вытяжки:

а – без прижима; б – с прижимом; в – с утонением стенок.

1 – матрица; 2, б – заготовка; 3 – пуансон; 4 – полученная деталь; 5 – прижим

Вытяжка является очень распространенным технологическим процессом, при помощи которого получают всевозможные крышки, стаканы, неглубокие сосуды и кофуха различной формы, металлическую посуду и т. д.

При вытяжке без прижима (рис. 11.1, а) плоская или полая заготовка проталкивается пуансоном через отверстие в матрице и за счет этого приобретает объемную форму, причем зазор между матрицей и пуансоном несколько больше толщины заготовки.

При вытяжке с прижимом (рис. 11.1, б) вначале край заготовки прижимается к матрице и лишь затем пуансон осуществляет вытяжку. Это позволяет избежать образование складок по краю вытягиваемой заготовки, но требует более сложного оборудования.

При вытяжке с утонением стенок (рис. 11.1, в) зазор между матрицей и пуансоном меньше, чем толщина заготовки, получающаяся при этом деталь имеет толщину боковых стенок меньшую, чем толщина доньшка.

В процессе вытяжки при превращении плоской детали в объемную происходит изменение площади боковой поверхности. Это изменение иллюстрирует рис. 11.2, на котором изображены исходная заготовка 1, полученная деталь 2 и развертка 3 боковой поверхности детали, совмещенная с заготовкой.

Сжатие периферии заготовки в радиальном направлении приводит к тому, что у получившейся детали толщина боковых стенок вдали от доньшка оказывается несколько больше, чем вблизи от доньшка; величина сжатия в радиальном направлении и, соответственно, усилие, требуемое для вытяжки, возрастает при увеличении глубины вытягиваемой детали.

При большой глубине усилие сжатия возрастает настолько, что заготовка может потерять устойчивость и заштрихованные «лишние» объемы металла образуют складки. Для предотвращения складок применяют вытяжку с прижимом, не дающим краям заготовки образовывать складки, или вытяжку с утонением стенок, при которой происходит течение металла вдоль оси образующейся детали (в радиальном направлении по отношению к заготовке).

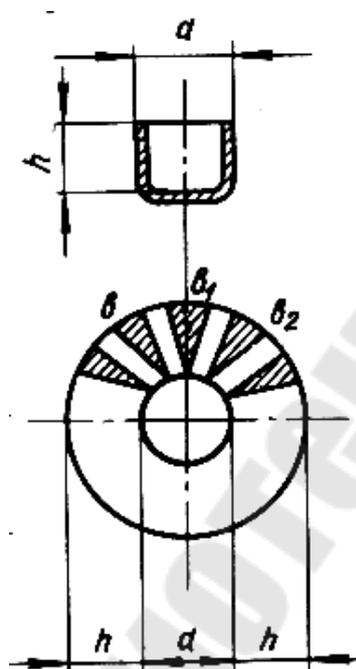


Рис. 11.2. Развертка полого цилиндра, образуемого вытяжкой

За одну операцию вытяжки можно получить изделие высотой не более 0,7-0,8 диаметра. Вытяжку более высоких изделий за один переход нельзя осуществлять из-за возможного отрыва доньшка. Количественным критерием, позволяющим определить предельное соотношение диаметра заготовки и получаемой детали, является степень вытяжки $K_в$, определяемая как отношение диаметра заготовки ($D_з$) к диаметру пуансона (d_n):

$$K_в = D_з/d_n. \quad (11.1)$$

Для разных материалов предельно возможные величины K различны и составляют обычно 1,8-2,1.

Пониженные значения степени вытяжки характерны для малопластичных материалов, большие — для высокопластичных.

Для увеличения предельно возможного K_v применяют пуансоны и матрицы со скругленными краями, заготовки перед вытяжкой хорошо смазывают, т. к. при вытяжке происходит значительное скольжение заготовки относительно матрицы и смазка снижает силы трения.

При необходимости получения детали, для которой K_v оказывается больше предельно возможного для данного материала, применяют вытяжку в несколько переходов. При этом в начале осуществляют вытяжку из плоской заготовки, используя матрицу и пуансон большего диаметра, а затем полученную деталь вновь подвергают вытяжке, но используют при этом матрицу и пуансон меньшего диаметра. Такая вытяжка называется вытяжкой в несколько (два и более) переходов и позволяет получать детали большой глубины.

На практике для оценки энергосиловых параметров вытяжки пользуются величиной, обратной степени вытяжки, называемой коэффициентом вытяжки:

$$m = \frac{1}{3} \cdot \frac{d_n}{D_3}. \quad (11.2)$$

Его предельное значение зависит от пластичности материала заготовки, относительной толщины листа S/D_3 и размеров инструмента.

Усилие, необходимое для вытяжки детали без ее разрушения, не должно превышать предельного усилия, равного прочности детали в ее наиболее слабом поперечном сечении. Максимальное усилие вытяжки – это усилие, при котором не отрывается дно вытягиваемого изделия. Для вытяжки без разрушения детали необходимо усилие:

$$P = \Pi S \sigma_g X, \quad (11.3)$$

где Π – периметр детали после вытяжки, мм;

S – толщина металла, мм;

σ_g – предел прочности материала заготовки, МПа;

X – коэффициент, учитывающий, напряжение в стенках вытягиваемого изделия, зависящий от коэффициента вытяжки, т.

Таблица 11.1

Величина поправочного коэффициента x в зависимости от коэффициента вытяжки m

m		0,55	0,575	0,6	0,625	0,65	0,675	0,7	0,725	0,777	0,8
Первый переход	X_1	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,55	0,45	0,4
Последующие переходы	X_2	-	-		-	-	0,97	0,93	0,89	0,85	0,8

Для деталей типа тел вращения формула для расчета усилия вытяжки имеет вид:

$$P = \pi d_{cp} S \sigma_s X_n, \quad (11.4)$$

где d_{cp} – средний диаметр получаемой детали, мм;

S – толщина материала заготовки, мм;

σ_s – предел прочности материала, МПа;

X_n – поправочный коэффициент, зависящий от эксплуатационных факторов.

Практическая часть

1. Рассчитать усилие вытяжки по формуле (11.4).
2. Провести экспериментальную проверку расчетной зависимости.
3. Определить погрешность между расчетным и экспериментальным значениями усилия вытяжки:

$$E = \frac{P_{расч} - P_{эксп}}{P_{эксп}} \times 100\%.$$

Таблица 11.2

Исходные данные для расчета усилий вытяжки

№ варианта	Диаметр заготовки	Диаметр детали	Марка сплава	Предел прочности, МПа
1	30	20	Ст2кп	400
2	30	25	08кп	330
3	35	20	10кп	350
4	35	25	15Г	410
5	35	30	40	600
6	40	25	20кп	410
7	40	30	30	500
8	40	35	ВСт3	450
9	45	25	ВСт3	450
10	45	30	08пс	340
11	45	35	08пс	340
12	50	30	08кп	330
13	50	35	10кп	350
14	50	40	10кп	350
15	55	30	45	610
16	55	35	45	610
17	55	40	Ст2кп	400
18	55	45	Ст2кп	400
19	60	35	Ст2кп	400
20	60	40	08	330
21	60	45	08	330
22	60	50	50	620
23	70	45	50	620
24	70	50	ВСт3кп	450
25	70	55	30ХГС	700
26	70	60	12Г2	550
27	45	45	10кп	350
28	55	40	08кп	330

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание видов вытяжки с соответствующими эскизами.

3. Описание хода выполнения работы (расчет усилия вытяжки заданной детали и экспериментальная проверка расчетной формулы).
4. Описание результатов изучения деформации металла в процессе вытяжки.
5. Вывод о зоне максимальных деформаций заготовки в процессе вытяжки.

Контрольные вопросы

1. Что такое вытяжка?
2. Какие существуют виды вытяжки?
3. Почему при вытяжке образуются складки?
4. Что такое степень и коэффициент вытяжки?
5. Что такое вытяжка в несколько переходов?
6. Какие деформации (растяжения или сжатия) происходят в различных зонах заготовки в процессе вытяжки?

Литература

1. Технология конструкционных материалов /Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 448.
2. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные материалы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 177-181.
3. ГОСТ 1050-74.

Лабораторная работа № 12

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОКОВКИ ПРИ СВОБОДНОЙ КОВКЕ

Цель работы: ознакомление с технологическим процессом получения поковок свободной ковкой и последовательностью выполнения операций.

Оборудование и материалы: оборудование – универсальный испытательный пресс, нагревательная печь, милливольтметр; ковочный инструмент – ковочные плиты, прошивки, топоры, клещи; измерительный инструмент – штангенциркуль; материалы – алюминий, свинец, сталь.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия гидравлического прессы.
2. Подготовить 3 образца из выбранных металлов к ковке.
3. Определить усилиековки прессованием в зависимости от степени уковки. Полученные результаты записать в таблицу.
4. Сделать выводы о влиянии степени уковки на усилиековки прессованием.
5. В соответствии с вариантом индивидуального задания (рис. 11.1. и табл. 6.1.) студент разрабатывает этапы технологического процесса получения поковки ковкой, где должно быть приведено:
 - эскиз детали, расчет объема детали (V_d) и массы детали (G_d);
 - эскиз поковки, расчет объема поковки (V_n) и массы поковки (G_n);
 - на эскизе поковки указаны размеры припусков и допусков в зависимости от точности изготовления (ГОСТ 7062 – 90 и ГОСТ 7829 – 70);
 - расчет размеров заготовки: объем заготовки ($V_{заг}$), ее диаметр ($d_{заг}$), длина ($L_{заг}$) и выбор заготовки [1];
 - температурный интервал нагрева заготовки под ковку [1];
 - количество переходов, применяемый инструмент дляковки и оснастка;
 - обоснование и выбор оборудования;
 - схемаковки поковки на выбранном оборудовании.

При выполнении и оформлении лабораторной работы чертежи детали, поковки, заготовки, схемы переходов, инструмента и оборудования выполняются эскизами.

1. Общие сведения о технологических операциях свободнойковки

Свободная ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью плоских бойков или универсального инструмента. Нагретую заготовку 1 (рис. 12.1) укладывают на нижний боек 3 и верхним бойком 2 последовательно деформируют отдельные ее участки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченный рабочими поверхностями инструмента.

Заготовки, получаемые ковкой, называются поковками и используются для получения деталей при последующей механической обработке.

Ковка – это один из возможных способов, применяемых при из-

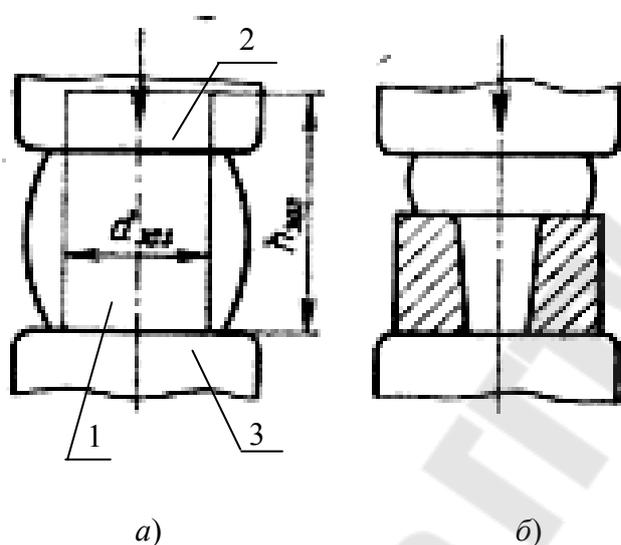


Рис. 12.1. Схема операции ковки:
а – осадка; б – высадка

готовлении крупногабаритных тяжелых поковок массой до 250 т. Исходными заготовками для получения таких поковок служат слитки массой до 350 т. Поковки средней и малой массы изготавливают из блюмов и сортового проката.

Технологические процессы ковки весьма разнообразны и состоят из сочетания основных и вспомогательных кузнечных операций. К основным операциям ковки относятся: осадка (высадка),

протяжка, прошивка, отрубка, гибка, разгонка, раскатка и др.

Осадка – операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения (рис. 12.1, а). Для успешного осуществления осадки необходимо, чтобы отношение высоты заготовки к площади поперечного сечения не превышало $1,5 \leq H \leq 2,5$. Нижний предел обусловлен удобством резки или рубки заготовки, а верхний – из условия недопущения продольного изгиба в процессе осадки. Осадка, осуществляемая на части высоты заготовки, является высадкой (рис. 12.1, б)

Наиболее распространенный способ высадки – высадка в подкладном кольце (рис. 12.1, б). В этом случае одновременно с осадкой происходит истечение металла в отверстия подкладных колец (кольцевых плит).

Осадка (высадка) используется для следующих целей:

- получения поковок с бóльшим поперечным сечением, чем у исходных заготовок;
- получения утолщений на поковках осей и валов;
- получения поковок со ступицами;
- повышения степени укова с целью улучшения механических свойств в различных направлениях;
- определения способности черных и цветных сплавов к деформации и выявления дефектов поверхности;
- устранения анизотропии и получения одинаковых свойств в различных направлениях.

Относительную деформацию при осадке определяют по формуле:

$$\varepsilon = -\frac{H_0 - H_n}{H_0} \cdot 100 \%, \quad (12.1)$$

где H_0 – высота заготовки (образца) до осадки, мм;

H_n – высота поковки, мм.

Коэффициент укова при осадке определяют из выражения:

$$y = \frac{H_0}{H_n} = \frac{F_n}{F_0}, \quad (12.2)$$

где F_n – площадь сечения поковки, мм²;

F_0 – площадь сечения заготовки (образца), мм².

Уков необходим для раздробления выросших зерен после нагрева заготовки под ковку. Минимальный уков при осадке заготовок из слитков: $y = 2 \div 3$. Если заготовкой при ковке служит прокат, то можно применять $y_{\min} = 1,25$.

Протяжка – операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Протягивать можно плоскими бойками (рис. 11.2, а) и вырезными (рис. 12.2, б) бойками.

Протяжка разгонкой – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. 12.2, в).

Протяжка с оправкой – увеличение длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 12.2, г). Выполняют в вырезных бойках (нижнем вырезном 3 и верхнем плоском 2 на слегка конической оправке 1).

Раскатка на оправе – операция одновременного увеличения наружного, внутреннего диаметров и ширины кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. Заготовка 5 деформируется между оправкой 6 и бойком 4. После каждого нажатия бойка заготовку поворачивают на определенный угол относительно оправки, которая закреплена на подставках 7 (рис. 12.2 д).

Прошивка – получение полостей в заготовке за счет вытеснения металла (рис. 12.3 а). Прошивкой можно получать сквозное отверстие или углубления. Инструментом для прошивки служат сквозные и пустотелые прошивки (рис. 12.3 б), диаметр которых выбирают не более $1/2 - 1/3$ наружного диаметра заготовки.

Отрубка – отделение части заготовки путем внедрения топора (рис. 11.3 в) для получения требуемого размера.

Штамповка в подкладных штампах для получения поковок сложной формы (рис. 12.3 г) ковкой.

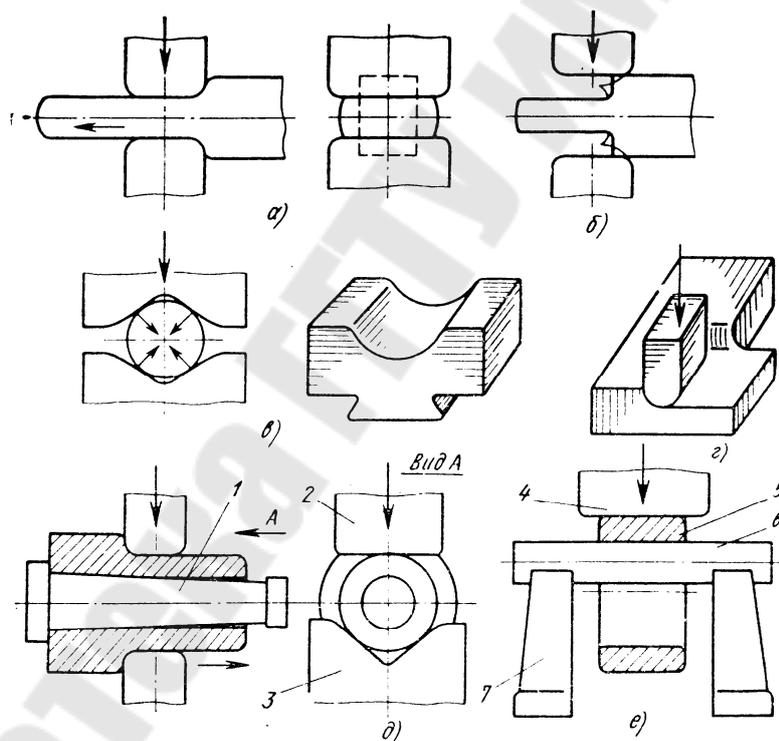


Рис. 12.2. Схема протяжки и ее операции

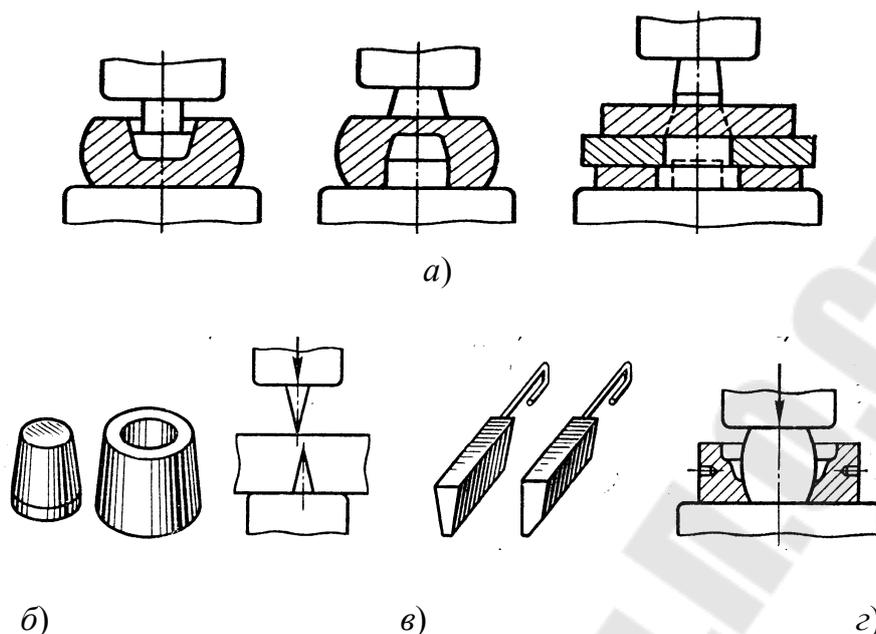


Рис. 12.3. Схема операцийковки

Разработка технологического процессаковки

Чертежпоковки составляют на основании разработанного конструктором чертежа готовой детали с учетом припусков, допусков и напусков (рис. 12.4). Припуск 2 – поверхностный слой металла поковки, подлежащий удалению обработкой резанием для получения требуемых размеров и качества поверхности готовой детали 1. Припуск 2 выбирают в зависимости от размеров поковки, ее конфигурации, типа оборудования, применяемого для изготовления поковки. Чем больше размеры поковки, тем больше припуск.

Допуск 4 – допустимое отклонение от номинального размера поковки, проставленного на чертеже, т. е. разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами поковки. Допуск назначают на все размеры поковки. Конфигурацию поковки можно упрощать за счет напусков 3, т. е. объемов металла, добавляемого к поковке сверх припуска для упрощения ее формы и технологического процессаковки. Напуски удаляют последующей обработкой резанием. Припуски и допуски назначают в строгом соответствии с ГОСТ 7829–55 для поволоков, изготавливаемых на молотах и ГОСТ 7062-67 – для поволоков, изготавливаемых на прессах.

Последовательность операцийковки устанавливают в зависимости от конфигурации поковки и технологических требований на нее, вида заготовки (слиток или прокат).

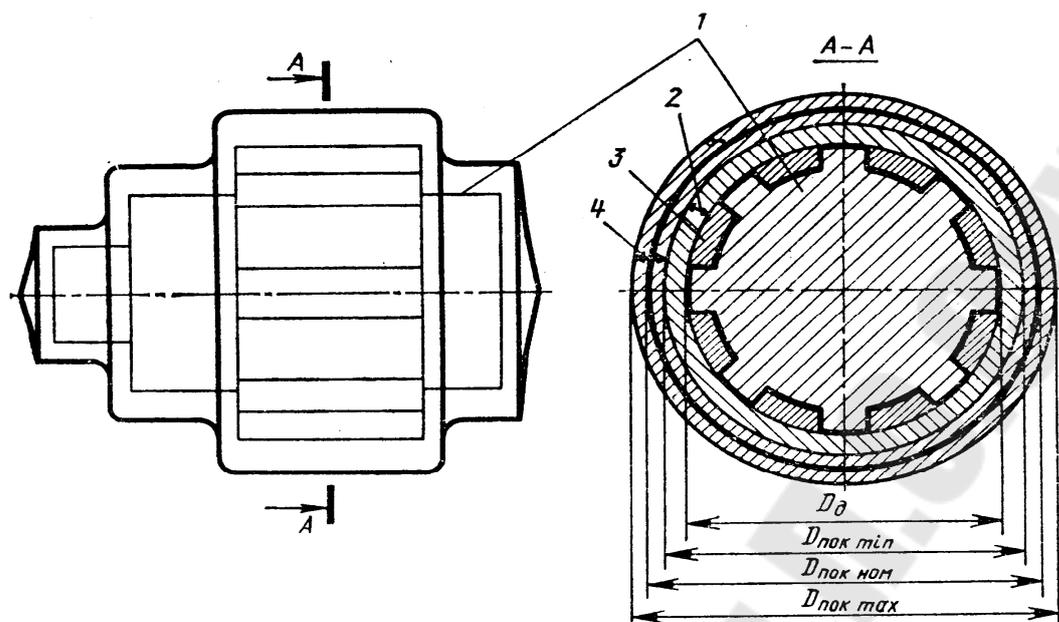


Рис. 12.4. Схема поковки с припуском (2), напуском (3), допуском (4)

Определение размеров, объема и массы заготовки из слитка или проката

После нанесения на чертеж детали припусков, допусков и напусков получается чертеж поковки. Поковку вычерчивают сплошными линиями по контуру тонких линий детали. Размеры поковки будут больше размеров детали на величину припуска, допуска, а иногда и напуска.

Массу поковки (G_n) определяют через ее объем (V_n), умноженный на плотность (γ). Суммарный объем поковки определяют так: поковку разбивают на элементарные объемы, которые можно вычислить, и суммируют.

Массу заготовки из слитка ($G_{заг}$) определяют:

$$G_{заг} = G_{нок} + G_{приб} + G_{дон} + G_{обс} + G_{уз}, \quad (12.3)$$

где $G_{приб}$ – масса прибыльной части слитка составляет 20 ÷ 25 % от массы слитка;

$G_{дон}$ = 5–7 % массы донной части слитка от общей массы слитка;

$G_{обс}$ – масса обсечек, это отходы на выдру при прошивке и концевые отходы при обрубке.

Объем отхода при прошивке:

$$V_{в} = K \frac{\pi d^2 e}{4} \cdot H, \quad (12.4)$$

где K – коэффициент, учитывающий условия прошивки;
 d – диаметр прошиваемого отверстия;
 H – высота заготовки перед прошивкой.

Длину концов на обрубку следует принимать:

- при ковке на молоте
 - для круглой поковки в плане ($d_{нок}$ – диаметр поковки)
 $l = 0,35 d_{нок} + 15$;
 - прямоугольного сечения $l = 0,25A + 15$ (где A – короткая сторона прямоугольного сечения);
- при ковке на прессе
 - для круглой поковки $l = 0,25d_{нок} + 25$;
 - для прямоугольного сечения $l = 0,13A + 50$.

$G_{уг}$ – отход на угар, берут в процентах от массы нагреваемой заготовки. При нормальных условиях за каждый нагрев угорает в среднем 3 % от массы заготовки и на каждом подогреве угар составляет 1,5 %. При ковке из проката на угар берут 2-2,5 % от массы поковки.

На выбор размеров заготовки также влияют вид основной формирующей операции при ковке (осадка или протяжка). Тогда при ковке поковки из слитка по известной массе заготовки выбирают слиток с ближайшей большей массой и устанавливают его размеры (длину или площадь поперечного сечения) с учетом укова [1].

При ковке из проката поперечное сечение заготовки выбирают по сортаменту в соответствии с ГОСТ 1133-71 с учетом укова:

$$F_{заг} = y_{\min} \cdot F_{нок_{\max}},$$

где $y_{\min} = 1,25$ – коэффициент укова из проката.

При осадке, зная массу заготовки, определяют ее размеры так, чтобы $1,25 \leq H/D \leq 2,5$. При выбранном соотношении H/D выбираем диаметр ($D_{заг}$) для круглой заготовки:

$$D_{заг} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_{заг}}{2}}. \quad (12.5)$$

Длину (высоту) заготовки определяем делением $V_{заг}$ на площадь поперечного сечения по окончательному уточненному в соответствии с выбранным сортаментом, диаметру:

$$L(H) = \frac{4V_{заг}}{\pi D^2_{заг}}. \quad (12.6)$$

Все отходы металла при ковке характеризуются коэффициентами:
 $K_{вг} = G_{нок}/G_{заг}$ – коэффициент выхода годного металла;
 $K_{р} = G_{заг}/G_{нок}$ – коэффициент расхода металла.
 Данные по этим коэффициентам приведены в [1].

Изучение оборудования дляковки

Для выполнения операций свободнойковки используются ковочные молоты и гидравлические прессы. Одним из основных типов молотов дляковки являются паровоздушные молоты, которые приводятся в действие паром или воздухом давлением 0,7 – 0,9 МПа. В зависимости от конструкции станины паровоздушные ковочные молоты подразделяются на двухстоечные (арочные, мостовые) и одностоечные.

Схема паровоздушного ковочного молота арочного типа приведена на рис. 12.5.

Молот содержит массивный шабот 1, на котором крепится нижний боек 15 с заготовкой. Для выполнения операцийковки удары по заготовке наносят верхним бойком 14, установленным на бабе 3, которая может скользить по направляющим 13 внутри станины. Посредством штока 4 баба 3 соединена с поршнем 5 рабочего цилиндра 6. Рукоятками управления или педалями осуществляется подача сжатого воздуха или пара в золотник 10 и в верхнюю часть цилиндра 6, создавая давление на поршень 5, который совместно с падающими частями 3, 4, 14 перемещается вниз и наносит удар по заготовке. В это время пар или воздух из нижней части рабочего цилиндра выходят в дроссель 11 и по обратной трубе 12 – на выход. Паровоздушные молоты двухстоечные имеют массу падающих частей от 1 до 10 т (табл. 12.2). На этих ковочных молотах изготавливают поковки массой (1000 – 8000 кг). Паровоздушные молоты и пневматические одностоечные имеют массу падающих частей от 0,075 – 16 т для изготовления поковок массой от 0,3–360 кг (табл. 12.1).

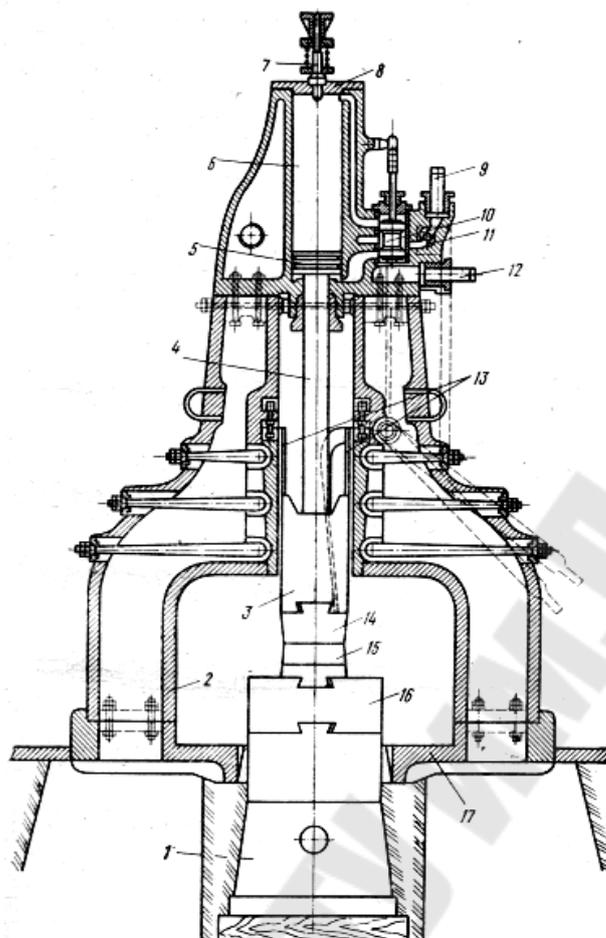


Рис. 12.5. Паровоздушный двухстоечный ковочный молот двойного действия со станиной арочного типа: 1 – шабот; 2 – стойка станины молота; 3 – баба; 4 – шток; 5 – поршень; 6 – цилиндр; 7 – предохранитель; 8 – крышка цилиндра; 9 – труба свежего пара; 10 – золотник; 11 – дроссель; 12 – обратная труба; 13 – направляющие; 14 – верхний боек; 15 – нижний боек; 16 – подушка; 17 – фундаментная плита

Гидравлические прессы-машины статического действия. С их помощью металл деформируется приложением усилия, создаваемого с помощью жидкости, подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Для изготовления ковкой крупных поковок используются гидравлические прессы с усилием 20-100 кН (табл. 12.2).

Таблица 12.1

Ковочно-штамповочное оборудование

	Масса поковки, кг		Масса падающих частей, т	Энергия удара, кДж	Частота ударов, мин ⁻¹	Производительность, кг/час
	Фасонные					
	средняя	наибольшая				
Ковочные паровоздушные молоты арочного и мостового типа ГОСТ 9752 – 75	20	70	1	25	71	215-500
	60	180	2	50	56	410-900
	100	320	3,15	80	56	560-1200
	200	700	5	125	45	740-1600
	350	1300	8	200	34	925-430
	Ковочные пневматические молоты ГОСТ 712 – 82	0,3	1,2	0,075	0,8	224
	1,5	4	0,15	1,4	212	37-100
	2,5	8	0,25	3,15	190	54-140
	6	18	0,4	5,6	150	85-200
	9	28	0,56	10	132	120-300
	12	40	0,75	16	112	160-375
	20	70	1	28	95	215-500
Ковочные паровоздушные одностоечные молоты ГОСТ 7025 – 75	1	-	0,63	16	110	200
	1-2,5	-	1	25	90	300
	2,5-7	-	2	50	80	600
	7-17	-	3,15	80	72	1000
	20-40	-	5	125	65	1750
	70-100	-	10	250	55	3000
	180-360	-	16	400	45	5000

Таблица 12.2

**Основные параметры ковочных гидравлических прессов
колонной и рамной конструкции (ГОСТ 72 84–80)**

Масса слитка, т	Усилие прессы, МН	Производительность, кг/ч
0,05	5	780 – 1360
8	8	1150 – 1830
5,5	12	1700 – 2450
14	20	2250 – 3250
33	31,5	2750 – 4500
62	50	3400 – 6000

Выбор ковочного оборудования

Выбор кузнечного оборудования (молота или прессы) производят по наиболее тяжелой операции технологического процесса, т. е. осадке. Если молот или пресс оказываются по усилию достаточными для осадки, то они будут достаточными и для всех других операцийковки.

Выбор прессы производят по усилию осадки в соответствии с формулой:

$$P = \sigma_{\sigma} \left(1 + 0,17 \frac{D_1}{H_1} \right) \frac{\pi D_1^2}{4}, \quad (12.7)$$

$$P = \sigma_{\sigma} \left(1 + 0,17 \frac{D_1}{H_1} - 0,33 \frac{H_1^2}{D_1^2} \right) \frac{\pi D_1^2}{4}, \quad (12.8)$$

где σ_{σ} – предел прочности конструкционной стали при ковочных температурах, МПа [1];

H_1 – высота поковки после осадки, мм;

D_1 – диаметр поковки после осадки, мм;

φ – масштабный коэффициент при осадке мелких заготовок, равный единице, а для крупных выбирается по табл. 12.3.

Таблица 12.3

Значения масштабного коэффициента φ при осадке

Масса заготовки, т	0,5	6,0	20	50	100
φ	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5

Пример 1. Определить усилие гидравлического ковочного прес-са, необходимое для осадки стальной заготовки размерами $D = 700$ мм, $H = 1400$ мм, из слитка массой 7 т (σ_g в холодном состоянии равно 70 кГ/мм^2 (700 МПа)). Осадку произвести до высоты $H_1 = 500$ мм. Температура окончания осадки равна 1100°C .

Решение. При $t = 1100^\circ\text{C}$ $\sigma_g = 4 \text{ кГ/мм}^2$ (40 МПа) [1].

Из таблицы 12.3 $\varphi = 0,7$

Средний диаметр после осадки:

$$D_1 = D \sqrt{\frac{H}{H_1}} = 700 \sqrt{\frac{1400}{500}} = 1180 \text{ мм};$$

$$F = \frac{\pi \cdot 1180^2}{4} = 1080000 \text{ мм}^2.$$

Усилие прессы по формуле (1.7):

$$P = 0,7 \cdot 4 \left(1 + 0,17 \frac{1180}{500} \right) \cdot 1080000 = 4230 \text{ т (41500 кН)}.$$

Усилие прессы по формуле (6.8):

$$P = 0,7 \cdot 4 \left(1 + 0,17 \frac{1180}{500} - 0,33 \frac{500^2}{1180^2} \right) \cdot 1080000 = 4060 \text{ т (40000 кН)}.$$

В обоих случаях выбираем пресс усилием 5000 т (5000 кН) по табл. 12.2.

Выбор молота для осадки производят по необходимой работе деформации за последний удар, т. к. при последнем ударе сопротивление пластической деформации наибольшее. Определяют также количество ударов из расчета всей работы идущей, на деформацию.

По энергии удара молота (E) и работе деформации за этот удар (A) определяют массу падающих частей ковочного молота ($G_{н.ч.}$):

$$A = E.$$

При этом работа деформации:

$$A = p \cdot V \cdot \varepsilon, \quad (12.9)$$

Энергию удара определяют через массу падающих частей молота и скорости их падения (v) в момент удара по поковке, т. е. работу деформации определяют по формуле:

$$E = \frac{A}{\eta_{y\delta}}, \quad (12.10)$$

где $\eta_{y\delta} = 0,8$ – коэффициент полезного действия удара.

Энергия удара от массы падающих частей находится по следующей зависимости:

$$E = 2,5 \cdot 10^3 \cdot G_{н.ч.} \quad (12.11)$$

Отсюда согласно формуле (6.9) имеем

$$2,5 \cdot 10^3 \cdot G_{н.ч.} \cdot \eta_{y\delta} = p \cdot \varepsilon \cdot V.$$

Находим $G_{н.ч.}$:

$$G_{н.ч.} = \frac{p \cdot \varepsilon \cdot V}{2,5 \cdot 10^3 \cdot \eta_{y\delta}}. \quad (12.12)$$

Необходимое число ударов молота

$$n = \frac{A_n}{0,8 \cdot E}, \quad (12.13)$$

где σ_σ – предел прочности для температуры за весь процессковки, МН/м²;

$p = 1,5 \cdot 10^3 \cdot \sigma_\sigma (1 + 0,17 D_1 / H_1)$ – удельное усилие в конечный момент удара, кГ /мм² (МПа);

V – объем заготовки, мм³;

$\varepsilon = 0,02 - 0,06$ – степень деформации за последний удар;

A_n – полная работа деформации за весь циклковки

$$D_1 = D \sqrt{\frac{H}{H_1}} \text{ – средний диаметр осадки, мм;}$$

D и H – диаметр и высота заготовки, мм;

H_1 – высота поковки, мм.

Окончательно массу падающих частей определяем по [2]:

$$G_{n.ч.} = 1,5 \cdot 10^3 \cdot \sigma_\epsilon \cdot [1 + 0,17D_1 / H_1] \cdot \epsilon \cdot V \quad (12.14)$$

или

$$G_{n.ч.} = 1,5 \cdot 10^3 \sigma_\epsilon \cdot [1 + 0,17D_1 / H_1 - 0,33 \cdot H_1^2 / D_1^2] \cdot \epsilon \cdot V. \quad (12.15)$$

Полная работа деформации определяется согласно [1]:

$$A_n = \sigma_\epsilon \cdot 10^{-3} \cdot \left[\ln \frac{H}{H_1} + \frac{1}{9} \left(\frac{D_1}{H_1} - \frac{D}{H} \right) \right] \cdot V. \quad (12.16)$$

Пример 2. Определить массу падающих частей молота и количество ударов для осадки стальной заготовки размерами $D = 110$ мм, $H = 180$ мм [σ_ϵ в холодном состоянии равно 40 кГ/мм² (400 МПа)]. Осадку произвести до высоты $H_1 = 90$ мм. Температура начала осадки 1200 °С, температура окончания осадки 900 °С.

Решение. При $t = 1200$ °С, $\sigma_\epsilon = 2$ кГ/мм² (20 МПа), а при $t = 900$ °С

$$\sigma_\epsilon = 4,5 \text{ кГ/мм}^2 \text{ (45 МПа).}$$

Средний диаметр после осадки

$$D_1 = D \sqrt{\frac{H}{H_1}} = 110 \sqrt{\frac{180}{90}} = 155 \text{ мм.}$$

Объем заготовки

$$V = \frac{\pi \cdot 110^2 \cdot 180}{4} = 1720000 \text{ мм}^3.$$

Величину ϵ определяют в пределах от $0,025$ до $0,06$, причем для мелких поковок берут большие величины, а для крупных – меньшие.

Принимаем $\epsilon = 0,06$.

Масса падающих частей по формуле (12.14):

$$G_{н.ч.} = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \cdot (1 + 0,17 \cdot 155/90) \cdot 0,6 \cdot 1720000 = 880 \text{ кг}$$

или по формуле (12.15):

$$G_{н.ч.} = 15 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \left(1 + 0,17 \frac{155}{90} - 0,33 \frac{90^2}{155^2}\right) \cdot 0,06 \cdot 1720000 = 805 \text{ кг.}$$

В обоих случаях выбираем молот с массой падающих частей $G_{н.ч.} = 1000$ кг и с энергией удара $E = 2500$ кг·м (24,5 кДж).

Полную работу деформации определяем при средней температуре осадки:

$$t = \frac{1200 + 900}{2} = 1050 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

При этом

$$\sigma_s = 3 \text{ кг/мм}^2 \text{ (30 МПа).}$$

Имеем:

$$A_n = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \left[\ln \frac{180}{90} + \frac{1}{9} \left(\frac{155}{90} - \frac{110}{180} \right) \right] \cdot 1720000 = 12650 \text{ кг} \cdot \text{м (124 кДж).}$$

Количество ударов определяем по формуле (12.13):

$$n = \frac{12650}{0,8 \cdot 2500} = 6,3, \text{ т. е. } 7 \text{ ударов.}$$

Контрольные вопросы

1. Назвать основные операции свободнойковки.
2. Перечислить общие требования к поковкам, получаемыхковкой.
3. Устройство и принцип действия паровоздушных молотов.
4. Перечислить основные этапы осадки в подкладных кольцах.
5. Определить последовательность расчета размеров заготовки при осадке в подкладных кольцах.
6. Как определяют величину укова при осадке?
7. Как производят протяжку?
8. Как разрабатывают процесс получения поковки ковкой?

Литература

1. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке /Под ред. И.В. Сторожева. – М.: Машгиз, 1985.
2. Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка. – М.: Высшая школа, 1972. – С. 352.
3. Брюханов А.Н. Ковка и объемная штамповка. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 408.
4. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. /Под. ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1985 – Т. 1.

Лабораторная работа № 13

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКОВОК ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ

Цель работы: ознакомление с разработкой технологического процесса получения поковок горячей объемной штамповкой.

Содержание работы: в соответствии с вариантом студент разрабатывает этапы технологического процесса получения поковки горячей объемной штамповкой.

Порядок выполнения работы: в представленном отчете выполненной лабораторной работы должно быть приведено:

1. Эскиз заданной детали: расчет объема детали (V_d) и массы детали (G_d).
2. Обоснование и выбор оборудования.
3. Эскиз поковки, нанесенной на эскиз детали:
 - выбор плоскости разъема;
 - определение припусков, напусков штамповочных уклонов и радиусов закруглений;
 - расчет заусенечной канавки;
 - конструирование наметки под прошивку;
 - расчет объема (V_n) и массы поковки (G_n).
4. Определение размеров заготовки: объема заготовки ($V_{заг}$), ее диаметра ($d_{заг}$), длины ($L_{заг}$).
5. Определение количества переходов.
6. Определение температурного интервала нагрева заготовок под обработку давлением.
7. Схема объемной штамповки на выбранном оборудовании
8. Схема прошивки перемычки и обрезки заусенца (рис. 13.6).

При выполнении и оформлении лабораторной работы чертеж детали и другие схемы выполняются чертежами.

1. Получение поковки горячей объемной штамповкой

Горячей объемной штамповкой называют процесс обработки металлов давлением нагретой заготовки с помощью специального инструмента – штампа. В результате приложенного усилия к частям штампа деформируемый металл заполняет полости штампа (ручьи) по

конфигурации, соответствующей форме будущей поковки. В зависимости от вида штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах (рис. 13.1 а, б).

Штамповка в открытых штампах (рис. 13.1 а) характеризуется переменным зазором между подвижной (1) и неподвижной (2) частями штампа. В этот зазор выдавливается облой и закрывает выход из полости штампа, что заставляет металл полностью заполнить всю полость. В заключительной стадии формирования поковки в заусенец выжимаются излишки металла, находящиеся в полости. Этим способом получают поковки всех типов (круглые и квадратные в плане, фланцы, крестовины, стержень с фланцем, удлиненные в плане, поковки с изогнутой осью и др.). Штамповка в закрытых штампах (рис. 13.1, б) характеризуется тем, что полость штампа в процессе штамповки закрыта, а зазор между частями штампа постоянный и образование заусенца в нем не предусматривается. Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах: уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в заусенец, более благоприятная микроструктура, т. к. волокна обтекают контур поковки, а не пересекаются в месте выхода металла в заусенец.

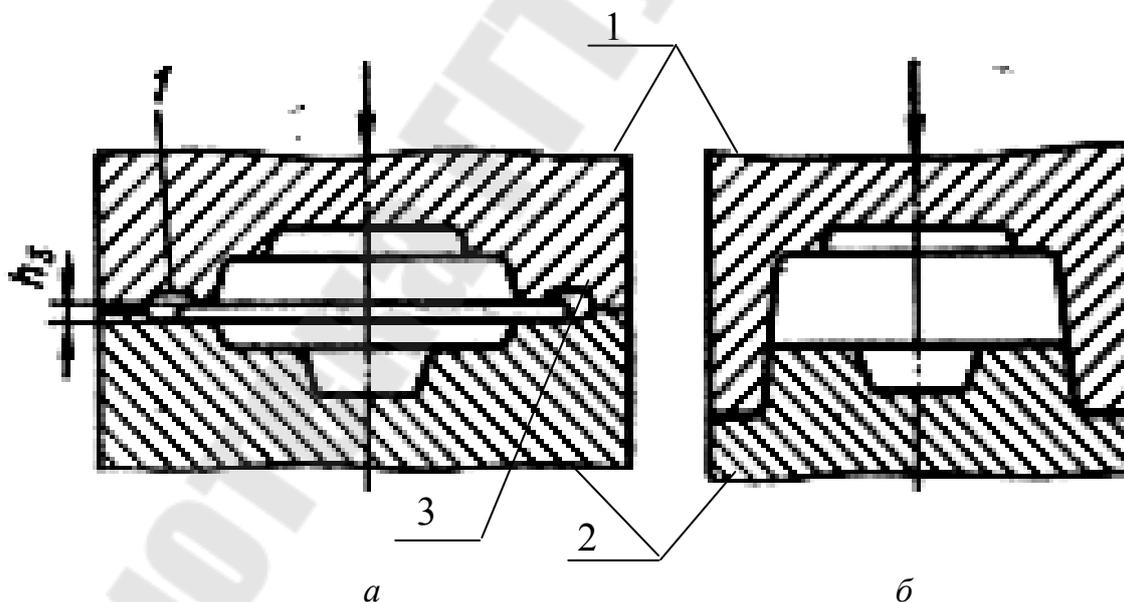


Рис. 13.1. Схема штамповки в (а) открытых и (б) закрытых штампах
1 – верхняя половина штампа; 2 – нижняя половина штампа;
3 – заусенечные канавки

2. Обоснование и выбор штампового оборудования

Оборудование выбирают исходя из назначения детали, технологических возможностей изготовления поковки, экономической целесообразности применения выбранного метода получения поковок.

Для горячей объемной штамповки применяют молоты (рис. 13.2), кривошипные горячештамповочные прессы (рис. 13.3), гидравлические прессы, горизонтально-ковочные машины и др.

В зависимости от массы поковки и с учетом ее сложности формы по таблицам справочников [3, 4] или методическим указаниям (табл. 13.1) устанавливается усилие прессы или молота.

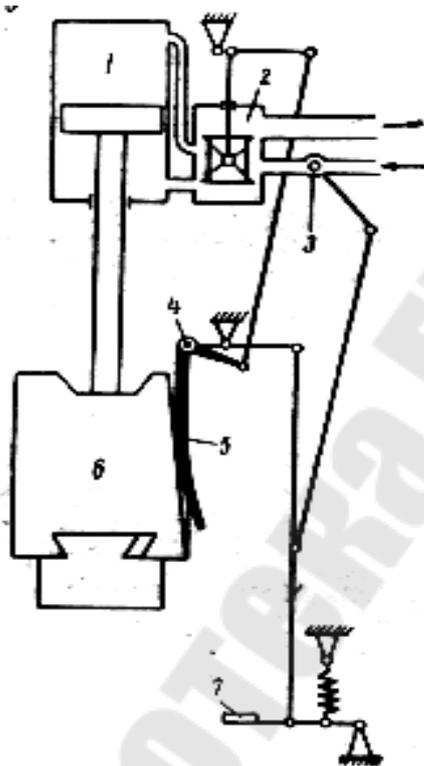


Рис. 13.2. Кинематическая схема паровоздушного молота двойного действия: 1 – рабочий цилиндр; 2 – золотник; 3 – дроссель; 4 – опора саблеобразного рычага; 5 – саблеобразный рычаг; 6 – баба; 7 – педаль

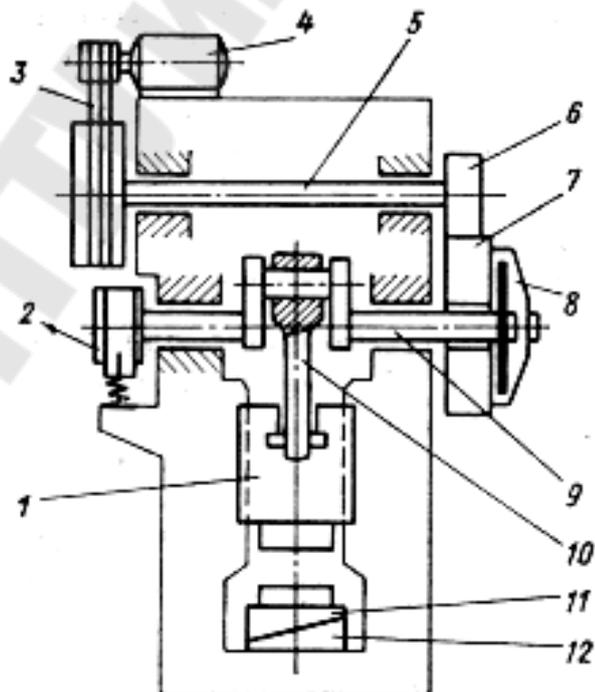


Рис. 13.3. Кинематическая схема кривошипного прессы: 1 – ползун; 2 – тормоз; 3 – клиноременная передача, электродвигатель; 4 – промежуточный вал; 5 – шестерня; 6 – зубчатое колесо; 7 – дисковая муфта; 8 – кривошипный вал; 9 – шатун; 10 – стол прессы; 11 – клин

Таблица 13.1

**Ориентировочные данные для выбора усилия
в зависимости от массы поковки**

Вид оборудования	Масса поковки, кг	Масса падающих частей молота или усилие прессы, т	Производительность, кг/ч
Штамповочные паровоздушные молоты двойного действия	1	0,63	200
	1-2,5	1,00	300
	2,5-7	2,00	600
	7-17	3,15	1000
	20-40	5,00	1750
	70-100	10,00	3000
	180-360	16	5000
Горячештамповочные кривошипные прессы	1	0,630	300-400
	1-2,5	1,0	400-600
	2,5-4	1,6	600-800
	4-7	2,0	800-900
	7-12	2,5	900-1100
	12-18	3,1	1100-1500
	18-22	4,0	1500-1800
	22-30	5,0	1890-2200
	30-50	6,3	2200-2800
	50-80	8,0	2800-3500

3. Разработка чертежа поковки

Чертеж детали является основным документом для разработки чертежа поковки. По чертежу поковки определяют количество ручьев в штампе и их конфигурацию, количество переходов.

Разработка чертежа поковки выполняется в следующей последовательности:

1. Выбор плоскости разъема (рис. 13.4 б), т. е. поверхности, по которой соприкасаются между собой верхняя и нижняя половины штампа. Плоскость разъема делит поковку на две части. Положение плоскости разъема должно обеспечивать:

- а) свободное удаление поковки из штампа;
- б) минимальную глубину полости штампа;

в) минимальные штамповочные уклоны.

Плоскость разъема должна пересекать вертикальную поверхность поковки для контроля сдвига одной половины штампа относительно другой (рис. 13.4 б) при штамповке в открытых штампах.

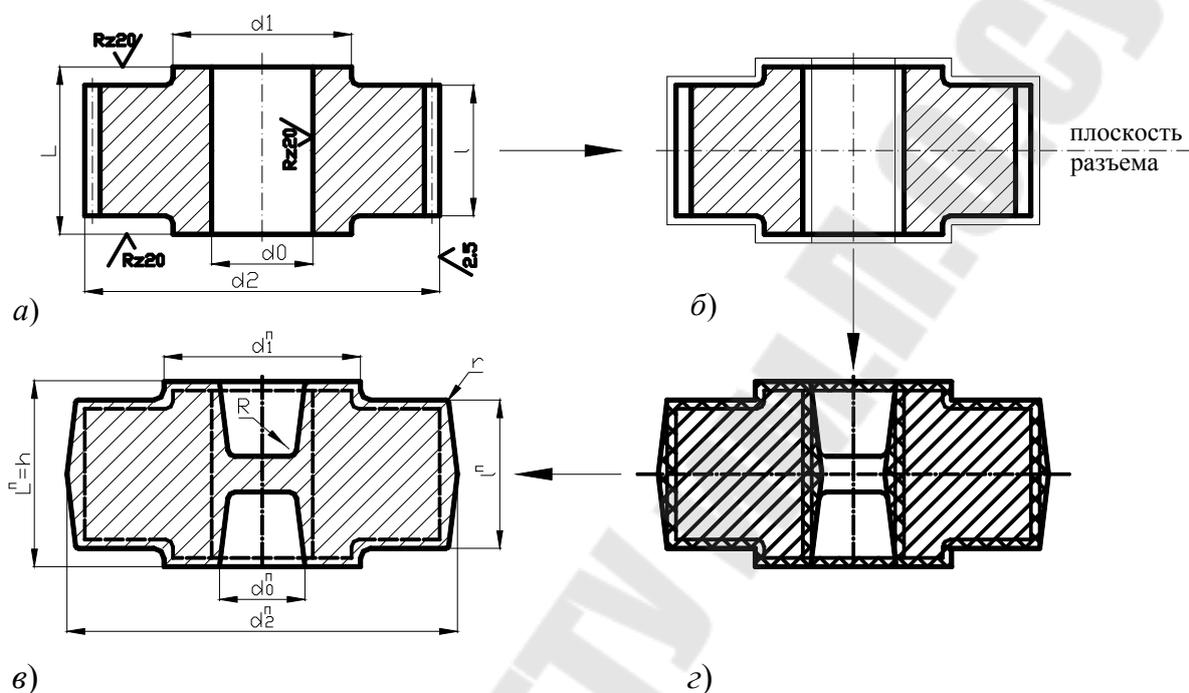


Рис. 13.4. Последовательность разработки чертежа поковки

Линию разъема указать на чертеже поковки.

1. Определить припуски на механическую обработку (рис. 13.4, б). Припуски на механическую обработку назначают главным образом на сопрягаемые поверхности. Величина припуска зависит от массы и габаритных размеров поковки, от вида оборудования, шероховатости обрабатываемой поверхности. Припуски выбирают по ГОСТу 7505–74 (табл. 13.2) с учетом группы точности поковок.

Группы точности поковок

1 – поковки большой точности массового производства, обрабатываемые резанием на специальном оборудовании и в специальных приспособлениях;

2 – поковки средней точности крупносерийного производства, обрабатываемые резанием на универсальных станках в специальных приспособлениях;

3 – поковки малой точности мелкосерийного производства, обрабатываемые на универсальных станках;

4 – поковки, подвергаемые плоскостной холодной калибровке на отдельных участках.

Таблица 13.2

Припуски на обработку на сторону в мм для чистоты обрабатываемых поверхностей до Rz⁸⁰√

Масса поковки, кг	Линейные размеры, мм							
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500	500-630	630-800
Поковки 1-й группы на прессах								
До 0,25	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7	1	1,1	1,3
0,25-0,63	0,	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
0,63-1,6	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7
1,6-2,5	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,7
2,5-4	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1
4-6,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3
6,3-10	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,4	2,5
10-16	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7
16-25	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9
25-40	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	3,1
40-63	-	-	-	-	-	-	-	-
Поковки 1-й группы на молотах								
До 0,25	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
0,25-0,63	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,63-1,6	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8
1,6-2,5	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1
2,5-4	1,2	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3
4-6,3	2,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5
6,3-10	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7
10-16	1,2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9
16-25	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1
25-40	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3
40-63	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5
63-100	2,9	3,0	3,2	3,5	3,5	3,6	3,7	4,0

Продолжение табл. 13.2

Поковки 2-й группы на прессах								
До 0,25	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	-	-	-
0,25-0,63	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	2,0	-	-
0,63-1,6	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,2	2,5	-
1,6-2,5	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,7	3,0
2,5-4	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2
4-6,3	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,8	3,1	3,4
6,3-10	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6
10-16	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,2	3,5	3,8
16-25	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,7	4
25-40	2,7	2,8	3,0	3,1	3,1	3,6	3,9	4,2
Поковки 2-й группы на молотах								
До 0,25	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	-	-	-
0,25-0,63	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1	-	-
0,63-1,6	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3	2,5	-
1,6-2,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1
2,5-4	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	3,4
4-6,3	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,6
6,3-10	2,3	2,4	2,5	2,7	2,9	3,2	3,4	3,8
10-16	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	4,0
16-25	2,7	2,8	2,9	3,1	3,3	3,6	3,8	4,2
25-40	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5	3,8	4,0	4,4
40-63	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,7
63-100	3,7	3,8	3,9	4,1	4,3	4,6	4,8	5,2
100-125	4,0	4,1	4,2	4,4	4,6	4,9	5,1	5,5
Поковки 3-й группы на прессах								
До 0,25	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	-	-	-
0,25-0,63	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3	2,7	-	-
0,63-1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	3,0	3,4	-
1,6-2,5	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,3	3,7	4,2
2,5-4	2,2	2,4	2,6	2,8	3,1	3,5	3,9	4,4
4-6,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7
6,3-10	2,8	3,3	3,2	3,4	3,7	4,1	4,5	5,0
10-16	3,0	3,2	3,4	3,6	3,9	4,3	4,7	5,2
16-25	3,3	3,5	3,7	3,9	4,2	4,6	5,0	5,5
25-40	3,6	3,8	4,0	4,2	4,5	4,9	5,3	5,8

Поковки 3-й группы на молотах								
До 0,25	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	-	-	-
0,25-0,63	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,9	-	-
0,63-1,6	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,4	3,7	-
1,6-2,5	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,7	4,0	4,6
2,5-4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9	4,2	4,8
4-6,3	2,8	3,0	3,2	3,4	3,7	4,2	4,5	5,1
6,3-10	3,2	3,4	3,6	3,8	4,1	4,6	4,9	5,5
10-16	3,4	3,6	3,8	4,0	4,3	4,8	5,1	5,7
16-25	3,7	3,9	4,1	4,3	4,6	5,1	5,4	6,0
25-40	4,1	4,3	4,5	4,7	5,0	5,5	5,8	6,4
40-63	4,5	4,7	4,9	5,1	5,4	5,9	6,2	6,8
63-100	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,8	7,1	7,7
100-125	5,8	6,0	6,2	6,4	6,7	7,2	7,5	8,1

Примечание. При более чистых поверхностях обработки прибавляют к припускам:

а) при чистоте поверхности от $Rz \sqrt[40]{\quad}$ до $\sqrt[2,5]{\quad}$ прибавляют 0,3-0,5 мм на сторону;

б) при частоте $\sqrt[2,5]{\quad}$ и выше – 0,5-0,8 мм.

Полученные размеры округляют в сторону увеличения припусков с точностью до 0,1 мм для поковок 1-й группы; до 0,5 мм для поковок 2-й группы; для поковок 3-й группы – до 1 мм.

Порядок назначения припусков на поковку

Во всех приведенных вариантах вычислить объем и массу поковки и назначить припуски в зависимости от массы и габаритных размеров.

Пример назначения припусков на поковку (рис. 13.4): $d_1 = 4,8$ см; $d_2 = 8,8$ см; $d_0 = 3,5$ см; $l_1 = 4,5$ см; $L = 1,5$ см. Объем и масса поковки: $V_n = 247,34$ см³; $m_n = 1,929$ кг.

Для поковки массой 1,929 кг второй группы точности, изготавливаемой на КГШП: $d_2 = 88$ мм припуск составляет 1,6 мм на сторону, с учетом шероховатости добавляем 0,5 мм. Получим $d_{2n} = 88+2(1,6 + 0,5) = 92,2$ мм. Округляем с точностью до 0,5, получим размер поковки равный 92,5 мм.

Для $d_1 = 48$ мм припуск составит 1,5 мм на сторону, с учетом шероховатости добавляем 0,3 мм, т. е. $d_{1n} = 48 + 2(1,5 + 0,3) = 51$ мм, округляя с точностью до 0,5, получим размер равный 51,5 мм.

Для диаметра $d_0 = 35$ мм припуск составит 1,5 мм на сторону, т. е. $d_0 = 35 - 2(1,5 + 0,3) = 31,4$ мм, округляя с точностью до 0,5, получим размер, равный 31,5 мм.

Величину припусков и размеров поковок занести в табл. 13.3 и указать на чертеже детали.

Табл. 13.3

Размер детали, мм	Чистота обработки поверхности Ra, Rz	Величина припуска (по таблице 3), мм	Припуск с учетом шероховатости, мм	Размер поковки, мм
$d_2 = 88$	2,5	1,6	0,5	$d_2^n = 92,5$
$d_1 = 48$	80	1,5	0,3	$d_1^n = 51,5$
$d_0 = 35$	20	1,5	0,3	$d_0^n = 31,5$

Определение штамповочных уклонов

Штамповочные уклоны назначают для облегчения удаления поковки из ручья штампа. Они устанавливаются на всех поверхностях поковки, параллельных направлению движения ползуна прессы (рис. 12.4, в).

Штамповочные уклоны наружных поверхностей (α) определяются по ГОСТ 7505-74 в зависимости от высоты поковки. Рекомендуется применять следующий ряд штамповочных уклонов: 3, 5, 7 и 10^0 . До 7^0 – для штамповочных наружных уклонов и 10^0 – для внутренних уклонов. При штамповке на молотах уклоны: внешних поверхностей 5- 7^0 и внутренних 7- 10^0 . При штамповке на прессах с выталкивателями в ползуне и столе уклоны внешних поверхностей составляют 3^0 и внутренних 5- 7^0 .

Размеры горизонтальных отрезков, образуемых этими уклонами, даны в табл. 13.4.

Таблица 13.4

**Размеры горизонтальных отрезков, образуемых
нормальными штамповочными уклонами (мм)**

Высота поковки, мм	Размеры горизонтальных отрезков мм при штамповочных уклонах в градусах			
	3°	5°	7°	10°
1	0,05	0,09	0,12	0,18
2	0,1	1,17	0,25	0,35
3	0,16	0,26	0,37	0,53
4	0,21	0,35	0,49	0,71
5	0,20	0,44	0,61	0,88
6	0,31	0,52	0,74	1,06
7	0,37	0,61	0,86	1,23
8	0,42	0,7	0,98	1,41
9	0,47	0,79	1,11	1,59
10	0,52	0,87	1,23	1,76
20	1,05	1,75	2,46	3,53
30	1,57	2,62	3,68	5,29
40	2,1	3,5	4,91	7,05
50	2,02	4,37	6,14	8,82
60	3,14	5,25	7,37	10,58
70	3,67	6,12	8,6	12,34
80	4,19	7,00	9,82	14,11
90	4,72	7,87	11,05	15,87
100	5,24	8,75	12,28	17,66

Определение наметки под прошивку

При штамповке с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому делают только наметку отверстия с перемычкой (рис. 13.4 г). Толщина перемычки определяется по формуле:

$$t = 0,45 \sqrt{d_{on} - 0,25 \frac{L_n}{2} - 5} + 0,6 \sqrt{\frac{L}{2}}, \text{ мм.}$$

Нанести на чертеж поковки перемычку.

Определение величины радиусов закруглений

Радиусы закруглений (рис. 13.4, з) сопрягающихся поверхностей необходимы для лучшего заполнения полости штампа, предохранения преждевременного износа штампа и для устранения концентраторов напряжений, приводящих к поломке штампа. Оптимальная величина внешнего радиуса закругления у поковки определяется соотношением: $r_n = r_\delta + П$,

где r_δ – радиус закругления внешнего угла детали;
 $П$ – величина припуска.

Внутренние радиусы закругления определяются: $R = (3 \div 4) r_n$.

Радиусы закругления внешних сопряжений определяются в зависимости от массы поковки и группы точности (табл. 13.5).

Таблица 13.5

Масса поковки, мг	Радиус внешних углов сопряжений для поковки групп точности, мм	
	1-я группа	2-я и 3-я группа
До 0,25	0,8	1,0
0,25 – 0,63	1,0	1,5
0,63 – 1,6	1,5	2,0
1,6 – 2,5	1,5	2,5
2,5 – 4	2,0	3,0
4 – 6,3	2,5	3,0
6,3 – 10	2,5	3,5
10 – 16	2,5	3,5
16 – 25	3,0	4,0
25 – 40	3,0	4,0
40 – 63	3,0	4,5
63 – 100	3,5	4,5
100 – 125	3,5	5,0
125 – 160	4,0	6,0
160 – 200	5,5	8,0

Расчет заусенечной канавки

В открытых штампах по периметру поковки в плоскости разреза предусматривается заусенечная канавка для выдавливания излишка металла. Узкая входная полость в заусенец обеспечивает высокое сопротивление истечению металла, благодаря чему более полно заполняет весь профиль штампа.

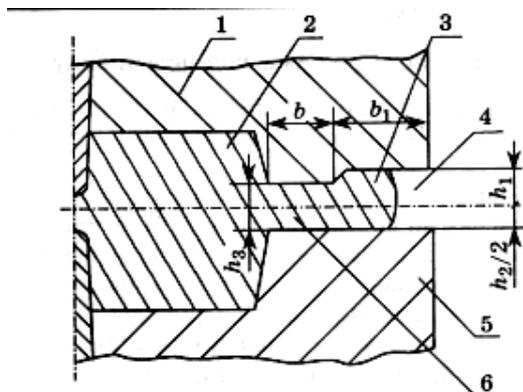


Рис. 13.5. Заусенечная канавка:

- 1 – верхняя половина штампа;
- 2 – поковка; 3 – облой; 4 – заусенечная канавка;
- 5 – нижняя половина штампа;
- 6 – заусенечный мостик

Заусенечная канавка (рис. 13.5) имеет пережимной мостик, толщина которого определяется по формуле $h_3 = 0,015 \sqrt{Fn}$ для поковок произвольной формы в плане площадью Fn .

Для поковок круглых в плане диаметром (D_n); $h_3 = 0,015$

Дп. Форма и размеры канавок для заусенца выбирают по таблице 13.6.

Таблица 13.6

Размеры канавки для заусенца

h_3 , мм	h , мм	b , мм	b_1 , мм	Площадь канавки для заусенца, S см ²
0,6	3	6	18	0,52
0,8	3	6	20	0,69
1,0	3	7	22	0,8
1,6	3,5	8	22	1,02
2	4	9	25	1,36
3	5	10	28	2,01
4	6	11	30	2,68
5	7	12	32	3,43
6	8	13	35	4,35
8	10	14	38	6,01
10	12	15	40	7,68

Определение размеров заготовки

Размеры заготовки для получения поковки должны учесть объем поковки (V_n), объем металла, идущего в заусенец ($V_з$), перемычку ($V_{пер}$), потери металла на угар.

Объем заготовки находят по формуле:

$$V_{заг} = (V_n + V_з + V_{пер}) \frac{100 + \delta}{100} \text{ см}^3,$$

где V_n , $V_з$, $V_{пер}$ – объемы поковки, заусенца и перемычки, см^3 ;

$$V_n = n \cdot V_{дет},$$

где n – коэффициент, учитывающий увеличение объема детали на припуски ($n = 1,2 - 1,4$);

δ – потери металла на угар, %.

Потери на угар определяют в зависимости от метода нагрева заготовок и составляют: электронагревательные устройства и пламенные нагревательные печи с безокислительным нагревом 0,3-1 %; в пламенных печах – 2-3 %.

Объем заусенца при штамповке:

$$V_з = \kappa \cdot S \cdot P_n \text{ см}^3,$$

где $\kappa = 0,5$ – коэффициент заполнения канавки;

S – площадь поперечного сечения канавки для заусенца в см^2 (табл. 13.6);

P_n – периметр поковки в плоскости разъема, $P_n = \pi d_n$.

$$\text{Объем перемычки } V_{пер} = \frac{\pi d_n^2 t}{4} \text{ см}^3,$$

где d_n – диаметр перемычки с учетом припусков в отверстии;

t – толщина перемычки (табл. 13.6).

Далее находим диаметр исходной заготовки:

$$D_{заг} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_{заг}}{m}},$$

где $m = \frac{L_{заг}}{D_{заг}} = (1,5 \div 2,5) \leq 2,8$.

При превышении $m > 2,8$ может искривиться заготовка при штамповке. Полученный диаметр округляют до ближайшего по ГОСТу 2590-74, а затем уточняют длину заготовки.

Диаметры по ГОСТу (мм): 5; 5,6; 6,3; 7; 8; 9; 10; 11; ... до 20; 21; 22, 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 53; 56; 60; 63; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 240; 250.

Находим длину заготовки:

$$L_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}}}{F_{\text{заг}}} = \frac{4V_{\text{заг}}}{\pi D_{\text{заг ГОСТ}}^2}, \text{ см.}$$

Определение температурного интервала нагрева под штамповку

Для повышения пластичности металла и одновременного снижения сопротивления деформированию его перед обработкой давлением нагревают.

Каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал для горячей обработки давлением. Верхнее значение интервала соответствует температуре начала, а нижнее – окончания горячей штамповки. Температура начала (T_n) штамповки ограничивается пережогом и перегревом. Пережог (оплавление границ зерен) – неисправимый брак. Перегрев (крупнозернистая структура) – исправимый брак термообработкой (отжиг). Температура конца (T_k) штамповки ограничивается: верхний предел – вторичной рекристаллизацией (крупнозернистая структура); нижний предел – наклеп (искажение кристаллической решетки), который приводит к повышению твердости, хрупкости и снижению вязкости. Эти дефекты устраняются термообработкой (отжигом). Температурный интервал выбирают по справочникам, а режим нагрева (скорость нагрева, продолжительность нагрева) – исходя из состава металла или сплава. Продолжительность нагрева должна обеспечивать равномерное распределение температуры по сечению, минимальное окисление и обезуглероживание поверхности, сохранение целостности нагреваемого металла. Рекомендуемые интервалы температуры штамповки приведены в таблицах 13.7-13.8.

Таблица 13.7

Температурные интервалы штамповки металлов и сплавов

Марка материала	Температура начала штамповки, °С	Температура конца штамповки, °С		Рекомендуемый интервал температуры, °С
		не выше	не ниже	
Ст. 0, 1, 2, 3...	1300	800	700	1280-750
Ст. 4, 5, 6...	1250	850	750	1200-800
Ст. 7...	1200	850	750	1170-780
Ст. 10, 15...	1300	800	700	1280-750
Ст. 20, 25, 30, 35...	1280	830	720	1250-750
Ст. 40, 45, 50...	1260	850	760	1200-800
Ст. 55, 60...	1240	850	760	1200-800
Ст. 65, 70...	1220	850	770	1180-800
Ст. 15Г, 20Г, 25Г, 30Г	1250	850	750	1230-800
Ст. 40Г, 45Г, 50Г	1220	850	760	1200-800
Ст. 15Х, 15ХА, 20Х...	1250	870	760	1200-800
Ст. 60Г, 65Г	1200	850	760	1180-800
Ст. 30Х, 38ХА	1230	870	780	1180-820
Ст. 40Х, 45Х, 50Х	1200	870	800	1180-830
Ст. 40Г2, 45Г2, 40ХГ	1200	870	800	1180-830
Ст. 18ХГ, 18ХГТ	1200	850	780	1180-800
Ст. 38ХЕ, 40ХС	1200	870	800	1150-830
Ст. 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ	1220	880	830	1180-850
Ст. 20ХФ, 40ХФА	1240	850	760	1200-800
Ст. 15НМ, 20НМ	1250	850	800	1230-820
Ст. 40ХН, 45ХН, 50ХН	1200	870	780	1180-830
Ст. 20Х2НЧА	1180	800	750	1150-780
Ст. 20ХГСА, 25ХГСА	1200	870	800	1160-830
Ст. 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА	1180	870	800	1140-830
Ст. 40ХНМА	1180	900	800	1160-850
Ст. 38ХЮ, 38ХВФЮ	1180	880	820	1150-850
Ст. ШХ15, Ш15СГ	1180	870	800	1150-830

Таблица 13.8

**Температурные интервалы ковки и штамповки
некоторых цветных сплавов**

Марка	Температура, °С	
	начала	конца
Алюминиевые сплавы		
АМц, АМг	510	380
Д1, Д1П	500	380
Д6, Д16, Д16П	460	380
АК2, АК-4	500	380
Магниевые сплавы		
МА1	430	300
МА2	420	350
МА3, МА5	370	340
Латуни		
М (техническая медь)	1000	800
Л90	900	700
Л70, Л68, Л62	800	650
Л62-1, ЛС59-1	800	650
Бронзы		
Бр.ОФ 6,5 – 0,15	900	780
Бр.ОЦ 4 – 3	920	800
Бр.АЖМц 10 – 3 – 1,5	900	750
Бр.КН 1 – 3	950	800
Титановые сплавы		
BT3, BT3 – 1	1050	850
BT5, BT6, BT8	1160	850

Выбор переходов в штампах

При выборе ручьев молотовых штампов рекомендуется в начале рассмотреть, как штампуют поковки с аналогичным распределением металла и весом и затем приступить к выбору ручьев. Далее планируют расположение всех ручьев в одном штампе.

В зависимости от сложности поковки существуют следующие переходы:

1. Штамповка в одном ручье – поковки несложной формы.

2. Осадка и окончательная штамповка поковки несложной формы.

3. Заготовительные переходы, предварительная и окончательная штамповка – поковки сложной формы.

Осадка предназначена для приближения размеров заготовки к размерам поковки, разрушения и удаления окалины.

Переходы в заготовительных ручьях могут быть следующими:

а) протяжной – увеличение длины заготовки за счет уменьшения площади поперечного сечения;

б) подкатной – перераспределение объема металла по длине заготовки за счет уменьшения площади поперечного сечения в отдельных частях заготовки;

в) пережимной – уширение заготовки за счет изменения формы поперечного сечения;

г) гибочный – применяется для изменения кривизны заготовки;

д) отрубной – применяется при изготовлении поволок от длинного прутка;

е) предварительный ручей предназначен для придания заготовке формы, близкой к форме поковки и для уменьшения износа окончательного ручья;

ж) окончательный ручей предназначен для получения поковки с размером и формой, соответствующей чертежу.

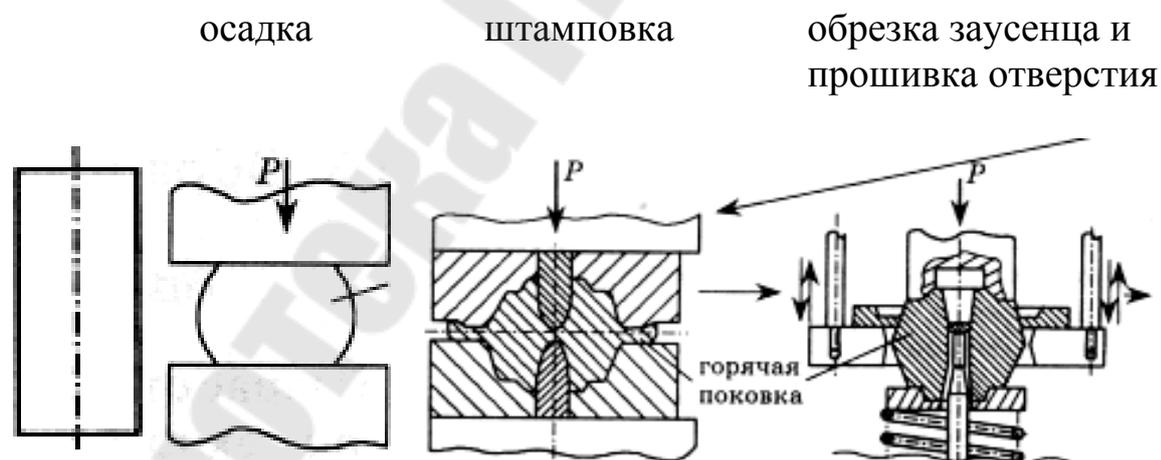


Рис. 13.6. Процесс формообразования поковки

Контрольные вопросы

1. Что такое горячая объемная штамповка?
2. Что такое открытый и закрытый штампы? Объясните их устройство, достоинства и недостатки.
3. Схема и устройство кривошипного горячештамповочного прессы.
4. Схема и устройство штамповочного молота и принцип его работы.
5. Изложите порядок определения размеров и массы заготовки по чертежу готовой детали.
6. Какие применяют ручьи при изготовлении поковок сложной формы?

Литература

1. Мансуров А.М. Технология горячей штамповки. – М. : Машиностроение, 1971. – 415 с.
2. Ковка и объемная штамповка стали: Справочник: В 2 т. / Под ред. М.В. Сторожева. Том 1. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1967. – 435 с.
3. Ковка и объемная штамповка стали: Справочник. В 2 т. / Под ред. М.В. Сторожева. Том 2. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1968. – 448 с.
4. Справочник машиностроения: В 6 т / Под ред. Э.А. Сателъ. – 3-е изд. – М.: ГНТИ Машиностроительной литературы, 1964. – Т. 5. – 450 с.
5. Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.

Лабораторная работа № 14
СВАРКА МЕТАЛЛОВ. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ (РДС)

Цель работы: изучить процесс ручной дуговой сварки, ознакомиться с обозначением покрытых электродов, процессом зажигания и структурой электрической сварочной дуги, применяемым оборудованием, изучить факторы, влияющие на производительность сварки.

Содержание работы: ознакомление с техникой ручной дуговой сварки, получение навыков зажигания и поддержания дуги, определение экспериментально коэффициентов расплавления, наплавления и разбрызгивания металла, разработка технологии сварки заданной детали и выбор режимов сварки.

Применяемое оборудование и материалы: источник питания ВДУ-504, электродержатель, сварочные электроды, защитные щитки, молоток, клещи, весы с разновесами, спецодежда.

Порядок выполнения работы:

- а) взвесить заготовку, на которую будет производиться наплавка;
- б) определить погонный вес 1 см прутка электродной проволоки (G_{yd}), из которой изготовлен электрод (в случае применения обмазанных электродов погонный вес прутка определяют после снятия покрытия);
- в) определить вес прутка электродной проволоки ($G_{эл}$) в применяемом электроде (по длине прутка l (см) и весу 1 см прутка G_{yd}):
 $G_{эл} = G_{yd} \cdot l$;
- г) произвести наплавку металла на заготовку применяемым электродом;
- д) в процессе наплавки зафиксировать действительную величину сварочного тока и время горения дуги;
- е) после наплавки зачистить валик наплавленного металла от шлака и брызг до металлического блеска и взвесить заготовку;
- ж) определить вес металлического прутка в огарке электрода ($G_{ост}$) после сварки;
- з) вычислить коэффициент расплавления по формуле:

$$\alpha_p = \frac{G_{эл} - G_{ост} \cdot 3600}{I_{св} \cdot t} \text{ г/А} \cdot \text{час},$$

где $G_{эл}$ – вес электродной проволоки в электроде, г; $G_{ост}$ – вес электродной проволоки в огарке электрода после окончания сварки, г; $I_{св}$ – величина сварочного тока в процессе сварки, А; t – время горения дуги, с;

и) вычислить коэффициент наплавки по формуле:

$$\alpha_n = \frac{G_1 - G_0 \cdot 3600}{I_{св} \cdot t} \text{ г/А} \cdot \text{час},$$

где G_1 – вес заготовки после наплавления металла, г; G_0 – вес заготовки до наплавления металла.

к) вычислить процент потерь на угар и разбрызгивание металла электрода:

$$\varphi = \frac{G_p - G_n}{G_p} 100 \%,$$

где G_p – вес расплавленного металла электродной проволоки, г:

$$G_p = G_{эл} - G_{ост};$$

G_n – вес наплавленного металла на заготовку, г:

$$G_n = G_1 - G_0;$$

л) рассчитать норму времени сварки заготовки с параметрами сварного шва по варианту, заданному преподавателем:

$$t = \frac{\gamma \cdot K^2 \cdot L}{2\alpha_n I_{св}} \text{ ч},$$

где $\gamma = 7,8 \cdot 10^3 \text{ г/мм}^3$ – плотность стали; K – катет сварного шва (толщина свариваемых заготовок, мм); L – длина сварного шва, мм; $I_{св} = k \cdot d_{эл}$ – величина сварочного тока, А; $d_{эл}$ – диаметр электрода, мм; k – опытный коэффициент равный 40–60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35–40 для электродов со стержнем из высоколегированной стали, А/мм; α_n – коэффициент наплавки;

м) определить расход электродов $G_{эл}$ для сварки заготовок по варианту задания:

$$G_{эл} = \alpha_n \cdot I_{св} \cdot t \cdot K_{эл},$$

где $K_{эл} = 1,3 \div 1,5$ – коэффициент, учитывающий потери электродов на остатках после сварки;

н) выбрать режимы сварки и источники питания (табл. 14.3 и 14.4).

Общие сведения о сварке и процессах, происходящих при сварке

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений материалов посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при подведении энергии в виде тепла, давления или совместном их взаимодействии. Сваркой соединяют однородные и разнородные материалы.

В зависимости от вида подводимой энергии все способы сварки разделяют на три класса: термический, термомеханический и механический.

К термическому классу относятся способы сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии – дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая и др.

К термомеханическому классу относятся способы сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления – контактная (стыковая, шовная, точечная), диффузионная и др.

К механическому классу относятся способы сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления – трением, взрывом, холодная сварка давлением, ультразвуковая и др.

При дуговой сварке источником теплоты служит электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой.

Электрическая дуга – мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газа и паров металла. Процесс зажигания дуги состоит из трех этапов:

I – короткое замыкание электрода на заготовку;

II – отвод электрода на расстояние 3–6 мм;

III – возникновение устойчивого дугового разряда.

Возможно зажигание дуги без короткого замыкания – спичкой или при помощи высокочастотного источника переменного тока, временно включаемого в сварочную цепь.

Ручную дуговую сварку выполняют сварочным покрытым электродом, который подают в зону горения дуги и перемещают вдоль сварного шва с помощью ручного электрододержателя. В процессе сварки (рис. 14.1) дуга горит между стержнем электрода 4, подключенного к одному полюсу источника питания, и основным металлом 6, подключенным ко второму источнику питания.

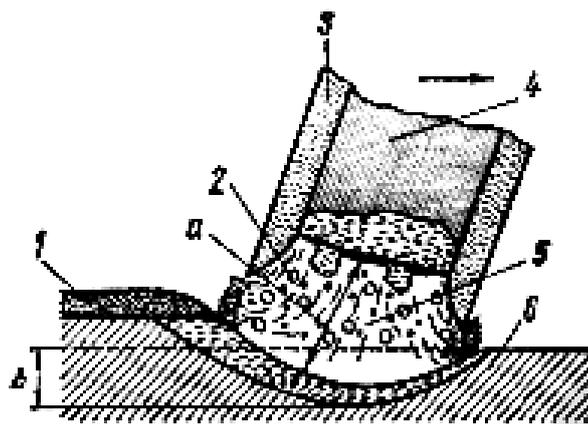


Рис. 14.1. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом:

a – расстояние между рабочим торцом электрода и поверхностью сварочной ванны; *б* – глубина проплавления заготовки

Между электродом и заготовкой движется поток ионов 2 и электронов 5 с большой скоростью. Кинетическая энергия атомов металла, электронов и молекул газа при соударении между собой и металлом электрода и заготовок переходит в тепловую энергию. В результате температура в дуговом промежутке повышается до 6000 °К. Стержень электрода и кромки свариваемых заготовок плавятся, образуя металлическую ванну. Вместе со стержнем электрода плавится покрытие 3, образуя газовую защитную атмосферу и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванна образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна кристаллизуется и формируется сварной шов. Жидкий шлак после остывания образует твердую шлаковую корку 1.

В сварочной ванне при высоких температурах протекает ряд металлургических процессов: испарение или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов (Si, Mn, Cr и др) и насыщение расплавленного металла кислородом, водородом и азотом из атмосферы. В результате происходит изменение состава металла сварного шва по сравнению с электродным и металлом заготовок, а также изменение его механических свойств, особенно при насыщении шва кислородом. Металл сварного шва имеет пониженную статическую и циклическую прочность, ударную вязкость, пластичность, приобретает повышенную химическую активность, что интенсифицирует процессы коррозии.

Для поддержания устойчивого горения дуги и обеспечения заданного состава и свойств шва в состав покрытия вводят: газо- и шлакообразующие компоненты, ионизаторы, раскислители и легирующие элементы. Газообразующие компоненты при расплавлении выделяют газы,

которые оттесняют от зоны сварки кислород, водород и азот, создавая газовую защиту. Шлакообразующие компоненты, расплавляясь, образуют над сварочной ванной слой расплавленного шлака, закрывающий расплавленный металл от активных газов атмосферы. Температура плавления шлака ниже, чем металла, поэтому он кристаллизуется позже и предохраняет от окисления не только сварочную ванну, но и поверхность шва после затвердевания, образуя шлаковую корку 1, которая легко удаляется с поверхности шва. Раскислители восстанавливают окислы железа, которые образуются при сварке, несмотря на шлаковую и газовую защиту. Легирующие элементы служат для повышения механических свойств металла шва или придания ему каких-либо специальных свойств. Ионизаторы – вещества с низким потенциалом ионизации (соли щелочных или щелочно-земельных металлов), облегчающие зажигание и увеличивающие устойчивость горения дуги.

1. Электроды для ручной дуговой сварки

Покрытые электроды для ручной дуговой сварки классифицируют по назначению, виду и толщине покрытия, допустимому пространственному положению сварки или наплавки, роду и полярности сварочного тока.

Различают электроды для сварки сталей, чугуна, алюминия, меди.

При сварке стали учитывают ее химический состав и свойства, обозначая электроды для сварки:

- углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_g \leq 600$ МПа – У;
- легированных конструкционных сталей с $\sigma_g \geq 600$ МПа – Л;
- легированных теплоустойчивых сталей – Т;
- высоколегированных и сталей с особыми свойствами – В;
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – Н.

В зависимости от механических свойств наплавленного металла применяются электроды 14 типов: Э42, Э46А, Э50, Э60, Э70, ... Э150.

Тип электрода обозначается буквой Э с цифрой, указывающей гарантированное временное сопротивление разрыву наплавленного металла в кгс/мм². Буква А после цифр обозначает повышенную пластичность наплавленного металла.

По виду покрытия электроды разделяются на:

- 1) А – с кислым покрытием (ОММ-5, АНО-2, СМ-5, ЦМ-7, МЭЗ-04 и др), содержащим оксиды железа, марганца, кремния, иногда титана. При наплавлении покрытия выделяется большое количество O₂, H₂, кроме того, оно токсично. Эти электроды обеспечивают стабильное горение

дуги на переменном и постоянном токе. Металл шва отличается повышенным содержанием окислов, плотностью и пластичностью;

2) Б – с основным покрытием (УОНИ-13/45, УОНИ-13/5БК, УОНИ-В/85, АНО-Т, ОЗС-5, ДСК-50, СН-11, УП-1/45 и др), содержащим мрамор – CaCO_3 , плавиковый шпат – CaF_2 , кварцевый песок, ферросплавы. Наплавленный металл имеет повышенную прочность на ударный изгиб, малую склонность к старению и появлению трещин. Эти электроды применяются для сварки на постоянном токе обратной полярности ответственных конструкций из углеродистых и легированных сталей;

3) Р – с рутиловым покрытием (ОЗС-12, АНО-32, ОЗС-6, АНО-6, МР-4, ОЗЛ-32 и др), содержащим рутил – TiO_2 , мрамор – CaCO_3 , полевой шпат – $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, каолин, иногда железный порошок. Они обеспечивают устойчивое горение дуги и хорошее формирование шва во всех пространственных положениях;

4) Ц – с целлюлозным покрытием (ОМА-2, ВСЦ-1, ВСЦ-2, ВСП-1, ВСЦ-4М и др). При плавлении покрытия выделяется большое количество газов. Эти электроды применяются для сварки металла малой толщины и при сварке в сложных монтажных условиях;

5) П – с прочими покрытиями (ильменитовым, рутил-ильменитовым – АНО-24, рутил-основным – АНО-30, фтористокальциевым – АНО-Д и др).

По толщине покрытия (отношению диаметра электрода D к диаметру стержня d) электроды изготавливают:

- М – с тонким покрытием $D/d < 1,2$;
- С – со средним покрытием $1,2 < D/d < 1,45$;
- Д – с толстым покрытием $1,45 < D/d < 1,8$;
- Г – с особо толстым покрытием $D/d > 1,8$.

По допустимому пространственному положению сварки электроды разделяются: для всех положений – 1; для всех положений, кроме вертикального, – 2; для нижнего, горизонтального и вертикального – 3; для нижнего – 4.

По качеству изготовления, состоянию поверхности покрытия электроды бывают 1, 2, 3 групп.

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока и номинальному напряжению холостого хода источника переменного тока электроды подразделяются: 0 – обратная полярность постоянного тока; 4 – любая; 5 – прямая; 6 – обратная для постоянного тока и для переменного тока с напряжением холостого хода 70 В.

Примеры условного обозначения электродов:

а) тип Э46А по ГОСТ 9467-75 марки УОНИ-13/45 диаметром 3,0 для сварки углеродистых и низколегированных сталей – У, с толстым

покрытием – Д, 2-й группы с механическими свойствами направленного металла: $\sigma \geq 460$ МПа (43), $\delta - 22\%$ (2), $KCU = 0,35$ Дж/мм² при $t = -40$ °С (5) с основным покрытием Б для сварки во всех пространственных положениях – 1, на постоянном токе обратной полярности 0:

Э46А – УОНИ-13/45 – 3,0У,О ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75;

б) типа Э-09Х1МФ по ГОСТ 9467-75 марки ЦЛ-20 диаметром 40 мм для сварки легированных теплоустойчивых сталей – Т с толстым покрытием Д 3-й группы с механическими свойствами наплавленного металла – прочностью на ударный изгиб $KCU = 0,35$ Дж/мм² при 0 °С (2) и длительной прочностью при $t \leq 580$ °С (7) с основным покрытием Б для сварки во всех пространственных положениях 1 на постоянном токе обратной полярности 0:

Э – 09Х1М – ЦЛ – 20 – 4,0 – ТДЗ ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75.

2. Устройство и работа сварочного трансформатора и выпрямителя

Для питания электрической дуги применяются источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и постоянного тока (сварочные выпрямители и генераторы-преобразователи). Сварочный трансформатор состоит из понижающего силового трансформатора и специального устройства (дресселя, шунта, подвижной катушки), предназначенного для регулирования силы сварочного тока, напряжения, и обеспечения, чаще всего, падающей вольт-амперной характеристики. Сварочные трансформаторы могут быть с нормальным и повышенным магнитным рассеянием, механическим и электрическим регулированием сварочного тока и напряжения.

Наиболее широко применяются сварочные трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием. По способу изменения магнитного рассеяния и индуктивного сопротивления они могут быть с магнитным шунтом, подвижными катушками и витковым (ступенчатым) регулированием. У трансформаторов с подвижным магнитным шунтом типа СТШ (рис. 14.2), который конструктивно выполнен из двух половин, расходящихся в противоположные стороны, сила сварочного тока регулируется изменением положения шунта в магнитном сердечнике. Когда шунт полностью вдвинут в сердечник, магнитный поток рассеяния и реактивная ЭДС рассеяния максимальны, а сварочный ток минимален.

У трансформаторов с подвижными катушками типа ТС, ТСК, ТД магнитное рассеяние регулируется изменением расстояния между неподвижной первичной и подвижной вторичной обмотками. Это изме-

нение осуществляется поворотом рукоятки и винта, связанного с подвижной обмоткой. Сила сварочного тока увеличивается при сближении обмоток и уменьшается при увеличении расстояния между ними. Напряжение холостого хода при сдвинутых катушках больше, а при раздвинутых – меньше. У трансформаторов типа ТСК конденсаторы, включенные параллельно первичной обмотке, обеспечивают повышение коэффициента мощности.

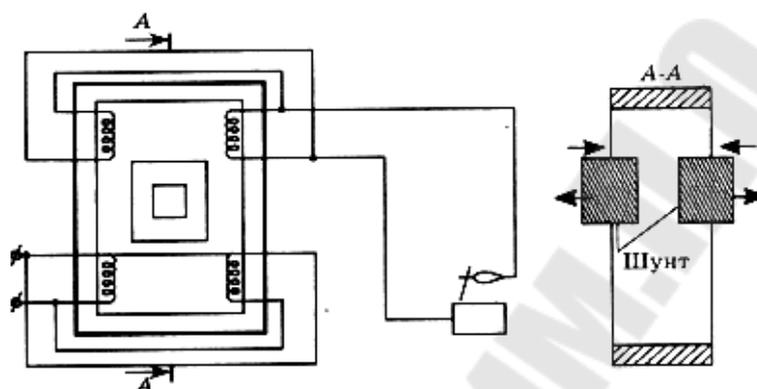


Рис. 14.2. Электрическая схема сварочного трансформатора типа СТШ 500-80

В трансформаторах типа ТД применено двухдиапазонное плавное регулирование тока: в диапазоне малых токов катушки первичной и вторичной обмоток включаются последовательно, а больших – параллельно. Включение и отключение катушек производится переключателем, смонтированным внутри трансформаторов.

Сварочные выпрямители и генераторы выпускаются с падающими и жесткими внешними характеристиками типа ВД. Предназначены для ручной дуговой сварки, резки, наплавки, автоматической дуговой сварки под флюсом, а с жесткими внешними характеристиками типов ВС, ВДГ, ВМ и универсальные ВДУ, ВСУ – для дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах и под флюсом.

На сегодняшний день наиболее классические аналоговые трансформаторы повсеместно вытесняются сварочными инверторами. Принцип действия сварочного инвертора основан на следующих преобразованиях (рис. 14.3). Переменный ток от потребительской сети, частотой 50 Гц, поступает на выпрямитель. Выпрямленный ток сглаживается фильтром, затем полученный постоянный ток преобразуется инвертором с помощью специальных транзисторов с очень большой частотой коммутаций в переменный, но уже высокой частотой.

ты 20-50 кГц. Затем переменное напряжение высокой частоты понижается до 70-90 В, а сила тока соответственно повышается до необходимых для сварки 100-200 А.

Высокая частота является основным техническим решением, которое позволяет добиться колоссальных преимуществ сварочного инвертора, если сравнивать с другими источниками питания сварочной дуги.

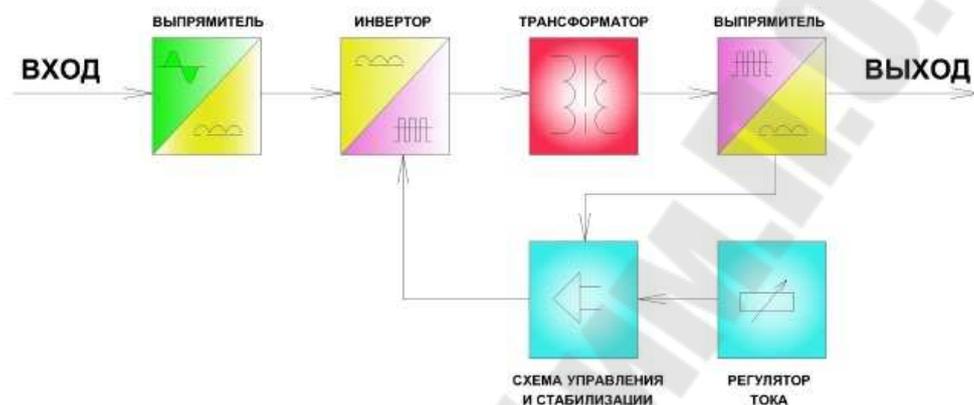


Рис. 14.3. Схема работы инверторного источника сварочного тока

Выбор режима сварки

Режим обуславливает характер протекания процесса сварки и обеспечивает получение сварного шва заданной формы и размеров. Все параметры режима определяются диаметром, типом и маркой электрода, коэффициентом наплавки, родом, полярностью и силой тока, напряжением дуги, скоростью сварки, углом наклона и движения электрода, массой наплавленного металла.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла. При сварке в нижнем положении для выбора диаметра можно пользоваться табл. 14.1.

Таблица 14.1

Выбор диаметра стержня электрода по толщине свариваемого металла

Толщина S свариваемого металла, мм	до 1,5	до 2	2-3	3-5	5-10	Свыше 10
Диаметр d стержня электрода, мм	1-1,6	2	3	3-4	4-5	5-6

При сварке горизонтальных, вертикальных и потолочных швов, независимо от толщины свариваемого металла, применяют электроды диаметром $d_э \leq 4$ мм.

Тип и марка электрода выбираются в зависимости от марки и механических свойств (σ_b , σ_m , KCV, δ) свариваемого металла, назначения и условий работы конструкции (табл. 14.2).

Сила сварочного тока I выбирается в зависимости от диаметра стержня электрода $d_э$ и положения сварного шва в пространстве. При сварке в нижнем положении:

$$I = k \cdot d_э, \text{ А,}$$

где k – опытный коэффициент равный 40–60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35–40 для электродов со стержнем из высоколегированной стали, А/мм.

При сварке горизонтальных и вертикальных швов сила тока уменьшается на 10–15 %, а потолочных – на 15–20 %. Чрезмерно большой сварочный ток приводит к перегреву и разбрызгиванию электродного металла, ухудшению формирования шва, а при сварке тонкостенных заготовок – к прожогу стенок. Сварка на малых токах сопровождается неустойчивым горением дуги, непроваром, малой производительностью.

Род тока и полярность выбираются в зависимости от марки свариваемого металла, его толщины, марки электрода, назначения конструкции. Сварка на постоянном токе обратной полярности применяется для тонкостенных заготовок и высоколегированных сталей с целью исключения их перегрева. Сварку углеродистых сталей обычно выполняют на переменном токе.

Напряжение для устойчивого горения дуги $U_д$ определяется по формулам:

$$U_д = U_{ка} + E_c \cdot l \text{ или } U_д = 20 + 0,04I,$$

где $U_{ка} = 20 \div 22$ – суммарное падение напряжения на катоде и аноде, В; $E_c = 3,3 \div 3,8$ – градиент напряжения (напряженность электрического поля) в столбе дуги, В/мм; $l = (0,5 \div 1,1) d_э$ – длина дуги, мм; I – сварочный ток, А.

По выбранным $U_д$ и I с учетом производительности и КПД выбирают тип сварочного трансформатора (табл. 14.3) или выпрямителя (табл. 14.4).

Техника ручной дуговой сварки

Виды сварных соединений и швов. Применяют следующие сварные соединения: стыковое, внахлестку, тавровое, угловое и боковое (рис. 14.4).

При сварке нижних стыковых швов электрод располагают под углом $70-80^\circ$ к заготовке для обеспечения равномерного покрытия жидкого металла расплавленным шлаком. Для образования сварного шва (рис. 14.5, а) электроду сообщается сложное движение: поступательное вдоль оси со скоростью плавления стержня для поддержания определенной длины дуги и вдоль кромок со скоростью сварки. Колебание конца электрода поперек шва (рис. 14.5, б) необходимо для получения определенной его ширины, хорошего провара кромок и замедления остывания сварочной ванны.

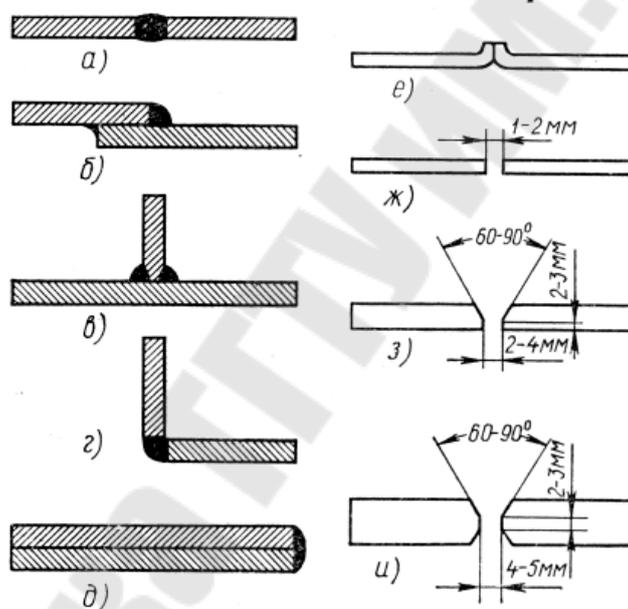


Рис. 8.4. Типы сварных соединений и подготовка кромок сварного шва:

a – стыковое; *б* – внахлестку; *в* – тавровое; *г* – угловое;
д – боковое; *е-и* – подготовка кромок

Таблица 14.2

Типы и марки электродов в зависимости от марки и механических свойств свариваемого металла

Марка стали	Механические свойства				Тип электрода	Марка электродов	Коэффициент наплавки α_{II} , г/А·с	Механические свойства металла шва		
	σ_b , МПа	σ_m , МПа	KCV, Дж/м ²	δ , %				σ_b , МПа	KCV, Дж/м ²	δ , %
Ст.3 пс, Ст.3 кп (2-6)	380	230		25	Э42 Э42А	АНО-5, АНО-6, ОМА-2, ВСП-1, СМ-11, УП1-45, УП2-45	11; 8,5 10 9,5; 10	420	0,8 1,5	18 22
14Г, 09Г2	440	290		21	Э46	АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4, ОЗС-6, ОЗС-12, АНО-13, АНО-18	8,5; 7,8 8,5; 10,5 8,5; 10	460	0,8 1,4	18 22
09Г2С 10Г2С1Д 18Г2	460	330	0,3	21	Э50 Э50А	ВСЦ-3, ВСН-3 (для постоянного тока), ДСК-50, АНО-11	10; 9	500	1,3	20
14Г2АСРД 15Г2АФД	520	400	0,3	19 (-60 °С)	Э60 Э60А	УОНИ13/65 (постоянный ток)	9	600	1,0	18
15ХА 15Г2АЮГ	600	450		16						
14Х2ГМР 12ХН2	700	600		12	Э70	ЛКЗ-70 (постоянный ток)	9,5	700	0,6	14
20ХМА					Э09МХ теплоустойчивые	ЦЛ-14, ОЗС-1	10,5 8	460	0,9	18

Таблица 8.3

Технические данные сварочных трансформаторов

Технические данные	Тип трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием								ТДЭ-250 ОУ2	С нормал. рассеянием ТСД-500
	СТШ-250	СТШ-300	СТШ-500	ТС300	ТС500	ТСП-2	ТД300	ТД500		
Напряжение питающей сети, В	380	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380	380	380	380
Напряжение холостого хода, В	61	63	60	68	60	62	61; 79	59; 73	50	30
Вторичное напряжение при нагрузке, В	30	30	30	30	30	20	30	30	30	40
Номинальный режим работы ПР, %	20	60	60	65	65	20	60	65	20	65
Номинальный сварочный ток, А	250	300	500	300	500	300	300	500	250	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	80–260	110–405	145–650	110–385 (30–110)	165–650	90–300	60–400	100–560	90–250	200–600
КПД, %	73	88	90	84	85	76	86	87	67	87
Номинальная мощность, кВА	–	20	32	20	32	11,5	19,5	32	12,7	40
Габаритные размеры, мм	420x310x x425	545x695x x787	670x666x x753	760x520x x970	840x575x x1060	510x370x x590	692x620x x710	720x580x x850	395x275 x535	1242x950x x818
Масса, кг	44	158	220	185	250	63	137	210	42	445

Технические данные сварочных выпрямителей

Параметр	Модель					
	Однопостовые с падающей характеристикой		Однопостовые с жесткой характеристикой		Многопостовые	
	ВД-306	ВД-502	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДМ1001 УЗ (7 постов)	ВДМ-1601 (9 постов)
Выпрямленное напряжение холостого хода, В	70	80	70	80	60	70
Номинальный сварочный ток при ПН = 60 %, А	315	500	315	500	1000	1600
Номинальное напряжение при нагрузке, В	32	40	38	18-50	60	60
Пределы регулирования сварочного тока, А	45-315	50-500	50-315	70-500		
Потребляемая мощность, кВА	21	42	23	40	89	122
Коэффициент полезного действия, %	70	69		82	90	90
Коэффициент мощности					0,91	
Габаритные размеры, мм, длина	765	805	984	1275	1050	35
ширина	735	805	630	816	700	820
высота	772	1062	720	940	900	1630
Масса, кг	170	370	250	380	400	770

Характер колебательных движений определяется формой, размером и положением шва в пространстве. При сварке необходимо внимательно следить за расплавлением кромок основного металла и конца электрода, проваром корня шва и не допускать затекания жидкого шлака вперед дуги.

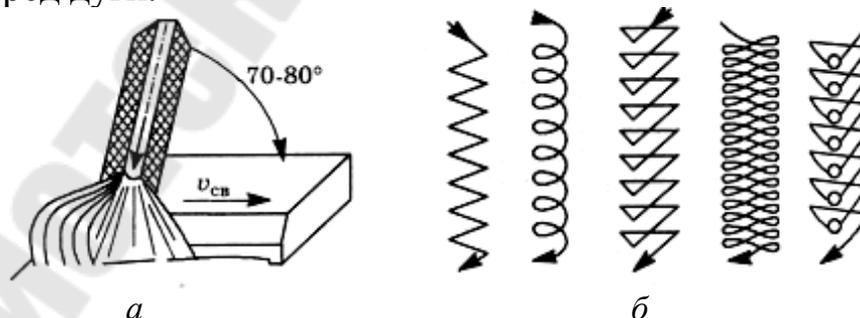


Рис. 14.5. Положение (а) и поперечное движение (б) электрода при сварке нижних стыковых швов

При сварке однослойных швов (рис. 14.6а) дуга возбуждается на краю скоса кромки (в точке А), а затем перемещается вниз для проваривания корня шва. На скосах кромок движение электрода замедляется для ис-

ключения прожога в зазоре. При сварке многослойных швов (рис. 14.6, б) особое внимание уделяется качественному выполнению первого слоя с проваром корня шва, определяющего прочность всего шва. Процесс заканчивается заваркой кратера.

Сварка вертикальных швов (рис. 14.6, в) выполняется короткой дугой при перемещении электрода снизу вверх и сверху вниз. При сварке горизонтальных швов дуга возбуждается на нижней горизонтальной кромке, а затем переносится на наклонную для поддержания стекающей капли металла.

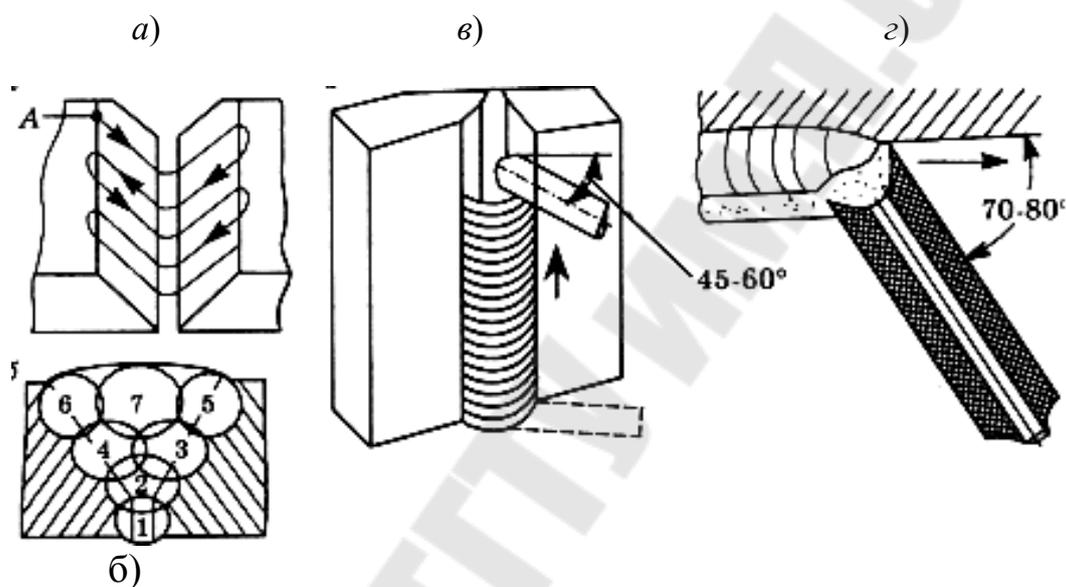


Рис. 14.6. Положение и движения электрода при сварке однослойных (а), многослойных (б), вертикальных (в) и потолочных (з) швов

Сварка потолочных швов (рис. 14.6г) выполняется короткой дугой при периодическом замыкании электрода с ванной жидкого металла. Короткие швы длиной до 250 мм сваривают за один проход, т. е. при движении электрода от начала шва к концу. Средние (250–1000 мм) и длинные (> 1000 мм), сваривают за несколько проходов от середины к краям или обратноступенчатым способом.

Достоинства и недостатки ручной дуговой сварки. Достоинства: возможность получения неразъемных соединений из большинства применяемых в машиностроении сплавов; возможность осуществления сварки в любых пространственных положениях; возможность сварки заготовок любой толщины многослойными швами. Недостатки: потребность в квалифицированном персонале; невысокая производительность из-за ограничения величины сварочного тока и утомления свар-

щика; разогрев стержня электрода и его покрытия при сварке на повышенном токе и, как следствие, ухудшение защиты сварочной ванны, дуги и шва, разбрызгивание (до 30 %) металла, снижение механических свойств соединения и ухудшение его внешнего вида.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема ручной дуговой сварки с описанием каждого элемента схемы и видов сварных швов.
3. Описание порядка выполнения работы, определения коэффициентов расплавления, наплавки, процента потерь металла, нормы времени сварки, величины сварочного тока, напряжения дуги, расхода электродов. Выбор сварочного оборудования.
4. Результаты подсчетов данных свести в табл. 14.5.
5. Выводы по полученным результатам.

Таблица 14.5

Определение коэффициента расплавления и наплавки, процента угара и разбрызгивания при ручной дуговой сварке

№ п/п	Характеристика электродов			Род тока	Положение в пространстве	Режим сварки	
	обмазка	диаметр электрода, мм	толщина слоя обмазки, мм			сила тока $I_{св}$, А	напряжение U_d , В

Продолжение табл. 14.5

Время наплавки t , сек	Длина электрода, мм		Вес прутка электродной проволоки, г		Вес расплавленного электродного металла, G_p , г	Вес пластины, г	
	до сварки	после сварки	до сварки, $G_{эл}$	после сварки, $G_{ост}$		до сварки	после сварки

Окончание табл. 14.5

Вес наплавленного электродного металла G_n , г	Коэффициент расплавления α_p , г/а·ч	Коэффициент наплавки α_n , г/а·ч	Процент потерь на угар и разбрызгивание φ , %

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой электрическая дуга?
2. Как проводится ручная дуговая сварка?
3. Какие компоненты входят в состав покрытия?
4. Какие виды сварных швов можно получить ручной дуговой сваркой?
5. Как делятся швы по пространственному положению и какие режимы их сварки?
6. Как рассчитываются режимы сварки?
7. Какое применяется оборудование для ручной дуговой сварки?
8. От каких параметров зависит производительность ручной дуговой сварки?
9. Достоинства и недостатки ручной дуговой сварки.

Лабораторная работа № 15

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ (CO₂)

Цель работы: ознакомиться с технологией полуавтоматической сварки в среде углекислого газа и применяемым оборудованием; изучить факторы, влияющие на процесс сварки и ее производительность.

Содержание работы: ознакомление с техникой полуавтоматической сварки в среде углекислого газа, определение экспериментально коэффициентов расплавления, наплавления и разбрызгивания металла, разработка технологии сварки заданной детали и выбор режимов сварки.

Применяемое оборудование и материалы: сварочный полуавтомат; баллон с углекислым газом; газовые редукторы для регулирования давления; сварочная проволока; заготовка из стали; защитные щитки; спецодежда; молоток; щетка; плоскогубцы; весы с разновесами.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия сварочного выпрямителя.

2. Определить коэффициент расплавления и наплавки, процент потерь на угар:

а) определить вес стальной пластины;

б) определить вес 1 погонного метра электродной проволоки (взвешиванием на весах);

в) установить заданный режим сварки $I_{св}$, $u_{д}$, $V_{св}$ (проверяется наплавкой на пробной пластине);

г) при помощи металлической линейки разметить длину электродной проволоки;

д) после наплавки зачистить сварной шов до металлического блеска и определить вес наплавленного металла G_n и вес расплавившейся части электродной проволоки $G_{эл}$ (по длине израсходованной части электродной проволоки и весу ее 1 погонного метра);

е) вычислить коэффициент расплавления (α_p), наплавки (α_n) и процент потерь на угар и разбрызгивание (φ), пользуясь формулами:

$$\alpha_p = \frac{G_{эл} \cdot 3600}{I_{св} \cdot t} \text{ г/А} \cdot \text{ч}, \alpha_n = \frac{G_n \cdot 3600}{I_{св} \cdot t} \text{ г/А} \cdot \text{ч}, \varphi = \frac{G_{эл} - G_n}{G_{эл}} \cdot 100 \%,$$

где $G_{эл}$ – вес расходуемой электродной проволоки, г; G_n – вес наплавленного металла, г; $I_{св}$ – величина сварочного тока в процессе сварки, А; t – время горения дуги, с.

3. Определить скорость сварки исходя из получения заданного сечения по площади наплавки $F_{н.ш.}$, $см^2$:

$$V_{св} = \frac{I_{св} \cdot \alpha_n}{100 \cdot F_{н.ш.} \cdot \gamma} \text{ м/ч,}$$

где $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ – плотность стали.

4. Определить расход электроэнергии на 1 погонный метр шва:

$$A = \frac{I_{св} \cdot U_d}{1000 \cdot K \cdot V_{св}} \text{ кВт} \cdot \text{ч/м,}$$

где $K = 0,8$ – коэффициент полезного действия источника питания.

5. Определить основное время сварки сварного шва с параметрами, заданными преподавателем по определенному коэффициенту наплавки (α_n), сварочному току ($I_{св}$):

$$t_o = \frac{\gamma \cdot S^2 \cdot L}{2 I_{св} \cdot \alpha_n} \text{ ч,}$$

где S и L – толщина и длина свариваемых заготовок, мм.

6. Определить расчетное значение расходуемой электродной проволоки:

$$G_{эл.пр.} = \frac{\alpha_p \cdot I_{св} \cdot t_o}{1000} \text{ кг.}$$

Сравнить полученное значение с величиной расходуемой проволоки, определенной экспериментально ($G_{эл}$).

7. Выбрать источник тока для сварки (табл. 15.1).

1. Общие сведения о дуговой сварке в углекислом газе

Сварку в углекислом газе выполняют плавящимся электродом из непокрытой металлической проволоки на постоянном токе повышенной плотности обратной полярности (электрод подключают к отрицательному полюсу сварочного выпрямителя). Процесс сварки осуществляется следующим образом (рис. 15.1). Проволока, проходя через токопровод 2, непрерывно подается в зону сварки. Для защиты рас-

плавленного металла сварочной ванны и капель 1 расплавленного металла электрода в зону сварки через сопло 3 подается углекислый газ, образующий газовую защиту. При применении CO_2 в качестве защитного газа необходимо учитывать некоторые металлургические особенности, связанные с окислительным действием газа. В центре сварочной дуги при высоких температурах углекислый газ диссоциирует на оксид углерода CO и кислород O по эндотермической реакции:



На диссоциацию CO_2 расходуется до 20–25 % тепловой мощности дуги. Образующийся в результате диссоциации кислород окисляет капли металла электродной проволоки и металл сварочной ванны. Образующиеся окислы железа ухудшают механические свойства шва. Для подавления реакции окисления сварку выполняют проволокой с повышенным содержанием марганца, кремния и алюминия (Св08ГСА, Св08Г2С, Св10ГС, Св07ГС10). Например, марка проволоки Св08Г2С расшифровывается: сварочная проволока, содержащая: 0,08 % углерода; ~ 2 % марганца, ~ 1 % кремния. Марганец и кремний имеют большее сродство к кислороду, чем железо, раскисляют (восстанавливают) его и образуют на поверхности шва тонкий слой шлака, состоящий из окислов железа, марганца и кремния, частично покрывающий сварочную ванну и сварной шов. На поверхности шва шлак застывает в виде отдельных чешуек.

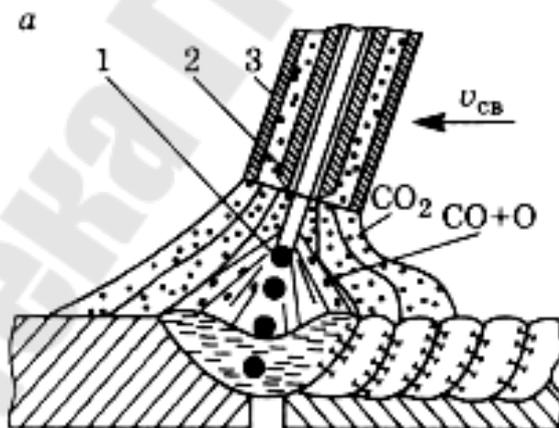


Рис. 15.1. Схема сварки в среде CO_2

При этом способе сварки расстояние от торца электрода до токопровода значительно меньше, чем при ручной дуговой сварке. Рабочая часть электрода имеет длину 40–60 мм. Поэтому можно значительно увеличить сварочный ток без чрезмерного разогрева проволоки. Формируется мощная электрическая дуга, которая меха-

нически воздействует на расплавленный металл, вытесняя его в конец сварочной ванны. Вытеснение жидкого металла облегчается благодаря снижению поверхностного натяжения в сварочной ванне. Поверхность жидкого металла бомбардируется ионами СО, которые разрыхляют окисную пленку и снижают силу поверхностного натяжения. В результате обнажаются более глубокие, еще не расплавленные, слои металла. Они подвергаются быстрому разогреву электрической дугой, что способствует возрастанию глубины проплавления по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Сварка в среде углекислого газа обеспечивает: меньший разогрев кромок при сварке толстого металла; обладает большей скоростью сварки; высокой экономичностью; производительностью процесса; стойкостью против образования трещин, которая обусловлена окислительной атмосферой в зоне сварки, возможностью наблюдения за сварочной ванной и формированием сварного шва. Помимо этого, при сварке в среде СО₂ требуются менее квалифицированные сварщики.

К недостаткам этого способа относится: большое разбрызгивание (до 10 % от веса сварочной проволоки), низкая прочность металла шва, плохой внешний вид шва. Но высокая производительность, более низкие требования к квалификации сварщика способствуют широкому распространению этого способа и в настоящее время он находится на втором месте среди известных способов сварки плавлением. Его целесообразно применять во всех случаях сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей швами любого типа в любом пространственном положении как при единичном, так и серийном производстве при условии невысоких требований к прочности металла шва (< 500 МПа).

2. Устройство и принцип работы сварочного полуавтомата

Для осуществления полуавтоматической сварки в среде СО₂ необходимо следующее оборудование (рис. 15.2): источник питания сварочной дуги 7, шланговый держатель с горелкой 2, баллон с углекислым газом и редуктором 4, подающий механизм 6 с подогревателем углекислого газа.

Подающий механизм состоит из механизма подачи проволоки и кассеты с проволокой. Он осуществляет в процессе сварки непрерывную подачу сварочной проволоки из кассеты через шланговый держатель в зону сварки. В шкафу управления размещена электрическая схема полуавтомата. Подогреватель служит для нагрева углекислого газа, т. к. во время истечения из баллона он расширяется и охлаждается до

отрицательных температур, что может привести к замерзанию канала подачи газа при перепаде давления.

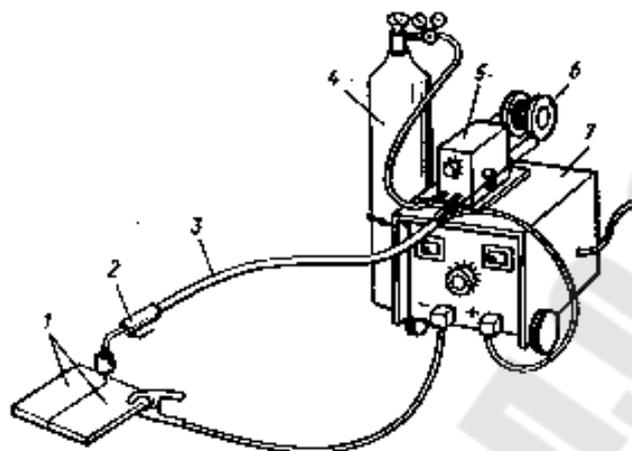


Рис. 15.2. Пост для полуавтоматической сварки в среде CO_2 :
1 – заготовка; 2 – шланговый держатель; 3 – гибкий шланг;
4 – баллон с газом; 5 – механизм подачи проволоки; 6 – кассета
с проволокой; 7 – источник питания – сварочный выпрямитель

Редуктор предназначен для понижения до требуемой величины давления газа, хранящегося в баллоне под избыточным давлением. В качестве источников питания дуги используются источники постоянного тока (табл. 15.1) – генераторы и выпрямители, т. к. на переменном токе в среде CO_2 сварочная дуга горит неустойчиво.

В данной работе используется полуавтомат А-825М.

Техническая характеристика полуавтомата А-825М

Диаметр сварочной проволоки	0,8–1,4 мм
Сварочный ток	80–315 А
Напряжение на дуге	18–27 В
Скорость подачи сварочной проволоки	140–650 м/час

Перед включением сварочного полуавтомата необходимо убедиться, что оголенная часть шлангового держателя 2 не касается стола и других металлических предметов. Переключатели П3 и П4 находятся в одинаковом положении, переключатель П2 – в положении →. Включение источника питания осуществляется нажатием на кнопку «Пуск». Включение подающего механизма – переводом переключателя П1 в положение «Вкл». Для выключения источника питания необходимо нажать кнопку «Стоп» подающего механизма – перевести переключатель П1 в положение «Выкл». Регулирование режима сварки производится следующим образом: расход CO_2 регулируется редук-

тором и определяется по расходомеру; напряжение – регулятором R2 (необходимо установить напряжение холостого хода 25 В, что будет соответствовать напряжению на дуге 20–23 В); скорость подачи сварочной проволоки определяется положением регулятора R1 (его необходимо установить на делении 4); сварочный ток определяется скоростью подачи сварочной проволоки и в несколько меньшей степени – напряжением на дуге.

Таблица 15.1

Технические данные полуавтоматов для сварки в углекислом газе

Технические данные	Марки полуавтоматов				
	ПДГ-305	ПДГ-502	ПДГ-601	А-765 (без CO ₂)	Magpol
Напряжение питающей сети, В	380	380, 220	380	380	380
Номинальный сварочный ток, А	315	500	630	500	315
Пределы регулирования сварочного тока, А	50–315	100–500	100–700		50–315
Номинальный режим работы ПР, %	60	60	60		60; 100
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8–1,4	1,2–2,0	1,2–2,5	1,6–2,0 пор. 1,6–3,0	0,8–1,6
Скорость подачи проволоки, м/ч	180–720	180–720	109,8–1094	58–582	93,6–1260
Тип выпрямителя	ВДГ-302УЗ	ВДУ-500-1	ВДГ-600	ВС-600	ЕРІ

3. Технология дуговой сварки в углекислом газе

Перед началом сварки необходимо изучить дополнительные меры по технике безопасности (приведены в конце методических указаний к данной лабораторной работе).

Для зажигания сварочной дуги необходимо взять держатель в руку, включить полуавтомат, поднести сопло горелки шлангового держателя к свариваемым деталям на расстояние 10–20 мм, не меняя положения держателя, закрыть лицо маской и нажать на тангенту «Т». При этом полуавтомат начинает подачу газа и проволоки; при соприкосновении проволоки с деталью самопроизвольно загорается электрическая дуга. В начальный момент времени (доли секунды) после соприкосновения проволоки и детали дуга может не загореться и поступающая из держателя проволока попытается оттолкнуть руку с держателем от детали. Нужно не дать ей этого сделать и дуга загорится сама собой. В процессе сварки необходимо поддерживать в указанных пределах расстояние от свариваемых кромок до сопла горелки. Дуга для обеспечения устойчивости горения должна находиться на сварочной ванне или ее границе с основным металлом. Поперечные колебания

могут выполняться так же, как и при ручной дуговой сварке. Горелку чаще всего наклоняют вперед на угол $10-40^\circ$ к оси шва. Сварочная дуга обращена при этом к уже сваренному шву. На протяжении всего процесса сварки необходимо не допускать касания соплом свариваемых деталей, т. к. в этом случае дуга загорается между соплом и свариваемой деталью и сопло выходит из строя.

Для прекращения процесса сварки необходимо, не меняя положения держателя, отпустить тангенту «Г» и через несколько секунд процесс сварки прекратится.

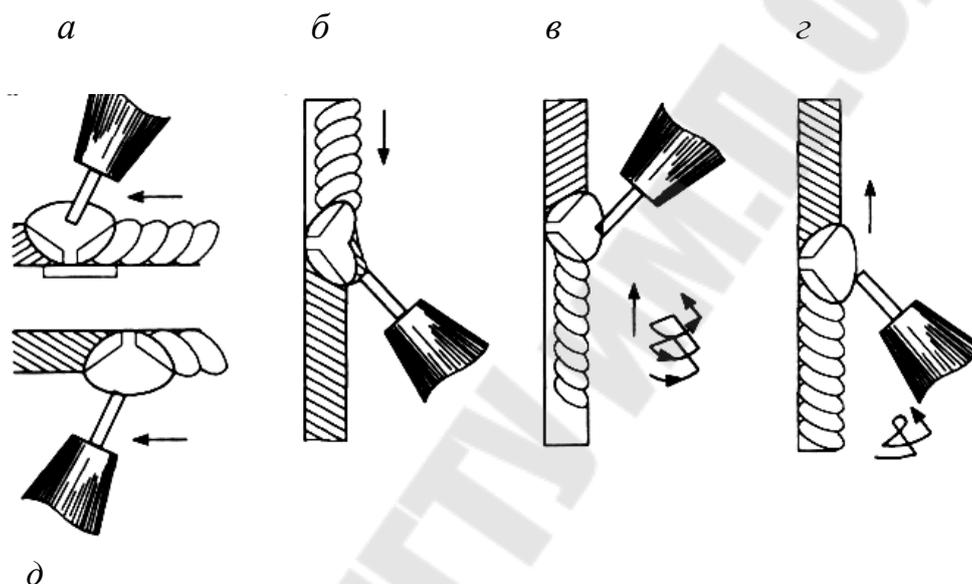


Рис. 15.3. Схемы расположения шва и поперечные колебания электрода при полуавтоматической сварке в углекислом газе

Сварка стыковых и нахлесточных соединений в нижнем положении при толщине $S = 0,8-1,2$ мм выполняется при установке заготовок на подкладке или на весу при равномерном поступательном перемещении электрода (рис. 15.3, а). Металл толщиной $S \leq 3$ мм в нижнем положении сваривают без поперечных колебаний электрода, а при $S > 3$ мм применяют эти колебания.

Сварку вертикальных швов с $S < 6$ мм выполняют сверху вниз с наклоном электрода углом назад, направляя дугу на переднюю часть сварочной ванны (рис. 15.3, б), что обеспечивает хорошее проплавление кромок и исключает прожоги. При толщине металла $S > 6$ мм вертикальные швы выполняют при движении электрода вверх с его поперечными колебаниями и произвольным наклоном (рис. 15.3, в, г). Потолочные швы сваривают электродом $d_s = 0,5-1,4$ мм с наклоном

электрода углом назад (рис. 15.3, д) при минимальных значениях тока и напряжения.

Ориентировочный режим полуавтоматической сварки в углекислом газе стыковых швов без разделки кромок в нижнем положении проволокой СВ-08Г2С приведен в табл. 15.2.

Таблица 15.2

**Ориентировочный режим полуавтоматической дуговой сварки
в углекислом газе стыковых швов без разделки кромок
в нижнем положении проволокой СВ08Г2С**

Толщина свариваемого материала, мм	Диаметр электрода, мм	Режим сварки					
		Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, дм ³ /мин	Число проходов
1	0,8	60–70	17	25–40	7–12	6–7	1
1,5	0,8	85–100	18–19	30–40	7–21	6–7	1
	1,0	100–110	18–19	30–40	8–15	6–7	1
	1,2	120–160	19–20	35–40	9–13	6–7	1
2,0	0,8	110–140	19–21	20–30	7–12	6–7	1
	1,0	130–150	20–21	30–35	8–13	6–8	1
	1,2	160–180	21	35–40	9–15	6–8	1
3–4	1,0	140–160	20–21	20–30	8–13	7–9	1
	1,2	150–170	20–21	25–35	9–15	7–9	2
	1,2	190–230	21	30–40	9–15	7–10	2
5–8	1,6	180–220	23–26	20–35	15–20	12–15	2
	2,0	200–240	24–28	25–35	15–20	12–15	2
	2,0	260–280	28–30	25–30	15–25	15–17	2
10	2,0	280–300	28–30	25–30	20–25	15–17	2
12	2,0	380–400	30–32	20–30	20–25	15–17	2
14	2,0	480–500	33–40	15–25	15–25	12–16	2

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема полуавтоматической сварки в среде CO₂ с указанием каждого элемента схемы.
3. Порядок и результаты выполнения работы (с указанием формул, по которым ведутся расчеты).
4. Вывод о результатах эксперимента и сравнение производительности ручной дуговой сварки и полуавтоматической сварки в среде CO₂ с указанием, за счет каких параметров один способ сварки производительнее другого.

Контрольные вопросы

1. Металлургические особенности сварки в среде CO_2 .
2. Почему сварочная проволока для сварки в среде CO_2 дополнительно легирована марганцем и кремнием?
3. Почему глубина проплавления при сварке в среде CO_2 выше, чем при ручной дуговой?
4. Влияние глубины проплавления на производительность.
5. Влияние глубины проплавления, высоты усилия, ширины и катета шва на его прочность.
6. Оборудование, необходимое для сварки в среде CO_2 .
7. Какие источники питания применяются при сварке в среде CO_2 и почему?
8. Достоинства и недостатки сварки в среде CO_2 .

Лабораторная работа № 16 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Цель работы: ознакомиться с технологией контактной точечной сварки и применяемым оборудованием.

Содержание работы: изучение процессов, происходящих при точечной сварке; расчет режима сварки; ознакомление с конструкцией контактной машины и настройкой ее на заданный режим; сварка нескольких изделий; построение по результатам расчетов зависимости сварочного тока от толщины свариваемых деталей.

Применяемое оборудование и материалы: машина для контактной сварки, пластины холоднокатаной стали.

Техника безопасности

При ознакомлении с конструкцией контактной машины рубильник должен быть обязательно выключен. При настройке машины на сварку и выполнении сварки необходимо выполнять общие правила техники безопасности при работе с электроустановками. Кроме того, необходимо помнить, что включение машины на сварку при давлении воздуха менее 1 атм запрещено, т. к. в этом случае образуется большое количество выплесков, способных прожечь синтетические ткани.

Порядок выполнения работы

1. Включить машину в сеть, проверить работу всех узлов (не включая сварочного тока). Сварить пробные заготовки.
2. Приготовить заготовки с последующими испытаниями на разрыв.
3. Сварить образцы, изменяя по заданию преподавателя:
 - а) зачистку поверхностей деталей;
 - б) величину тока;
 - в) время протекания тока;
 - г) величину давления;
 - д) толщину свариваемых заготовок;
 - е) размер рабочей поверхности электрода.
4. Испытать образцы на разрыв.
5. По индивидуальному заданию, полученному у преподавателя, рассчитать величину сварочного тока для пяти заготовок различной толщины и построить зависимость, отражающую влияние толщины заготовки на величину сварочного тока.

Общие сведения о процессах, происходящих при точечной сварке

Точечная сварка – разновидность контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках. Нагрев заготовок осуществляется электрическим током, подаваемым на медные водоохлаждаемые электроды, которыми сжимают заготовки, собранные внахлестку. Соприкасающиеся с медными электродами поверхности заготовок нагреваются меньше чем их внутренние слои. Нагрев продолжают до расплавления внутренних слоев заготовок. Затем выключают ток и через некоторое время снимают давление. В результате образуется литая сварная точка. Процесс сварки состоит из четырех этапов: 1) сжатия; 2) пропускания тока; 3) проковки; 4) паузы.

На первом этапе собранные внахлестку свариваемые детали 1 (рис. 16.1) сжимаются медными водоохлаждаемыми электродами. Этим обеспечивается надежный электрический контакт между свариваемыми деталями и между деталями и электродами.

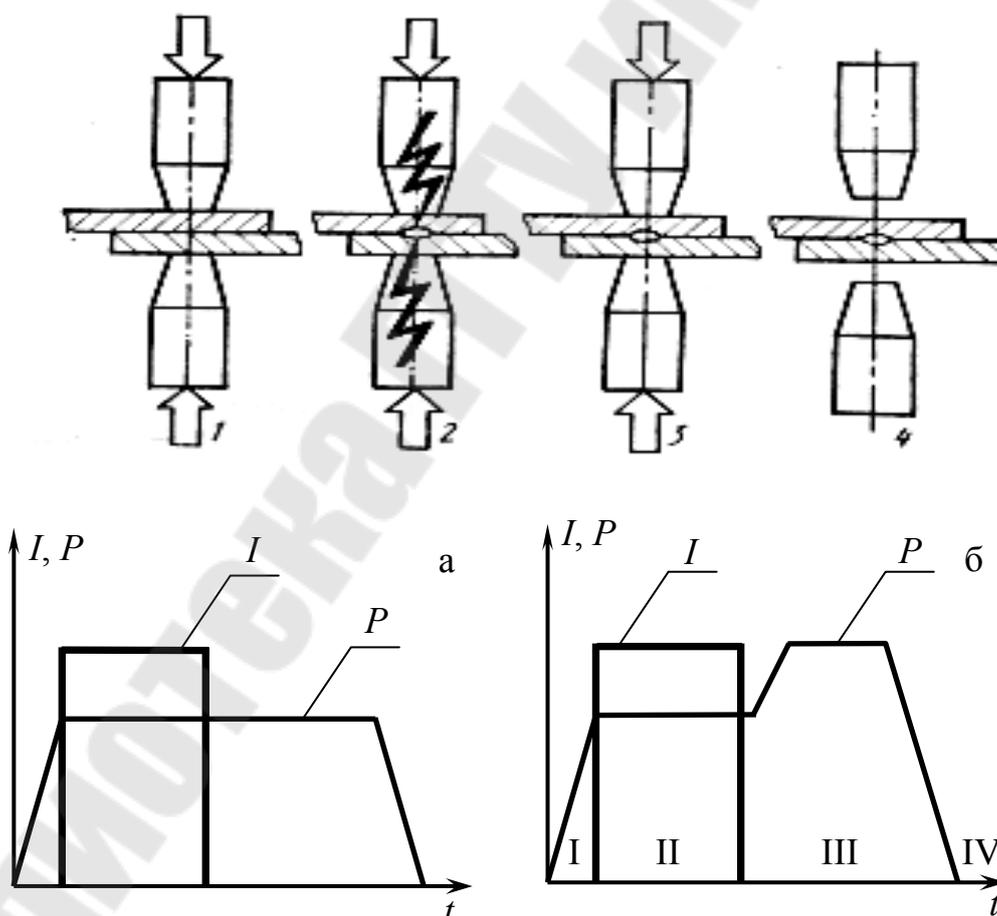


Рис. 16.1. Стадии цикла и циклограммы точечной сварки:
a – без увеличения давления; *б* – с увеличением давления при проковке
(1 – сжатие деталей; 2 – пропускание тока; 3 – проковка; 4 – пауза)

На втором этапе по электродам пропускается электрический ток. Источником тока является понижающий трансформатор. Под действием тока в зоне контакта заготовок между собой выделяется большое количество тепла. Металл между электродами разогревается и расплавляется.

На третьем этапе – проковке – сварочный ток выключают, а усилие на электродах остается прежним или даже увеличивается. При этом происходит кристаллизация и охлаждение образовавшейся на предыдущем этапе сварной точки. Проковка необходима для того, чтобы детали не разошлись и не разрушили сварную точку, пока она не закристаллизовалась, для предотвращения образования усадочных раковин и с целью повышения механических свойств металла сварной точки, т. к. деформация ее в горячем состоянии приводит к измельчению зерен.

Четвертый этап сварки – пауза. На этом этапе происходит замыкание электродов для того, чтобы рабочий смог переместить детали для сварки следующей точки, затем цикл сварки повторяется.

Прочность сварной точки определяется объемом расплавленного металла, что, в свою очередь, зависит от количеством тепла, выделяющегося при пропускании тока. Согласно закона Джоуля-Ленца количество тепла равно:

$$Q = 0,24 I_{св}^2 R t,$$

где $I_{св}$ – сварочный ток; R – сопротивление сварочной цепи; t – время пропускания тока.

Сопротивление сварочной цепи, в свою очередь, равно:

$$R = 2R_{ме} + R_{к} + 2R_{э},$$

где $R_{ме}$ – сопротивление нагреваемого участка детали; $R_{к}$ – сопротивление сварочного контакта между заготовками; $R_{э}$ – сопротивление контакта между электродом и деталью.

Максимальный вклад в полное сопротивление сварочной цепи, особенно на начальном этапе нагрева, вносит контактное сопротивление между свариваемыми деталями, соответственно в этой зоне выделяется наибольшее количество тепла. Величина контактного сопротивления может колебаться в значительных пределах, так как зависит от чистоты и состояния соприкасающихся поверхностей, величины давления, многих других причин. Это приводит к колебанию количества

выделившегося тепла, а значит и прочности сварных точек, полученных на одном и том же режиме.

Режим контактной сварки определяется диаметром электрода $d_э$, величиной сварочного тока $I_{св}$, временем пропускания сварочного тока t и усилием сжатия электродов P . Эти параметры зависят от толщины и материала свариваемых деталей. Различают сварку на мягком (плотность тока 80–150 А/мм²) и жестком режиме (плотность тока свыше 150 А/мм²). Время пропускания тока при сварке на жестком режиме меньше, чем на мягком, остальные параметры примерно одинаковы.

Мягкие режимы назначаются при недостаточной мощности контактных машин или сварке закаливающих сталей (при мягком режиме меньше скорость охлаждения, а значит, опасность образования закалочных структур). Кроме того, на мягких режимах производят сварку заготовок повышенной толщины. Производительность такой сварки снижена, а разогрев и деформация окружающего металла значительны. Сварку деталей большой толщины (свыше 4 мм) не рационально проводить на жестком режиме, т. к. сопротивление толстых заготовок примерно равно сопротивлению сварочного контакта между ними, а значит, тепловыделение происходит не только по поверхности контакта заготовок, но и в самих заготовках. За короткое время пропускания сварного тока, характерное для жесткого режима, повышенный объем металла не успевает разогреться до необходимых температур и качественного соединения не образуется.

При сварке на жестком режиме выше производительность, меньше разогрев и деформация окружающего металла, но требуются более мощные контактные машины. Благодаря резкому повышению сварочного тока выделяющаяся теплота локализуется непосредственно в месте образования сварной точки, что особенно важно при сварке теплопроводных алюминиевых и медных сплавов. Высокая скорость нагрева этих материалов нужна для предупреждения рассеяния тепла. Сварка заготовок из чистой меди не производится.

К достоинствам точечной сварки относятся высокая производительность, низкие требования к квалификации обслуживающего персонала, отсутствие расхода сварочных электродов.

Недостатки – небольшая (чаще всего до 7 мм) толщина свариваемых деталей, возможность выполнения только нахлесточных соединений (а значит, повышенный расход металла на образование нахлеста), значительные колебания прочности сварных точек, невысокая прочность при переменных нагрузках (так как промежуток

между сварными точками играет роль начальной трещины, распространяющейся при знакопеременных нагрузках), негерметичность шва.

Точечная сварка применяется для соединения деталей из сталей, алюминиевых и медных (кроме чистой меди) сплавов во всех типах производства. В настоящее время, благодаря высокой производительности, – это самый распространенный способ сварки.

Методика расчета режима контактной сварки

К основным параметрам контактной точечной сварки относятся: сварочный ток $I_{св}$; время пропускания тока $t_{св}$; диаметр электрода $d_э$ и усилие сжатия P . Эти параметры определяются исходя из материала и толщины свариваемых деталей расчетом или подбираются по таблицам.

Расчет параметров режима производится в следующей последовательности:

1. Диаметр электрода при сварке сталей определяется:

$$d_э = (1,5 \div 2) S + 3 \text{ (мм)},$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм; S – толщина свариваемой детали, мм.

2. Величина сварочного тока: $I_{св} = A \cdot F$ (А),

где A – плотность тока, А/мм²; F – площадь контактной поверхности электродов, мм².

3. Длительность включения сварочного тока $t_{св}$ в секундах определяется:

$$t_{св} = (0,1 \div 0,25) S \text{ (с)}.$$

4. Усилие сжатия электродов P :

$$P = (1100 \div 2200) S \text{ (Н)}.$$

5. Продолжительность сжатия обычно выбирают в пределах 0,1–0,8 с, а проковки 0,1–1,2 с.

При правильно подобранном режиме, хорошем состоянии контактной поверхности электродов сварка происходит без выплесков (выбросов частиц расплавленного металла в зазор между свариваемыми деталями или между деталью и электродом). Диаметр получающейся сварной точки равен диаметру электродов, высота точки составляет 30–80 % от толщины свариваемых деталей. На поверхно-

сти деталей остаются вмятины от электродов, образовавшиеся в результате проковки.

Оборудование для контактной точечной сварки

Оборудование для точечной сварки делится на 3 группы: универсальные однотоочечные машины; подвесные контактные машины и многотоочечные машины. Основными частями всех машин для контактной сварки являются: понижающий трансформатор; блок управления и сварочные клещи с электродами, соединенные с трансформатором медными шинами.

Клещи представляют собой собранную из двух половинок скобу с укрепленными на них электродами. Смыкание клещей осуществляется с помощью пневмоцилиндра. Подвесные машины применяют при сварке крупногабаритных конструкций. Многотоочечные машины фактически объединяют в одном корпусе несколько однотоочечных и применяют в массовом производстве для сварки сразу нескольких точек. Их изготавливают под конкретные детали массового производства.

Используемая в работе универсальная точечная машина МТ-1610 имеет следующие характеристики:

Толщина свариваемых деталей, в мм: минимальная 0,8 + 0,8;
максимальная 6,5 + 6,5.

Первичное напряжение, В	380
Мощность, кВт	86
Сварочный ток, А до	16000
Напряжение, В	2,9 – 5,7
Усилие сжатия, Н	1800 – 6300

Максимально допустимое
количество сварок в минуту 150

Все узлы машины смонтированы на корпусе (рис. 10.2). Источником тока является трансформатор. Его вторичная обмотка состоит из одного витка, связанного с верхним и нижним электродами медными шинами. Первичная обмотка трансформатора секционирована. Отдельные секции соединены с гнездами переключателя ступеней. Переставляя перемычки в гнездах переключателя ступеней, изменяют число витков первичной обмотки трансформатора, тем самым регулируют вторичное напряжение, а значит, и сварочный ток. Необходимое положение перемычек определяется с помощью таблицы, имеющейся на машине.

Для включения и отключения трансформатора служит контактор. Перемещение верхнего подвижного электрода и создание необходимого усилия осуществляется пневмоцилиндром 2. Подача сжато-

го воздуха в пространство над или под поршнем пневмоцилиндра и соответственно опускание или подъем электрода осуществляется электропневмоклапаном. Регулирование усилия пневмоцилиндра производится с помощью редуктора. Вращая регулировочный винт редуктора, изменяют давление воздуха, а значит, усилие сжатия. Давление контролируют по манометру. Необходимую величину давления выбирают по таблице, размещенной на корпусе машины. Последовательность действий и продолжительность всех четырех этапов точечной сварки (сжатия, пропускания тока, проковки и паузы) задается с помощью электронного регулятора времени 4. Он состоит из четырех реле времени, определяющих длительность соответствующих этапов. Регулирование длительности этапов осуществляется потенциометрами, рукоятки которых выведены на переднюю панель регулятора.

Все токоведущие части контактной машины для предотвращения разогрева охлаждаются водой. Для предотвращения включения машины без охлаждения в электрической схеме цепи управления имеется гидрореле, отключающее машину при прекращении подачи воды.

Для включения и настройки машины на сварку необходимо при отключенном рубильнике установить необходимую ступень трансформатора, закрыть дверцы машины, включить водяное охлаждение (верхний вентиль впереди машины) (рис. 16.2) и сжатый воздух (вентиль сзади машины), отрегулировать требуемое давление воздуха, продолжительность пропускания тока и включить рубильник. Через 2–3 минуты, необходимых для нагрева ламп регулятора, машина готова к сварке. Для выполнения сварки необходимо положить свариваемые детали на электроды, нажать и сразу отпустить педаль. Для выключения машины необходимо отключить рубильник, перекрыть подачу воздуха и через несколько минут отключить подачу охлаждающей воды.

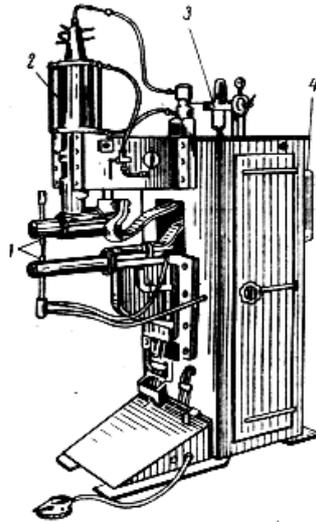


Рис. 16.2. Машина точечной сварки МТ-ІС10: 1 – электроды, 2 – пневмоцилиндр, 3 – лубрикатор, 4 – регулятор времени

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема точечной сварки с указанием каждого элемента схемы.
3. Описание порядка выполнения работы (расчета режима, настройки машины на заданный режим).
4. График зависимости сварочного тока от толщины свариваемых деталей.
5. Вывод о законе изменения сварочного тока от толщины деталей (на основании анализа графика и расчетных зависимостей).

Контрольные вопросы

1. Этапы точечной сварки и процессы, происходящие на каждом этапе.
2. Назначение проковки.
3. Причины колебания прочности сварных точек.
4. Причины, по которым при точечной сварке металл плавится, в первую очередь, на поверхности контакта свариваемых деталей.
5. Параметры, определяющие режим контактной сварки.
6. Особенности сварки закаливающих сталей, медных и алюминиевых сплавов и заготовок повышенной толщины.
7. Устройство контактной машины.
8. Настройка машины на сварку.
9. Достоинства, недостатки и области применения точечной сварки.

Лабораторная работа № 17 ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ И ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Цель работы: ознакомиться с технологией и оборудованием термической резки и газовой сварки.

Содержание работы: изучение принципов термической резки и газовой сварки, ознакомление с конструкцией оборудования для газовой резки и сварки, оценка качества реза, полученного различными способами.

Применяемое оборудование и материалы: ацетиленовый генератор, газовая арматура, резак и горелка, образцы резов, штангенциркуль или профилметр, образцы швов, выполненных различными способами сварки.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип работы ацетиленового генератора АСМ-1-66, водяного затвора ЗСП-7-67, кислородного одноступенчатого редуктора, инжекторной сварочной горелки ГС-3, резака для ручной газокислородной резки «Пламя-62».

2. Подготовить к сварке и резке рабочее место – очистить стол, расставить сварочную аппаратуру.

3. Подготовить сварочную аппаратуру, инструмент, защитные очки и рабочие приспособления в следующем порядке: а) залить в корпус генератора необходимое количество воды (9 дм³); б) заполнить водой водяной затвор; в) загрузить в корзину 2–2,2 кг карбида, вставить ее в шахту и герметично закрыть крышку; г) отвернуть предохранительный колпак кислородного баллона и с помощью накидной гайки прикрепить редуктор к вентилю баллона. Нужно помнить, что во избежание взрыва вентили кислородного баллона и редуктора должны тщательно оберегаться от загрязнения маслом; д) присоединить резиновый шланг, идущий от горелки к выходу от редуктора, поворотом вентиля против часовой стрелки открыть кислород, а затем с помощью регулировочного винта установить давление в рабочей камере редуктора 3–4 кг/см². Присоединить резиновый шланг одним концом к ацетиленовому каналу горелки, а вторым – к ниппелю водяного затвора.

4. Зажечь горелку – сначала немного открыть кислородный вентиль и продуть горелку, а затем открыть ацетиленовый вентиль и образующуюся смесь зажечь. Поворотом кислородного и ацетиленового вентиля сначала получают нормальное пламя, а затем окислительное

и восстановительное. Наблюдая через очки за составом пламени, зарисовывают его при различном соотношении ацетилена и кислорода. При этом нужно научиться четко различать по виду пламени три его типа.

Для тушения горелки необходимо сначала закрыть ацетиленовый вентиль горелки, а затем кислородный.

Такую же подготовку ведут для включения газокислородного резака.

5. Подготовить к сварке образцы. Очистить место сварки от загрязнений, произвести точную подгонку образцов.

6. В зависимости от толщины металла выбрать размер наконечника горелки, материал и диаметр присадочного прутка, режим сварки (табл. 17.1).

7. Настроить сварочную аппаратуру на выбранный режим.

8. Произвести сварку образцов правым и левым способами.

9. Осуществить контроль сварного шва внешним осмотром.

10. Произвести подключение газокислородного резака и осуществить газокислородную резку по прямолинейному контуру.

Все подготовительные работы и сам процесс сварки и резки осуществляются при постоянном контроле преподавателя и лаборанта.

Сущность процессов термической резки и газовой сварки

Все способы термической резки основаны на расплавлении разрезаемого материала и последующем удалении его из зоны реза. В настоящее время применяются следующие способы резки: воздушно-дуговая, плазменная, лазерная, кислородно-газовая и кислородно-флюсовая.

При воздушно-дуговой резке металл расплавляется теплом электрической дуги и удаляется из зоны реза струей воздуха. Электрическая дуга горит между разрезаемой деталью и графитовым (неплавящимся) электродом, струя воздуха подается в зону реза через специальное отверстие в электродержателе.

Способ является довольно производительным, но не обеспечивает хорошее качество реза (большой разогрев окружающего металла, широкий рез с окисленными стенками).

При плазменной резке разрезаемый материал расплавляется и выдувается из зоны реза струей плазмы. Плазма представляет собой поток ионизированного газа, нагретого до температуры 10000–15000 °К. Получают плазму в плазмотронах (рис. 17.1) при продувании плазмообра-

зующего газа (смеси водорода с аргонем) через столб сжатой дуги 2, горящей между вольфрамовым электродом 1 и деталью 5. Сжатие дуги происходит при ее прохождении через канал небольшого сечения в мундштуке сопла 3 плазмотрона. Плазмообразующий газ подается вдоль стенок канала и еще больше сжимает дугу. Сечение дуги при этом уменьшается, а температура растет. При высокой температуре происходит ионизация плазмообразующего газа, возникает ярко светящаяся струя плазмы. Благодаря высокой концентрации энергии в струе плазмы разрезаемый металл расплавляется в узкой зоне и этим достигается высокое качество реза. Плазменная резка может применяться для разделения любых металлов и неметаллов (керамики, бетона и т. д.). В последнем случае применяются плазмтроны косвенного действия, в которых электрическая дуга горит между вольфрамовым электродом и медным водоохлаждаемым анодом-соплом, расположенным вокруг электрода.

При лазерной резке разрезаемый металл расплавляется и испаряется из зоны реза под действием мощного высококонцентрированного лазерного луча. Плотность энергии в луче должна достигать 10^8 Вт/см², благодаря чему металл плавится в очень узкой зоне, получается очень высокое качество реза, высокие скорости резки. Этим способом можно разрезать любые материалы, толщина определяется мощностью лазерного луча. Для металлов требуется свыше 1 кВт на 1 миллиметр толщины.

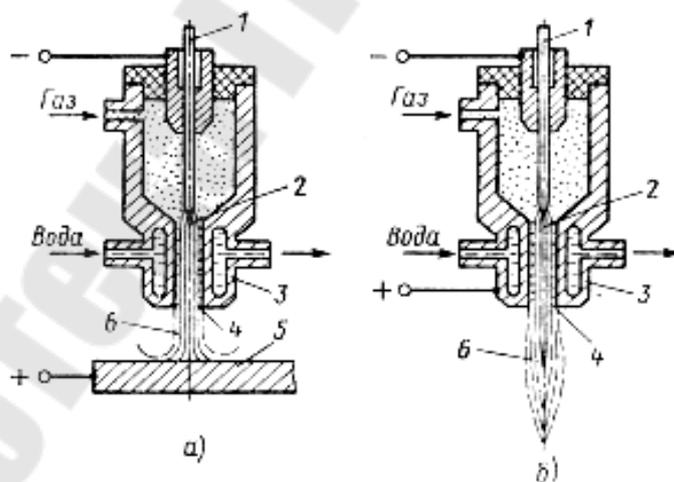


Рис. 17.1. Схемы получения плазменной струи в плазмтроне прямого (а) и косвенного действия (б); 1 – вольфрамовый электрод; 2 – дуга; 3 – сопло; 4 – канал сопла; 5 – заготовка; 6 – плазменная струя

При кислородной (газовой) резке по кольцевому каналу (рис. 17.2) мундштука резака подается смесь кислорода и горючего газа (ацетилен,

пропан-бутана, паров бензина или керосина), которая при сгорании образует подогревающее пламя, разогревающее металл до температуры 1200–1300 °К. Затем по центральному каналу в зону реза подается струя режущего кислорода 1. Подогретый металл в струе кислорода интенсивно горит, в результате этого образуются жидкие окислы 4 и выделяется большое количество тепла, расплавляющее соседние слои материала. Образовавшиеся жидкие окислы и расплавленный металл удаляются из зоны реза этой же струей кислорода.

Для кислородной резки необходимо, чтобы температура горения металла и температура плавления окислов были ниже температуры плавления металла, образующиеся окислы должны быть жидкотекучими, и при горении металла выделялось большое количество тепла. Этим условиям удовлетворяют низко- и среднеуглеродистые стали, большинство низколегированных сталей и не удовлетворяют – чугуны, высоколегированные и высокоуглеродистые стали, цветные металлы.

Для их резки применяется кислородно-флюсовая резка. В этом случае в зону резки вместе с режущим кислородом подается порошкообразный флюс, состоящий из порошка железа (90–95 %), кварцевого песка (2 %) и других добавок. Порошок железа, сгорая в струе кислорода, выделяет большое количество тепла, идущего на расплавление разрезаемого металла. Кроме этого, окислы железа сплавляются с окислами разрезаемого металла и образуют легкоплавкие и жидкотекучие шлаки. Из всех способов термической резки наиболее широко применяется кислородная резка, обладающая достаточно высокой производительностью и позволяющая разрезать любые толщины низкоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей. Для медных сплавов, высоколегированных и высокоуглеродистых сталей, чугуна применяется кислородно-флюсовая резка. На втором месте по распространенности находится плазменная резка, позволяющая разрезать любые материалы, имеющая более высокую производительность и качество реза, но требующая более сложного оборудования. Воздушно-дуговая и лазерная резка применяются сравнительно редко вследствие низкого качества реза у первого способа и высокой стоимости оборудования у второго.

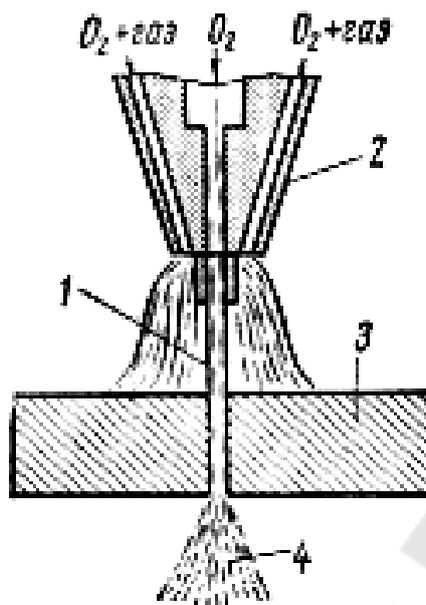


Рис. 17.2. Схема кислородной резки: 1 – струя режущего кислорода; 2 – горелка; 3 – заготовка; 4 – жидкие окислы

При газовой сварке в качестве источника тепла используется реакция горения ацетилена в кислороде. Смесь ацетилена и кислорода образуется в газовой горелке 4 (рис. 17.3а). При выходе из горелки она сгорает, образуя сварочное пламя 3. В нем различают три зоны (рис. 17.3б). Первая зона 1 называется ядром, вторая 2 сварочной, третья 3 – факелом. Самая высокая температура во второй зоне на расстоянии 2–4 мм от конца ядра. Этой частью пламени осуществляется нагрев и расплавление металла в процессе сварки. При объемном соотношении – $O_2/C_2H_2 = 1,1 \div 1,2$ вторая зона состоит из окиси углерода (CO) и водорода (H_2) и имеет восстановительный характер. В третьей зоне происходит догорание продуктов второй зоны. При избытке кислорода факел характеризуется окислительной способностью, а при избытке ацетилена – науглероживающей.

Неправильная настройка подачи кислорода и ацетилена может полностью изменить структуру пламени. У нормального пламени ядро яркое, белого цвета, резко очерченное, цилиндрической формы. У полностью окислительного пламени ядро – короткое, синеватого цвета. Непосредственно за ядром формируется короткий факел конической заостренной формы. Науглероживающее пламя имеет ядро увеличенного размера с размытыми очертаниями, окруженное коптящим факелом красноватого цвета.

Существует два способа выполнения газовой сварки: левый и правый. При левом способе сварки (рис. 17.4. а) горелку перемещают справа налево, а пламя при этом направлено на еще не сваренные кромки

основного металла. При правом способе сварки (рис. 17.4, б) горелку перемещают слева направо, а пламя направлено в сторону уже полученного сварного шва. При левом способе сварки присадочный пруток перемещается впереди горелки, тогда как при правом способе – впереди перемещается горелка, а за ней пруток, расположенный между швом и горелкой. При сварке металла толщиной до 4 мм обычно применяют левый способ. Вертикальные швы сваривают снизу вверх только левым способом, а горизонтальные – только правым способом.

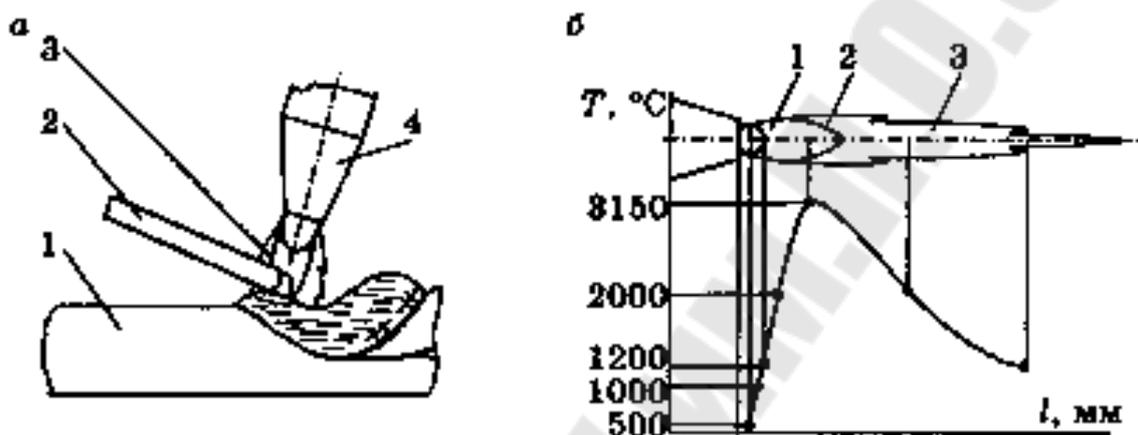


Рис. 17.3. Схемы процесса газовой сварки (а) и ацетилено-кислородного пламени (б)

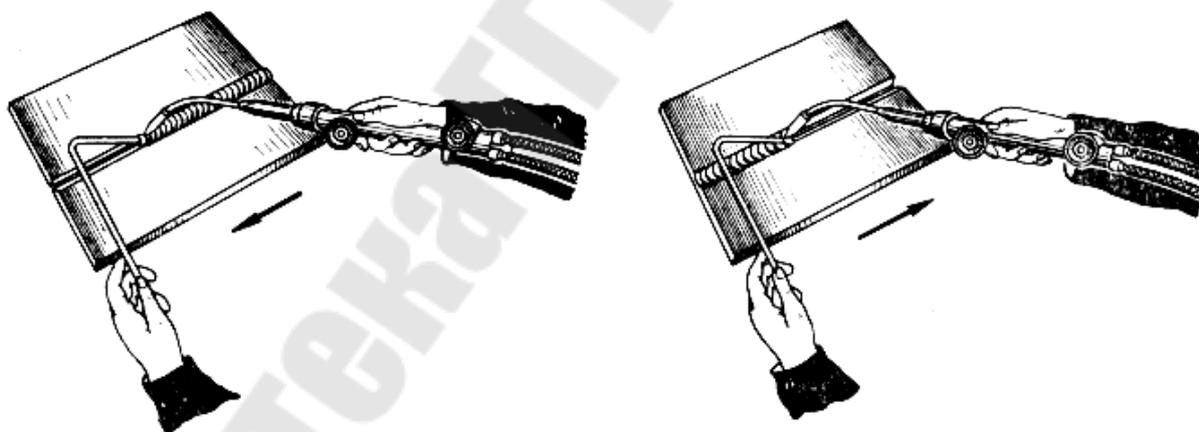


Рис. 17.4. Способы выполнения газовой сварки:
а – левый, б – правый

Пруток присадочной проволоки, которую сварщик дополнительно вводит в зону сварки, используется для заполнения зазора между свариваемыми деталями. Защита расплавленного металла от кислорода воздуха осуществляется продуктами горения газа, а также флюсом, периодически подаваемым сварщиком в зону сварки.

Выбор марки и диаметра присадочной проволоки выполняется в зависимости от марки и толщины свариваемого металла и способа сварки. При сварке углеродистых сталей применяют сварочные проволоки Св08, Св10, Св10Г2С диаметром 0,2–12 мм. Диаметр проволоки определяется при $S \leq 5$ мм, как $d_{np} = S/2 + 1$ мм; при $S > 5$ мм, как $d_{np} = S/2$ мм.

В режим газовой сварки входят: расход горючего газа и кислорода; тип горелки и номер наконечника; способ сварки; углы наклона горелки и проволоки; марка и диаметр сварочной проволоки. Перечисленные параметры зависят от свариваемого материала и его толщины (табл. 11.1).

Сварку металлов толщиной менее 2 мм проводят встык с отбортовкой кромок без присадочного материала или встык без зазора и разделки кромок, но с присадочным металлом. При толщине металла 2–5 мм сварку выполняют встык с присадочной проволокой по зазору без разделки кромок, а при толщине металла свыше 5 мм с разделкой кромок.

Таблица 11.1

Техническая характеристика наконечников горелок ГС-2 и ГС-3

Показатели	Номера наконечников							
	1	2	3	4	5	6	7	
Толщина свариваемого металла (сталь), мм	0,5–1,5	1–2,5	2,5–4	4–7	7–11	11–18	18–30	
Расход, $\text{дм}^3/\text{час}$	ацетилена	50–125	120–240	230–400	400–700	660–1100	1050–1750	1700–2800
	кислорода	50–135	130–260	250–400	430–750	740–1200	1150–1950	1900–3100
Давление кислорода, $\text{кг}/\text{см}^2$	1–4	1,5–4	2–4	2–4	2–4	2–4	2–4	
Скорость истечения смеси из мундштука, м/с	50–130	65–135	75–135	80–140	90–150	100–160	100–170	

На рис. 17.5 показаны углы наклона горелки в зависимости от толщины свариваемого металла.

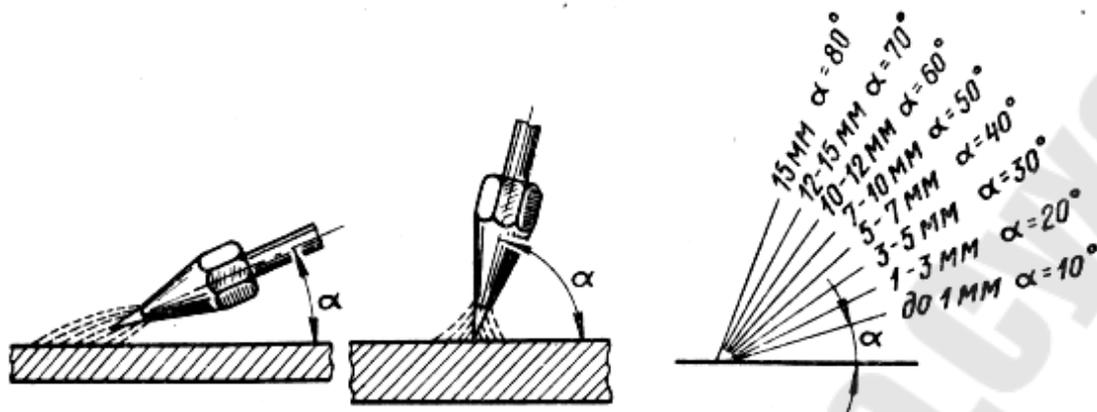
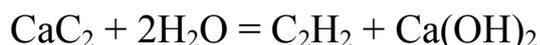


Рис. 17.5. Применяемые углы наклона горелки в зависимости от толщины свариваемого металла

Газовая сварка имеет низкую производительность (вследствие небольшой мощности газового пламени), металл шва имеет низкое качество (вследствие плохой защиты расплавленного металла и большого разогрева окружающего металла) и требует высокой квалификации сварщика. В силу этих причин ее применение ограничено случаями ремонта либо монтажа деталей толщиной, как правило, до 3 мм.

Оборудование для газовой сварки и резки

Оборудование, необходимое для газовой сварки или резки (рис. 11.6), состоит из газовой горелки 4 или резака, соединительных шлангов 5, баллонов с кислородом и горючим газом, снабженных газовыми редукторами 6, 7. При использовании в качестве горючего газа ацетилена, возможно его непосредственное изготовление с помощью ацетиленового генератора. Емкость кислородных баллонов 40 л, давление кислорода в полном баллоне 15 МПа, за счет этого в нем содержится 6 м³ кислорода. Кислородные баллоны окрашиваются в синий цвет. Для газовой резки используются различные горючие газы: природный газ, пары бензина и керосина. Ацетилен (C₂H₂) имеет наибольшую теплотворную способность, поэтому его чаще других используют для резки и сварки металлов. Ацетилен получают в специальных генераторах при взаимодействии карбида кальция с водой:



На рис. 11.7 изображена схема переносного ацетиленового генератора АСМ-1-66. Его производительность 1,25 м³/час при рабочем давлении ацетилена 0,1–0,15 МПа.

Корпус генератора 10 имеет внизу резервуар – промыватель 1, сверху – газообразователь 4, в котором располагается корзина 6 с кар-

бидом кальция. Образующийся ацетилен из газообразователя по трубке 9 проходит в промыватель 1, а из него по трубке 11 через водяной затвор к горелке или резаку.

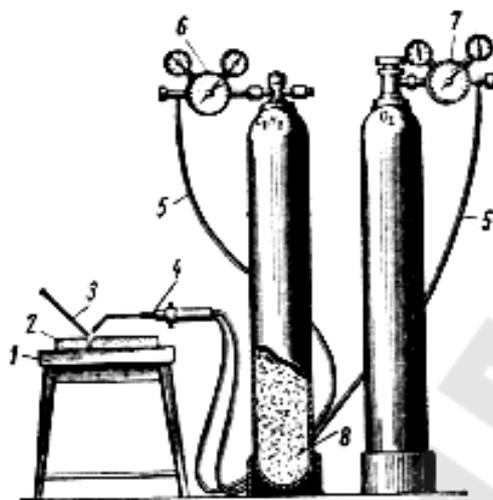


Рис. 17.6. Схема поста для газовой сварки или резки с питанием от баллона: 1 – стол; 2 – свариваемые детали; 3 – присадочный металл; 4 – горелка; 5 – шланг; 6 – ацетиленовый редуктор; 7 – кислородный редуктор; 8 – пористая масса

Регулирование количества вырабатываемого ацетилена осуществляется следующим образом: при уменьшении или прекращении отбора газа его давление в газообразователе возрастает, этим давлением вода из шахты газообразователя вытесняется в пространство между шахтой и корпусом генератора. Площадь соприкосновения карбида кальция с водой уменьшается, процесс образования ацетилена замедляется или прекращается. При увеличении отбора газа все происходит наоборот.

В процессе работы газовой горелки или резака возможно воспламенение смеси кислорода и горючего газа не на выходе из мундштука, а внутри инжекторной части резака или горелки, т. е. обратный удар пламени. Внешне обратный удар проявляется как громкий хлопок, после которого горелка обычно гаснет. Для предотвращения попадания пламени в генератор применяют водяной затвор (рис. 11.8). Благодаря слою воды и обратному клапану 2 водяной затвор обеспечивает беспрепятственное прохождение ацетилена из генератора к горелке и исключает попадание в генератор ударной волны. Этой же цели служит и щелевой рассекатель 4. Работа с неисправным водяным затвором может привести к взрыву генератора.

Для повышения безопасности газовых работ в настоящее время все более часто применяется снабжение ацетиленом из ацетиленовых баллонов. Ацетиленовые баллоны похожи на кислородные, они окрашены в белый цвет. Ацетилен сохраняется путем растворения в ацетоне, которым пропитана пористая масса из активированного угля внутри баллона.

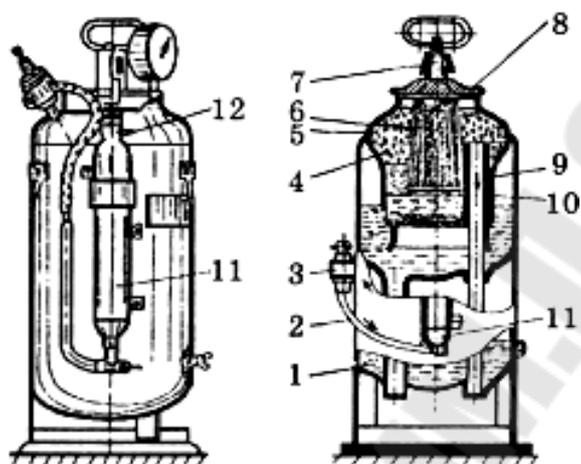


Рис. 17.7. Схема ацетиленового генератора: 1 – промыватель; 2 – шланг; 3 – предохранительный клапан; 4 – газообразователь; 5 – шахта; 6 – корзина; 7 – винтовой зажим; 8 – крышка; 9 – стакан; 10 – труба; 11 – водяной затвор; 12 – ниппель

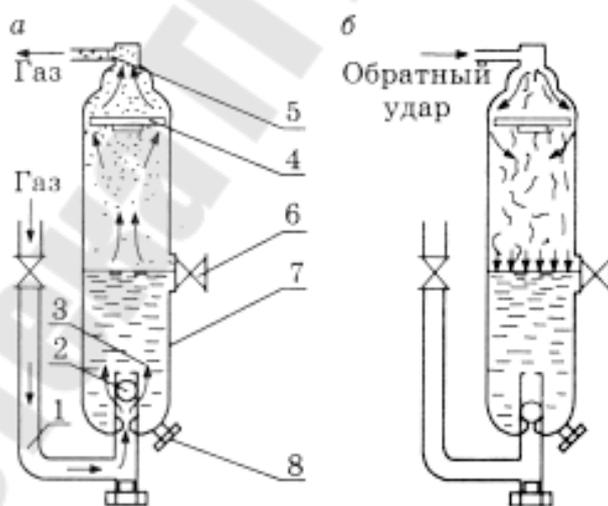


Рис. 17.8. Схемы работы водяного затвора: а – при нормальной работе; б – при обратном ударе; 1 – трубка; 2 – обратный клапан; 3 – газ; 4 – диск; 5 – штуцер; 6 – контрольный клапан; 7 – корпус; 8 – сливной штуцер

Устройство газовой горелки приведено на рис. 17.9. Ацетилен и кислород подводятся к горелке гибкими шлангами через штуцеры. Смешивание ацетилена и кислорода происходит в смесительной камере 3, которая работает следующим образом: кислород подается по сужающемуся каналу, что приводит к увеличению его скорости движения при выходе в камеру расширения 4. Благодаря этому давление падает и через щелевой затвор в результате разрежения поступает ацетилен. Регулирование подачи газа осуществляется вентилем 8, кислорода – вентилем 6.

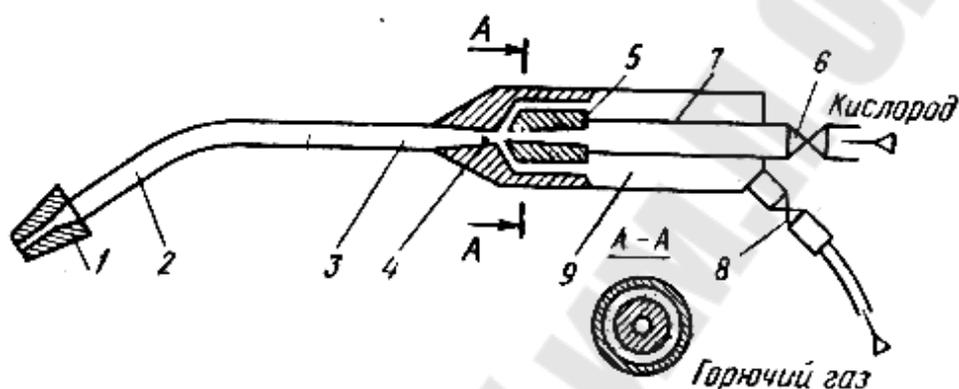


Рис. 17.9. Схема газовой горелки:

- 1 – мунштук; 2 – наконечник; 3 – смесительная камера;
- 4 – инжекторная камера; 5 – канал подачи горючего газа;
- 6 – кислородный вентиль; 7 – канал подачи кислорода;
- 8 – газовый вентиль; 9 – корпус горелки

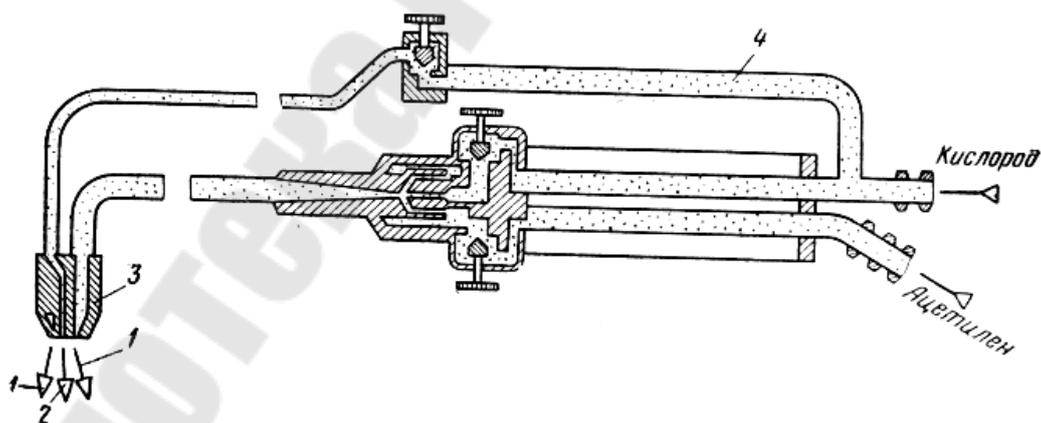


Рис. 17.10. Схема газового резака:

- 1 – струя режущего кислорода; 2 – горячая смесь; 3 – наконечник;
- 4 – канал подачи режущего кислорода

Работа газового редуктора основана на поддержании равновесия между силой сжатия главной пружины 8 (рис. 17.11), стремящейся открыть клапан 11, и противодействующими силами обратной пружины 4 и давления газа на мембрану 7, стремящихся закрыть его. При этом изменение размеров отверстия под действием этих сил приводит к различной скорости истечения газа в камеру расширения 10, что приводит к снижению давления. Величину давления регулируют винтом 9, который изменяет размеры отверстия между клапаном 11 и седлом клапана. Величина давления газа в баллоне и на входе в редуктор 1 измеряется манометром 2, рабочего давления – манометром 3. Подача газа с пониженным давлением осуществляется через вентиль 6. Для ограничения давления на выходе из редуктора установлен предохранительный клапан 5.

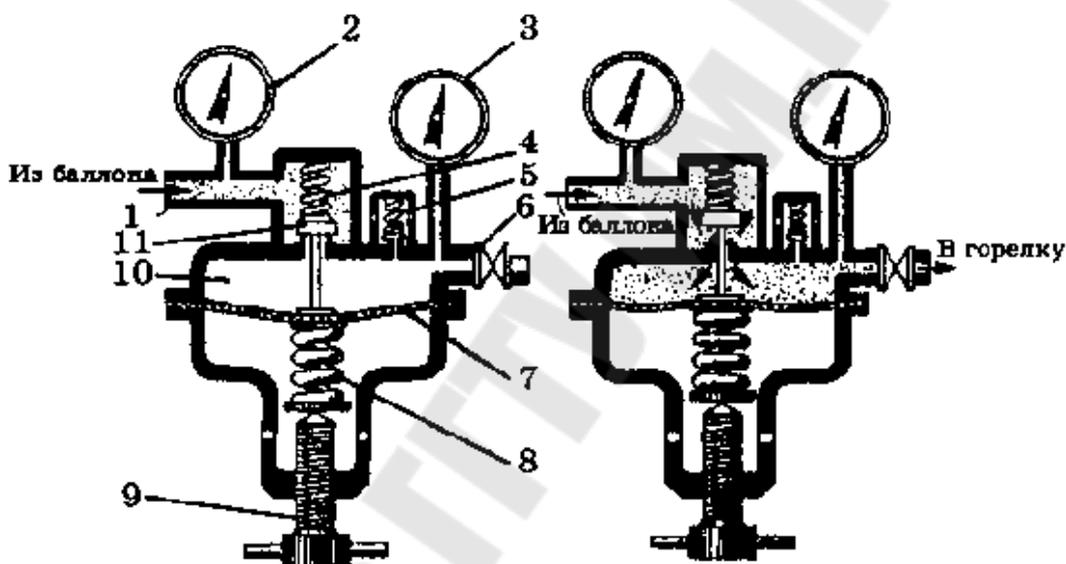


Рис. 17.11. Схема газового редуктора:
а – нерабочее положение; б – рабочее положение

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень способов термической резки.
3. Описание процессов газовой резки и схема резака.
4. Перечень и назначение оборудования для газовой резки и сварки.
5. Вывод о качестве реза, полученного различными способами (расположить способы резки в ряд по возрастанию качества реза).
6. Вывод о внешнем виде швов, полученных различными способами сварки.

Контрольные вопросы

1. Суть и способы термической резки.
2. Оборудование, необходимое для газовой резки и сварки.
3. Требования к свойствам металла при газовой резке.
4. Роль кислорода при газовой резке.
5. Процесс саморегулирования количества ацетилена, вырабатываемого в газовом генераторе.
6. Достоинства, недостатки и область применения газовой сварки.
7. Устройство и принцип работы генератора, водяного затвора, редуктора, резака и горелки.
8. Структура газового пламени.
9. Особенности выбора технологии газовой сварки в зависимости от положения сварного шва и толщины свариваемых деталей.

Лабораторная работа № 18 ИЗУЧЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы: ознакомиться с процессом возникновения сварочных деформаций и напряжений.

Содержание работы: теоретическое изучение процесса возникновения сварочных деформаций и напряжений, экспериментальное определение величины продольной и поперечной усадки, расчет усадочной силы, прогнозирование деформации сварной детали.

Применяемое оборудование и материалы: пост ручной дуговой сварки, электроды, сварочные щитки, брезентовые рукавицы и спецодежда, молоток, керн, щетка, щипцы, штангенциркуль, пластина-образец.

Порядок выполнения работы

1. С помощью керна в углах пластины-образца нанести реперные точки и пронумеровать их.
2. Наметить мелом линию нанесения сварного шва.
3. С помощью штангенциркуля измерить расстояния между сварными точками вдоль и поперек оси сварного шва. При оценке линейного размера вдоль оси шва поочередно определить расстояние между двумя точками, расположенными справа и слева от намеченной линии сварного шва и вычислить среднее арифметическое значение. Аналогично определить базовую длину поперек оси сварного шва. Записать результаты.
4. Нанести сварной шов на пластину.
5. После охлаждения пластины сбить слой шлака и повторить замеры базовых длин вдоль и поперек сварного шва.
6. Определить величину сварочных деформаций вдоль и поперек шва по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(\ell_0 - \ell_1)}{\ell_0} \cdot 100 \%,$$

где ℓ_0 – базовая длина пластины-образца до нанесения сварного шва;
 ℓ_1 – базовая длина пластины-образца после нанесения сварного шва.

7. Рассчитать величину усадочной силы, действующей вдоль сварного шва по формуле:

$$P_{yc} = \frac{(\ell_0 - \ell_1)}{\ell_0} \cdot E \cdot F,$$

где P_{yc} – усадочная сила, МН; ℓ_0 – базовая длина пластины-образца до нанесения сварного шва вдоль его оси, мм; ℓ_1 – базовая длина пластины-образца после нанесения сварного шва вдоль его оси, мм; E – модуль упругости (для стали – 200000 МПа); F – площадь поперечного сечения пластины, мм².

Теоретические аспекты процесса возникновения сварочных деформаций и напряжений

Термин «деформация» определяется как изменение формы и геометрических размеров тела под действием приложенных сил. В большинстве случаев тела подвергаются воздействию внешних сил. В тоже время в деталях, подвергнутых сварке, возникают внутренние силы и соответственно напряжения.

Для пояснения процессов, возникающих при нанесении сварного шва и его последующего охлаждения, рассмотрим схему на рис. 18.1.

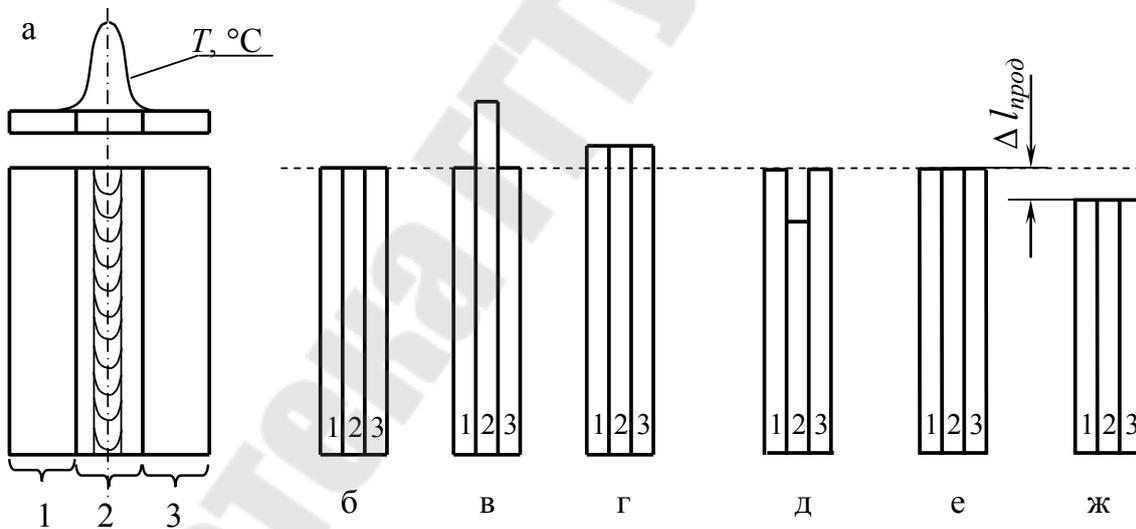


Рис. 18.1. Схема возникновения деформаций в сварном стыковом соединении

При соединении двух заготовок, как показано на рис. 18.1, а, выделяющееся тепло локализуется в сварном шве и околошовной зоне (слой 2). Периферийные слои пластины (1 и 3) не подвергаются нагреву до высоких температур. Допустим, что центральный слой 2 не связан с крайними слоями 1 и 3. Тогда в результате термического расширения он

значительно удлинится по отношению к соседним слоям (рис. 18.1, в) и по сравнению с первоначальной длиной пластины (рис. 18.1, б). Его относительная деформация может быть описана законом термического расширения твердых тел.

В действительности центральный слой 2 связан с остальной частью пластины и деформируется вместе с ней в соответствии с соблюдением закона плоских сечений. Вся пластина равномерно удлиняется (рис. 18.1, з). При этом термическое расширение центрального слоя (околошовной зоны) вызывает возникновение растягивающих механических напряжений в крайних слоях (1 и 3) и их упругую деформацию. В соответствии с третьим законом Ньютона со стороны крайних слоев пластины возникает реакция, препятствующая удлинению центрального слоя 2. В нем возникают напряжения сжатия.

При охлаждении сформированного сварного шва металл слоя 2 испытывает потребность в термической усадке. Если бы силы сцепления между слоями отсутствовали, то центральный слой, представляющий в данный момент сформированный сварной шов и околошовную зону, значительно сократил бы свои линейные размеры (рис. 18.1, д). Но поскольку центральный слой связан с периферийными частями пластины, его деформация вместе со слоями 1 и 3 подчиняется закону плоских сечений. Поэтому в начальный момент остывания вся пластина приобретает первоначальную длину (рис. 18.1, е). Затем проявляется усадка металла сварного шва, который в момент сварки находился в жидком состоянии и не оказывал механического воздействия на околошовную зону. Этот слой металла остывает с максимально высокой температуры и, следовательно, испытывает наибольшую потребность в усадке. В результате вся пластина сокращает свои размеры на величину продольной усадки ($l_{\text{прод}}$). Усадка центрального слоя 2 вызывает возникновение сжимающих механических напряжений в крайних слоях (1 и 3) и их упругую деформацию. В соответствии с третьим законом Ньютона со стороны крайних слоев пластины возникает реакция, препятствующая укорочению центрального слоя 2. В нем возникают напряжения растяжения.

Кроме продольной ($l_{\text{прод}}$) усадки в рассматриваемой пластине могут возникнуть: поперечная ($l_{\text{поп}}$) усадка; изгиб в плоскости пластины (f_1); коробление (f_2); угловая деформация φ (рис. 18.2).

Причиной возникновения поперечной деформации ($l_{\text{поп}}$) является усадка сварного шва в поперечном направлении. Изгиб пластины (f_1) возникает в случае несимметричного расположения сварного шва. Боковые слои пластины имеют различную толщину и соответственно с

разной реакцией противодействуют усадке шва. Коробление (f_2) и угловая деформация φ возникают вследствие неодинакового разогрева поверхностей пластины. Так со стороны сварного шва температура металла достигает температуры плавления и более, в то время как с обратной стороны металл не плавится и температура его несколько меньше. В результате на поверхности пластины с стороны сварного шва усадка имеет большую величину, чем с обратной стороны.

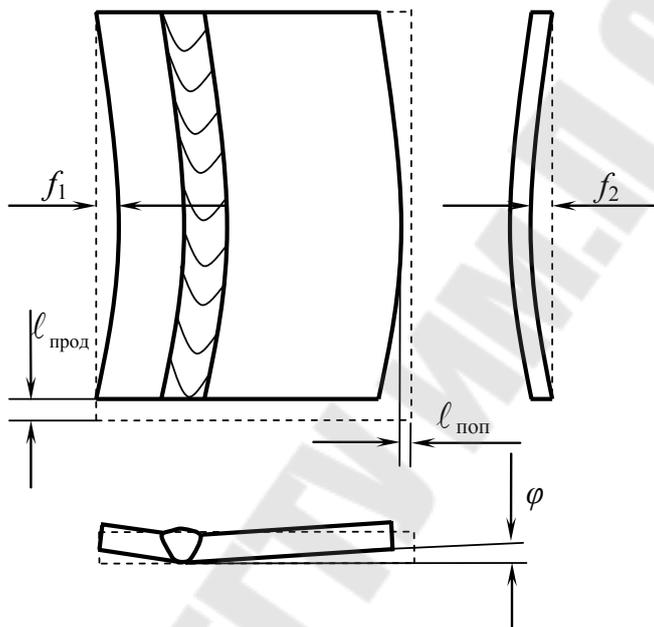


Рис. 18.2. Виды деформаций

Снижение внутренних напряжений и деформаций – один из путей предупреждения трещин. Для этого необходимо уменьшить реакцию основного металла на разогреваемые до высоких температур шов и зону термического влияния. Следует уменьшить геометрическую жесткость свариваемых заготовок, исключить их закрепление при сварке, а также применить предварительный подогрев для выравнивания температур по объему заготовки. Сварочные напряжения снимаются также немедленным после сварки высоким отпуском. В тоже время методы снижения внутренних деформаций и напряжений (кроме отпуска) приводят к увеличению внешних деформаций сварной заготовки. Для устранения последних, наоборот, необходимо увеличение жесткости заготовок (постановка ребер, мембран и т. п.) или закрепление их при сварке. Выбор условий сварки определяется тем, что в данном случае опасней – трещины или коробление заготовки.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень возможных видов деформации пластин при сварке встык с описанием условий, при которых эти деформации достигают заметных величин.
3. Описание порядка выполнения работы (экспериментального определения усадочной силы, расчета продольной усадки заданной детали, измерения всех видов деформации образца).
4. Прогноз вероятности различных видов деформации детали с изображением их на эскизе детали (деформации показать штриховыми линиями).

Контрольные вопросы

1. Виды деформаций, возникающих в результате сварки.
2. Механизм образования остаточных деформаций и напряжений.
3. Факторы, влияющие на величину усадочной силы.
4. Условия, при которых наблюдается коробление, изгиб и угловая деформация.
5. Влияние остаточных напряжений на несущую способность сварных деталей.
6. Влияние временных напряжений на качество сварных швов и остаточных напряжений на работоспособность.
7. Какие мероприятия применяются для уменьшения сварочных напряжений и деформаций?

Литература

1. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов / под общ. ред. А.М.Дальского. – Москва: Машиностроение, 1985. - 448 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя / Косилова А.Г. [и др.] ; под ред А.Г.Косиловой. - 1 том, 1986. - 655 с., 2 том, 1985. – 495 с.
3. Федин А.П. Сварка, наплавка и резка металла.- Мн.: Высш. школа, 1972.

Лабораторная работа № 19 МИКРОСТРУКТУРА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы: Ознакомить студентов с процессами структурообразования в сварном шве и околошовной зоне, изучить влияние структуры на изменение свойств металла по мере удаления от сварного шва.

Оборудование и материалы: Коллекция шлифов сварных соединений, металлографический микроскоп, твердомер, альбом фотографий микроструктур сварного соединения.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться по методическому пособию с процессом образования сварного соединения.
2. По диаграмме железо-углерод и схеме сварного соединения изучить характерные зоны и участки, их структуру и свойства.
3. Выявить и описать дефекты на образцах.
4. Изучить микроструктуру сварного соединения по предложенному теоретическому описанию.
5. С помощью микроскопа изучить и зарисовать микроструктуру характерных зон сварного соединения. Выявить их количество и сравнить полученное изображение с теоретическим описанием.
6. Осуществить оценку содержания углерода в сварном шве и основном металле по микроструктуре.
7. Провести отжиг сварного соединения при температурах 200 и 700°C.
8. Изучить структуру сварного шва после отжига и зарисовать ее.
9. Сделать вывод о влиянии отжига на структурные изменения в сварном шве.

Общие сведения

Характерные зоны в сварных соединениях и особенности их образования, структуры и свойств. Процесс образования сварного соединения начинается с нагрева и расплавления основного и электродного металлов.

После образования сварочной ванны жидкий металл подвергается металлургической обработке – раскислению (удалению кислоро-

да), рафинированию (удалению вредных примесей) и легированию. В этот же период происходит выделение газов из жидкого металла.

Последний период – кристаллизация металла шва.

Одновременно с образованием сварочной ванны и кристаллизацией шва происходит нагрев околошовной зоны основного (свариваемого) металла. В итоге каждый объем металла сварного соединения претерпевает нагрев до разных максимальных температур и затем охлаждается с различной скоростью. Таким образом, каждый характерный участок металла в сварном соединении после сварки имеет свою термическую историю, которая может быть описана термическим циклом сварки.

Термический цикл сварки (сварка также как и любая термическая обработка) представляет собой изменение температуры сварного соединения во времени.

В зависимости от реальных условий процесса сварки, скорости нагрева и охлаждения достигаемые температуры могут изменяться в очень широких пределах. Наибольшие скорости наблюдаются при контактной сварке (особенно при точечной и роликовой). В этих случаях электрический ток часто протекает в течение долей секунды. При газовой сварке скорость нагрева и охлаждения наиболее низкая. Режимы сварки, при которых скорости нагрева и охлаждения очень большие считают **«жесткими»**. Под **«мягкими»** режимами понимают такие, при которых металл нагревается и охлаждается медленно.

Сварное соединение состоит из следующих зон.

1. Металл шва. Это та зона, в которой в связи с нагревом выше температуры ликвидуса свариваемый металл расплавлялся в процессе сварки, перемешивался с металлом электрода и затем кристаллизовался. Структура шва характеризуется столбчатой формой кристаллов. При дальнейшем охлаждении металл шва претерпевает вторичную перекристаллизацию. Особенностью кристаллизации сварочной ванны является то, что в отличие от кристаллизации слитка, кристаллизация шва протекает при одновременном нагреве от источника тепла и охлаждения в виде отвода тепла в основной металл. Металл шва, за счет перехода легирующих элементов из покрытия или электродного стержня, часто отличается по химическому составу от основного металла. Как известно, литая структура металла шва обладает меньшей прочностью и повышенной хрупкостью по сравнению с основным металлом, который, как правило, имеет более высокую прочность и ударную вязкость за счет обработки его давлением (прокатка,

ковка и т.п.). Равнопрочность литого металла шва с основным металлом при сварке достигается за счет легирования шва.

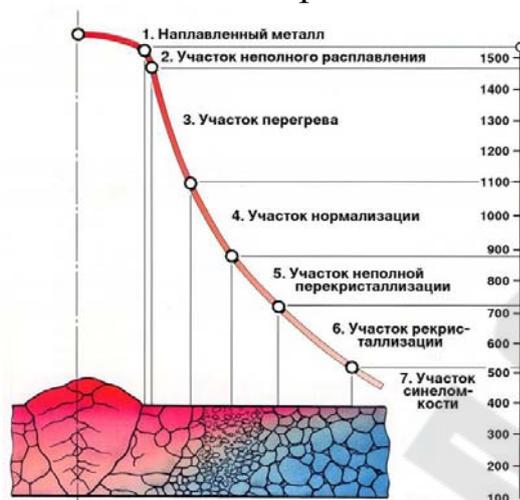


Рис. 19.1. Структурное строение сварного шва и зоны его термического влияния

2. *Участок неполного расплавления* охватывает те объемы металла, которые в процессе сварки нагревались до температур выше линии солидуса, но ниже линии ликвидуса. В этой области происходило частичное расплавление основного металла. Здесь наблюдается значительный рост зерен, скопление примесей, поэтому этот участок обычно является наиболее слабым местом сварного соединения с пониженной прочностью и пластичностью. Кроме того, оплавленные и неоплавленные зерна металла имеют различные электрохимические потенциалы, что усиливает процесс атмосферной коррозии, протекающей по межкристаллитному механизму. В результате между оплавленными и неоплавленными зернами металла нарушаются межатомные связи и появляется начальная микротрещина. Такие микротрещины являются зародышами магистральных усталостных трещин, распространяющихся в окрестности сварного шва по усталостному механизму. Ширина зоны сплавления зависит от свойств металла (что определяет температурный интервал $T_{л} - T_c$) и от способа сварки.

3. *Зона термического влияния* представляет тот объем основного металла, который при сварке нагревался ниже температуры плавления, и вызвал изменение структуры и свойств.

Характер структуры и свойств в отдельных зонах сварного соединения может быть определен из рассмотрения диаграммы состояния свариваемого сплава. Наибольшее применение в промышленно-

сти находят низкоуглеродистые стали, отличающиеся хорошей свариваемостью. Для анализа изменения микроструктуры малоуглеродистой стали, при сварке воспользуемся диаграммой железо-углерод. Намечая на диаграмме состояния температурные границы характерных зон и участков, перенесем эти границы на график распределения температур. Из точек пересечения горизонтальных линий с кривой охлаждения опустим перпендикуляры на рисунок сварного соединения. Это дает возможность определить линейные границы отдельных участков.

При сварке плавлением низкоуглеродистых сталей применяются сварочные материалы, при которых металл шва получается низкоуглеродистым и низколегированным. Такие стали мало чувствительны к скорости охлаждения и не закаляются. Микроструктура шва получается, как правило, феррито-перлитной.

Переходная зона, или зона сплавления (иногда ее называют границей сплавления), отмечена на схеме цифрой 1. У низкоуглеродистых сталей она невелика. Обычно она имеет ширину 0,08-0,1 мм при дуговой сварке и 0,15-0,20 мм при газовой и электрошлаковой сварке. Структура данной зоны обычно крупнозернистая (феррит + перлит).

Зона термического влияния нагревается до температур ниже солидуса и в зависимости от температуры нагрева разделяется на ряд участков.

Участок перегрева (2) у низкоуглеродистой стали включает металл, нагретый от температур 1000-1100 °С до температур, близких к температуре плавления. В связи с этим здесь развивается крупное зерно; характерным признаком перегрева является повышенная хрупкость. Иногда в участке перегрева встречается так называемая видманштеттова структура. Эта структура впервые была обнаружена Видманштеттом при исследовании метеоритного железа и характеризуется ориентированным расположением феррита. При правильно выбранных режимах сварки структура участка перегрева – крупнозернистый перлит и феррит.

Участок нормализации (3) охватывает металл, нагреваемый в процессе сварки несколько выше критической точки A_{c3} (для низкоуглеродистой стали до температур 900-1100 °С). Благодаря процессу перекристаллизации при нагреве и охлаждении и оптимальной температуре этого нагрева имеет место значительное измельчение зерна. Механические свойства этого участка весьма высокие по сравнению со свойствами других участков зоны термического влияния.

Участок неполной перекристаллизации (4) нагревается до температур, лежащих в интервале от точки Ac_1 до Ac_3 . Металл этого участка в процессе нагрева и охлаждения подвергается только частичной перекристаллизации. Процесс перекристаллизации доэвтектоидной стали протекает следующим образом. До нагрева основной металл имеет структуру феррит и перлит со значительным преобладанием феррита, поскольку сталь низкоуглеродистая. При нагреве в точке Ac_1 наблюдается эвтектоидное превращение перлита в аустенит, феррит же при этой температуре никаких превращений не претерпевает. При охлаждении зерна феррита остаются без изменения, а аустенит переходит в мелкозернистый перлит. Таким образом, отличительной чертой структуры этого участка будет наличие мелких зерен перлита рядом с зернами феррита, имеющими обычные, характерные для основного металла размер и форму.

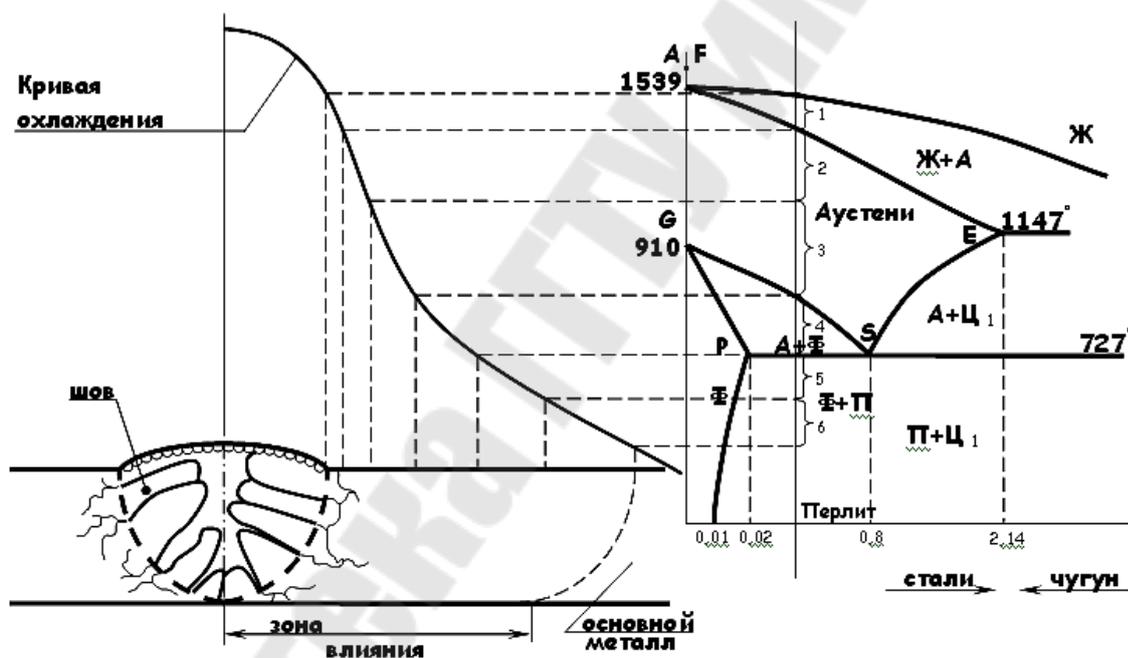


Рис. 19.2 – Схема структурных превращений в сварном шве заготовок из низкоуглеродистой стали в соответствии с диаграммой состояния железо-цементит

Участок рекристаллизации (5) может иметь разную структуру в зависимости от предшествовавшей обработки. У горячекатаной или

отожженной перед сваркой стали структура металла, нагревавшегося до температур ниже A_{c1} , не меняется.

Если металл перед сваркой был наклепан (путем холодной прокатки, штамповки, гибки, обработки резанием), то структурные превращения наблюдаются и на участках, которые нагревались ниже температуры A_{c1} . В холоднодеформированном металле при нагреве происходит процесс рекристаллизации, заключающийся в том, что из деформированных, вытянутых зерен вырастают новые, равноосные зерна. Величина этих новых зерен зависит от степени деформации. Температура начала процесса рекристаллизации вычисляется по формуле:

$$T_p = K \cdot T_{пл},$$

где K – коэффициент, зависящий от чистоты металла. У металлов обычной технической чистоты $K = 0,3-0,4$;

$T_{пл}$ – температура плавления, К.

Если же основной металл перед сваркой холодной пластической деформации не подвергался, то рекристаллизация не происходит и участка рекристаллизации не будет.

Участок синеломкости (б) по структуре совершенно не отличается от основного металла. Температура нагрева этого участка 200-500 °С. Характерным для него является снижение ударной вязкости из-за выделения примесей по границам зерен в виде субмикроскопических частиц.

Механические свойства зон и участков сварного соединения неодинаковы. Наиболее низкими механическими свойствами будут обладать металл шва, граница сплавления, участок перегрева и участок синеломкости. Низкие механические характеристики шва объясняются литой структурой металла и вероятностью наличия дефектов (включений, газовых пор, непроваров и т.п.). Переходная зона, как известно, состоит из литых зерен и крупных зерен перегретого основного металла с характерной для них низкой прочностью. На участке синеломкости прочность снижается из-за выпадения примесей по границам зерен. Особенно резко проявляется это явление при эксплуатации сварных конструкций при повышенных температурах.

Возможности термической обработки сварных соединений

Структурную неоднородность сварного соединения можно в некоторой степени устранить путем термической обработки. Если на термическую обработку возлагается только задача снятия внутренних напряжений (возникших в результате сварки), то достаточно ограничиться низкотемпературным отжигом с последующим медленным охлаждением. Обычно для снятия внутренних напряжений применяют отжиг при 500-600 °С, а иногда и при более низких температурах.

Однако часто на термическую обработку возлагают и другие задачи:

1. Получение мелкого зерна путем перекристаллизации.
2. Выравнивание структуры по сечению шва и зоны термического влияния.
3. Выравнивание химического состава путем диффузии.
4. Придание основному и наплавленному металлу заданных свойств и структуры.

В любом случае, прежде чем решиться на термическую обработку сварного соединения, нужно тщательно изучить геометрию и размеры сварного соединения, неоднородность химического состава и структуры. Как правило, после этого требуется экспериментальная проверка принятых решений.

Следует отметить, что прочность сварного соединения зависит также от дефектов, не связанных со структурными превращениями. Это неправильное формирование шва, образование наплывов и подрезов, образование трещин при неравномерной усадке шва. Последнее объясняется тем, что жидкий металл имеет больший объем, нежели твердый. При затвердевании объем шва будет уменьшаться, а основной металл, как правило, препятствует этой усадке. В результате могут образоваться внутренние напряжения и трещины.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Рисунок диаграммы железо-углерод и схемы сварного соединения.
4. Краткая характеристика микроструктуры и свойств зон и участков сварного соединения.

5. Изображение микроструктуры характерных участков и зон сварного соединения.

6. Расчет химического состава шва и основного металла по углероду.

Контрольные вопросы

1. Из каких этапов состоит процесс образования сварного соединения?

2. Что такое термический цикл сварки?

3. Попробуйте нарисовать термический цикл при сварке (в координатах температура – время). Сравните с графиком какого-либо вида термической обработки, например, закалки в воду, нормализации. Проанализируйте, в чем сходство и различие вида кривых.

4. Что такое мягкий и жесткий режим сварки? Как их получить практически, например, при ручной дуговой сварке, контактной и др.?

5. Из каких зон состоит сварное соединение?

6. Опишите характерные признаки зон сварного соединения. Как эти зоны образуются при сварке?

7. Как добиваются равнопрочности сварного шва с основным металлом?

8. Всегда ли нужно добиваться равнопрочности шва и основного металла?

9. От каких факторов зависит ширина зоны сплавления?

10. Что называется зоной термического влияния?

11. Из каких участков состоит зона термического влияния?

12. От чего зависит величина зоны термического влияния?

13. Отличается ли химический состав металла в зоне термического влияния от химического состава основного свариваемого металла?

14. Какие изменения происходят в металле участка перегрева?

15. Свойства металла на участке нормализации.

16. Структурные превращения металла на участке неполной перекристаллизации.

17. Что такое наклеп и рекристаллизация?

18. Какие дефекты влияют на качество шва?

19. Причины образования трещин в шве.

20. Как устранить внутренние напряжения в сварном соединении?

21. Какие изменения происходят в сварном шве в результате отжига?

Лабораторная работа № 20 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОПЛАМЕННОЙ НАПЛАВКИ

Цель работы: ознакомиться с процессами формообразования изделий методами наплавления поверхностного слоя материала с использованием в качестве источника тепла газового пламени.

Оборудование и материалы: плоская и цилиндрическая заготовки металлических изделий, предназначенные для нанесения на их поверхность наплавленного слоя металла, ручная газовая горелка, припой оловянно-свинцовый, наждачная бумага, флюс на основе хлористого цинка, огнетушитель улекислотный.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с технологическими особенностями процесса газопламенной наплавки.

2. Изучить основные цели наплавки и применяемые для этого материалы.

3. Ознакомиться с процессом подготовки поверхности детали для наплавки оловянно-свинцового сплава (баббита).

4. Осуществить наплавку баббита на плоскую поверхность детали, используя три технологических схемы:

- наплавка газовым пламенем без предварительной подготовки поверхности детали и без использования флюса;

- наплавка газовым пламенем с предварительной подготовкой поверхности детали путем зачистки и обезжиривания, но без использования флюса;

- наплавка газовым пламенем с предварительной подготовкой поверхности детали путем зачистки и обезжиривания, а также с использованием флюса на основе хлорида цинка.

Общие сведения

Наплавкой называется нанесение слоя расплавленного металла необходимого состава на поверхность изделия, нагретую до оплавления. При помощи наплавки можно увеличить или восстановить размеры изделия, а также получить поверхностный слой металла, обладающий высокой твердостью, износостойкостью, кислотостойкостью, жаропрочностью и т. д. Наплавлять можно сталью, цветными металлами и твердыми сплавами.

Способы наплавки

Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами

Эта технология наплавки при меняется наиболее часто благодаря своей универсальности: детали могут быть практически любой формы, находиться в любом пространственном положении.

Легирование наплавленного металла происходит через состав стержня электрода и его покрытие. Минимальная толщина наплавленного слоя 1,5 ...2 мм характеризуется значительным проплавлением основного металла, его существенным перемешиванием с электродным (до 50 %), невысокой производительностью: 0,8 ...2,5 кг/ч. Наплавленный металл по длине и ширине наплавки имеет нестрогое постоянный химический состав, а следовательно, и свойства.

Однако простота применяемого оборудования (обычное сварочное), возможность получения наплавки практически любой системы легирования делают способ весьма распространенным.

Механизированная и автоматическая наплавка под флюсом

Она выполняется сплошной проволокой, порошковыми проволокой И лентой, имеет большую производительность (до 5 кг/ч), лучшую равномерность по свойствам наплавленного металла по его сечению. Применение порошковых наплавочных материалов существенно повышает диапазон легирования. Особенно расширяется возможность легирования и уменьшается степень перемешивания основного и присадочного материалов благодаря применению специально изготовленной магнитолегирующей шихты.

Данные способы могут использоваться и при наплавке в защитных газах. В этом случае легирование достигается исключительно через присадочную электродную проволоку. При необходимости производить наплавку в три-четыре слоя верхние слои наплавленного металла практически полностью по химическому составу соответствуют составу электродной проволоки.

При применении неплавящегося электрода и присадочной проволоки удается существенно снизить содержание основного металла даже в первом слое наплавки (до 20 %), хотя в этом случае производительность существенно снижается. В целом же способ характеризуется большой проплавающей способностью и весьма значительными деформациями.

Плазменная наплавка

Различаются два вида: плазменная *технология наплавки струей* (изделие находится не под напряжением) и дугой (изделие включается в электрическую цепь источника питания сварочной дуги). При наплавке первым способом получают небольшое проплавление основного металла и поверхностный наплавленный слой почти полностью соответствует по химическому составу присадочной проволоке.

При наплавке с использованием сварочной сжатой дуги между электродом и изделием проплавление основного металла существенно увеличивается. Возрастает и степень перемешивания основного и присадочного металлов.

Достоинствами первого способа являются малое проплавление основного металла, низкий уровень сварочных деформаций. Плазменная наплавка дугой обладает большой производительностью (до 6 кг/ч) и может обеспечить получение за один проход толщины слоя до 6 мм.

Электрошлаковая наплавка

Проводится в вертикальном, горизонтальном или наклонном положении детали с принудительным или свободным формированием наплавленного металла.

Рекомендуется для наплавки больших поверхностей - прокатных валков, зубьев ковшей экскаваторов большой емкости, крупномодульных зубьев шестерен и звездочек, в производстве заготовок для последующей прокатки биметаллических листов и др.

Широкое применение электрошлаковая технология наплавки получила при облицовке поверхностей в нефтехимии и атомной промышленности.

Она характеризуется высокой производительностью (до 200 кг/ч), малой долей основного металла в наплавке (до 10 %), хорошим диапазоном (разнообразием) по толщине наплавки (2 ...60 мм).

Одним из достоинств электрошлаковой наплавки является возможность формировать в жидком состоянии сечение и форму наплавки. Однако большая погонная энергия вызывает сильный перегрев основного металла, рост зерна в ОШЗ, потерю пластических свойств в ЗТВ.

Лазерная наплавка

Лазерная технология наплавки нашла применение тремя способами:

- с подачей присадочного порошка в зону лазерного луча с помощью достаточно сложного дозирующего устройства;
- с оплавлением предварительно нанесенного на поверхность присадочного материала в виде пасты;
- с оплавлением предварительно напыленных поверхностей.

Быстрое (до 2000 °С/с) охлаждение наплавленного металла способствует получению высокотвердых структур в наплавке и поверхности основного металла. Способ весьма эффективен, хотя и требует специального дорогого оборудования и обученного персонала. Его используют для наплавки лопастей турбин, клапанов, распределительных валов и других деталей ответственного назначения. Он позволяет получать наплавленные поверхности толщиной до 0,1 мм. Производительность при хорошо организованном серийном производстве может достигать до 1 кг/ч при доле основного металла в наплавленном 5...7 % за счет возможности перераспределения теплового вложения.

Электронно-лучевая наплавка

Этот вид наплавки выполняют в вакуумных камерах. Достоинством такой технологии наплавки является возможность отдельно распределять мощность луча, идущего на подогрев наплавляемой поверхности и наплавляемого металла. Отсюда - возможность добиваться практически минимального перемешивания основного и наплавочного материалов и только в слоях наплавки, прилегающих к основному материалу (3 ... 5 %). Так как наплавка проводится в вакууме, то выгорание из присадочного материала легирующих элементов исключается; в результате появляется возможность легировать наплавляемый металл в любых количествах и сочетаниях. Присадкой служит проволока сплошного сечения или порошковая. Производительность такой технологии наплавки достаточно велика: до 2 кг/ч, толщина наплавки может быть в пределах 0,2 ... 3 мм.

Недостатками являются сложность и дороговизна оборудования и необходимость квалифицированного персонала и малый КПД установки.

Индукционная наплавка

Это наплавка, проводимая в индукторах. Она подразделяется на два вида в зависимости от состояния присадочного материала. В одном случае твердый присадочный материал помещают на наплавляемую поверхность и направляют в индуктор, где он расплавляется. В другом случае отдельно расплавленный присадочный материал зали-

вают на наплавляемую поверхность, затем в индукторе изделие дополнительно нагревают до полного растекания наплавки.

Иногда в обоих случаях используют дополнительно флюсы, способствующие смачиванию. Одним из требований при индукционной наплавке является необходимость иметь материал подложки с более высокой температурой плавления, чем наплавляемый. КПД процесса невысок, существует опасность перегрева основного металла. Однако можно подобрать такой режим, при котором почти полностью исключается перемешивание основного и присадочного металлов. Производительность такой наплавки может достигать 15 кг/ч при толщине наплавляемого слоя 3.. 4 мм. Процесс становится эффективным в условиях серийного производства и чаще всего применяется в сельскохозяйственном машиностроении.

Электроконтактная наплавка

Ее выполняют на несколько модернизированных машинах для контактной сварки путем при варки ленточного или проволочного наплавляемого металла. Толщина наплавки может быть значительной (до 3 мм), однако целесообразно осуществлять наплавку тонких лент в несколько слоев. В этом случае исключается перегрев, и свойства металла сохраняются. 8 последнее десятилетие чаще применяют способ наплавки ленты к изделию с использованием промежуточного порошкообразного подслоя, например из порошков типа ПГ-СР. В этом случае происходит как бы наплавка-напайка.

Степень перемешивания основного металла и наплавленного практически нулевая. Производительность может достигать 2.. 4 кг/ч. Толщина наплавки зависит от числа слоев. При однослойной наплавке рекомендуется $\leq 1...1,2$ мм в случае использования в качестве присадки ленты.

Плакирование поверхности листов энергией взрыва

Этот способ применяется для получения больших поверхностей или в крупносерийном производстве. Процесс мало чем отличается от обычной сварки взрывом, используются те же оборудование, камеры, взрывчатые вещества. Полученная в результате сварки взрывом двух или трехслойная заготовка направляется в прокатные станы для получения плакированного листа нужной толщины. Способ характеризуется высокой производительностью, отсутствием перемешивания основного и наплавленного металлов, небольшими деформациями.

Практически толщина наплавленного слоя неограниченна. Однако сложность оборудования и ограниченность ассортимента наплавляемого металла являются существенным препятствием для широкого применения способа.

Наплавка трением

Технология наплавки трением напоминает обычную сварку трением, проводимую при вращении одного прутка или заготовки относительно другой при непрерывном их поджатии друг к другу. Наплавляемый металл как бы намазывается на поверхность другого. При этом наплавленный слой в зависимости от режима процесса может иметь весьма малую толщину (0,2 ... 0,5 мм).

Газопламенная наплавка

Такая наплавка - довольно распространенный способ, проводимый на стандартном оборудовании газопламенного поста (рис.20.1). В качестве присадки используется проволока сплошного сечения или порошковая. Иногда наплавку выполняют вдуванием порошка в зону пламени. В зависимости от компонентов ее легирования пламя регулируется от восстановительного до окислительного. Это позволяет легко изменять нагрев основного металла и при садки, что может обеспечить в необходимых случаях почти полное отсутствие перемешивания основного и присадочного металлов. Наплавка может проводиться во всех пространственных положениях и на деталях практически любой толщины.

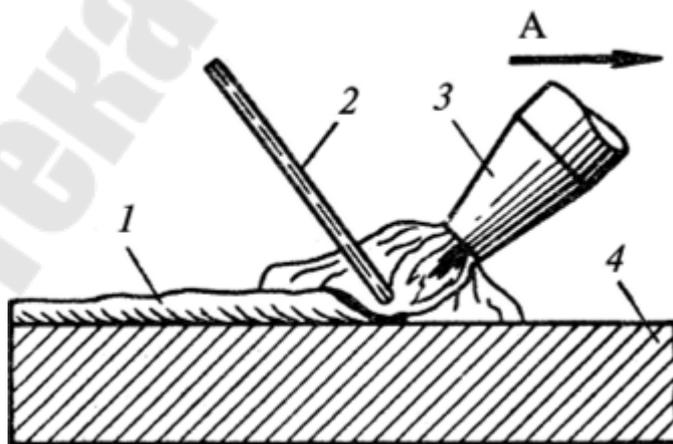


Рис. 20.1. Схема газопламенной наплавки:
1 — наплавленный слой; 2 — присадочный пруток;
3 — газовая горелка; 4 — наплавляемая деталь;
А — направление наплавки

Процесс достаточно энергоемкий, приводит к значительному нагреву основной детали и ее деформациям. Производительность газовой наплавки до 3 кг/ч, толщина наплавленного слоя 0,3 ... 3 мм.

При газовой наплавке цветных металлов на предварительно зачищенную поверхность направляют пламя и нагревают ее до температуры плавления наплаваемого металла. Наплавлять можно один или несколько слоев. Для очистки нагретой поверхности от окислов применяют те же флюсы, что и для пайки. Таким образом, физические процессы, происходящие при наплавке, во многом аналогичны процессам пайки. Здесь также происходит смачивание наплаваемой поверхности и образование на границе оплавления твердых растворов в результате диффузии. Для наплавки меди необходимо нормальное пламя, наплавку латуни производят с избытком кислорода. Образующиеся при этом окислы предохраняют цинк от испарения.

Твердые сплавы наплавляют для придания твердости и износостойчивости рабочим поверхностям трущихся деталей. В зависимости от способа производства твердые сплавы делятся на спеченные или металлокерамические, литые (стеллит, сормайт), порошкообразные или зернистые (вокар) и трубчато-зернистые (релит). Газовым пламенем наплавляются литые и трубчато-зернистые твердые сплавы, так как порошкообразные твердые сплавы сдуваются пламенем горелки, а керамические легко перегреваются.

Наплавку сормайта на сталь производят следующим образом; деталь, подлежащую наплавке сплавом, предварительно нагревают науглероживающим пламенем до запотевания поверхности, а затем наплавляют слой сормайта. Растекаясь по оплавленной поверхности, стали, сормайт сплавляется с ней, образуя прочное соединение. Сормайтом называют класс литых высокоуглеродистых сплавов большим содержанием хрома, дополнительно легированных никелем и кремнием. В результате наплавления слоя сормайта на поверхности детали образуется высокоуглеродистая аустенитная структура, которая при последующих внешних воздействиях – трении, ударах и т.п. претерпевает самопроизвольное старение с образованием мартенсита и повышения твердости поверхности. Эти изменения способствуют повышению износостойкости рабочей поверхности детали.

Баббитами называют сплавы на основе свинца и олова, а также других легкоплавких высокопластичных металлов. Благодаря наплавке баббитом при скольжении в узле трения происходит меньший износ детали, так как этот материал обладает таким свойством, как низ-

кая температура плавления, за счет чего происходит лучшее притирание, меньший износ детали.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Схема наплавки.
4. Краткая характеристика наплавочных процессов и их назначение
5. Выводы о влиянии изменения технологии наплавки баббита на качество полученного покрытия.

Контрольные вопросы:

1. Опишите технику наплавки цветных металлов на сталь.
2. Перечислите твердые сплавы, наплавляемые газовым пламенем.
3. Как производится наплавка сормайта на сталь?
4. С какой целью осуществляется наплавка баббитов на поверхность деталей машин?
5. Какие технологические особенности процесса наплавки определяют качество наплавленного слоя?.

Литература

1. Полевой Г.В., Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов - М: Академия, 2010.

Лабораторная работа № 21

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ПЛАСТМАСС

Цель работы: Ознакомиться с процессами получения неразъемных соединений заготовок из полимерных материалов, выявить влияние способов сварки на прочность сварных соединений.

Оборудование и материалы: Пленочные заготовки термопластичного материала (полиэтилена или др.), приспособление для контактной сварки полимерных материалов с помощью роликового нагревателя, устройство для нагрева полимеров горячим газом, ножницы, разрывная машина для испытания полимерных пленок на прочность.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с технологическими особенностями сварки полимерных материалов.
2. Ознакомиться с принципом действия установки контактной сварки полимеров и сварки горячим газом.
3. Вырезать из полимерной пленки четыре заготовки размером 10×100 мм две заготовки размером 10×200 мм.
4. Осуществить сварку двух пар пленочных заготовок нахлесточным соединением, используя для этого заготовки с размерами 10×100 мм:
 - первую пару заготовок соединить контактным устройством путем прокатывания нагретого ролика по зоне сварного соединения;
 - вторую пару заготовок соединить, нагревая струей горячего воздуха;
 - остудить полученные сварные соединения и провести их испытания на растяжение;
 - определить прочность заготовок с размерами 10×200 мм, которые не подвергались сварке.
 - сравнить полученные результаты и сделать вывод о влиянии способа сварки на прочность соединения.

Общие сведения

При сварке различных элементов конструкций исчезает поверхность, разделяющая два материала, и образуется сварной шов, структура которого формируется атомами соединяемых заготовок. Сварка полимерных материалов может осуществляться под действием кос-

венного нагрева, инфракрасного и лазерного излучений, с применением нагретого инструмента, токов высокой частоты, ультразвука, трения. Прочность сварного соединения зависит от возникающих в сварном шве сил межатомного и межмолекулярного взаимодействия. При сварке термопластов сварной шов образуется при нагреве. Переходный слой сварного соединения формируется в результате взаимной диффузии атомов соединяемых материалов, находящихся в вязкотекучем состоянии. Сварка реактопластов с нагревом сварного соединения не проводится, а соединение осуществляется вследствие химического взаимодействия молекул соединяемых материалов между собой или со сшивающим агентом, вводимым в зону сварки.

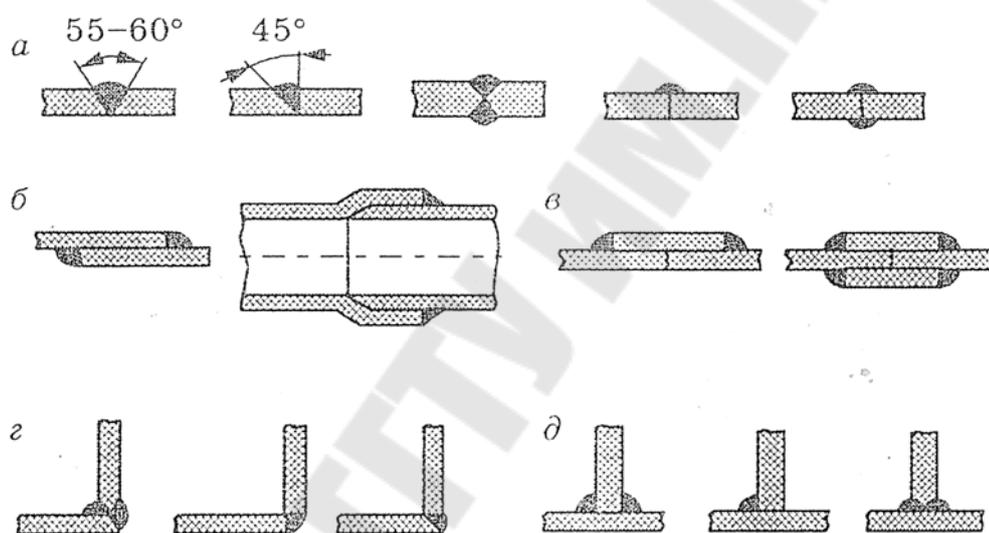


Рис. 21.1. Основные типы сварных соединений полимерных заготовок:
 а – стыковое; б – нахлесточное; в – комбинированное;
 г – угловое; д – тавровое

При сварке **горячим газом** в качестве теплоносителя используют воздух, если соединяются винипласт, пластикат, полистирол, или инертные газы — аргон, азот, если соединяются полиэтилен, полиамиды. Для сварки применяют электрические сварочные горелки. В них воздух или газы проходят через электроспираль и, нагреваясь до 200 ... 300 °С, направляются соплом на сварочный участок. Давление воздуха или газа создается воздуходувной установкой, компрессором или регулируется редуктором от газового баллона. Сварка происходит с присадочным пруток (рис.21.2). В некоторых случаях применение присадочного прутка не требуется. Для сварки с пруток по краям соединяемых деталей выбирают фаски, а в случае примыкания под углом загибают край листа. Прочность шва при сварке составляет

50...80 % прочности целого материала в зависимости от формы соединения.

Термин «сварка горячим газом» имеет историческое происхождение. В самом начале, когда способы обработки пластика только разрабатывались, воздух в сварочных аппаратах действительно подогревался при помощи газовой горелки. Это нельзя было назвать безопасным и практичным. Современные аппараты с электрическим подогревом позволяют регулировать температуру воздуха. Однако, обозначение «сварка горячим газом» осталось.

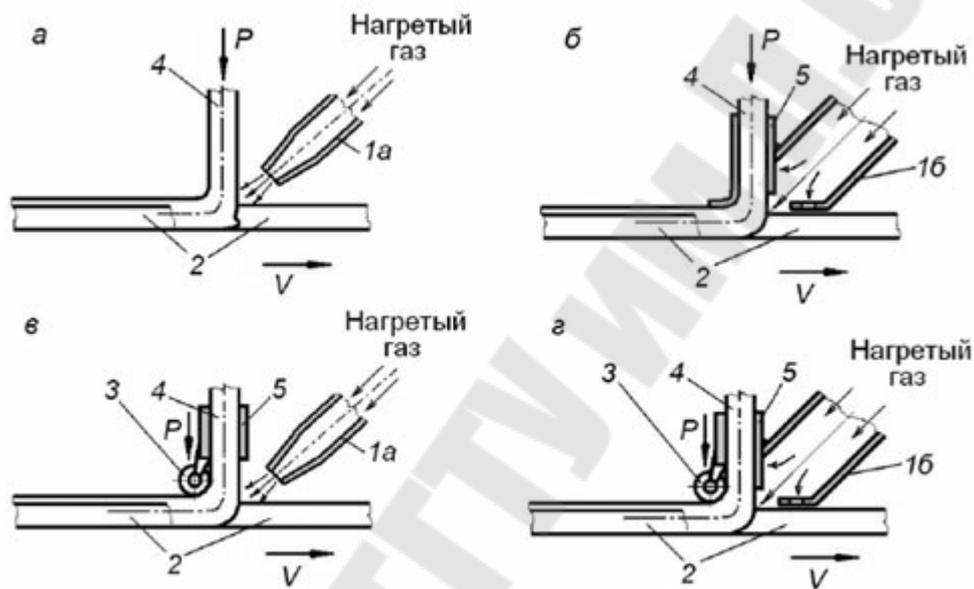


Рис. 21.2. Схемы сварки пластмасс присадочным прутом:
а - сварка без насадки, *б* – сварка с насадкой для твердых термопластов,
в – сварка с насадкой для мягких термопластов, *г* – сварка с насадкой
 для твердых и мягких термопластов. 1*а* – стандартное сопло,
 1*б* – производительное сопло, 2 – основной материал, 3 – прижимной ролик,
 4 – присадочный пруток, 5 – направляющий канал, P – направление
 давления на присадочный материал, V – направление сварки.

Сварка термопластичных материалов состоит из следующих этапов:

- подготовка поверхности свариваемых деталей,
- разогрев зон сварки,
- сварка деталей,
- охлаждение сварочного шва (сваренные детали находятся под давлением),
- освобождение сваренных деталей от давления,
- обработка сварочного шва

Сварка горячим воздухом применяется для соединения отрезков плит при изготовлении различных изделий, для сварки труб и профилей, а также пленочных материалов. Для сварки пригодны все без исключения термопласты.

К основным технологическим параметрам сварки нагретым газом с использованием присадочного материала относятся:

- расход и температура газа;
- материал и размеры сечения присадочного прутка;
- угол наклона подаваемого в разделку прутка;
- усилие прижима присадки;
- угол наклона горелки к плоскости детали;
- скорость сварки.

Температура газа на выходе из сопла должна быть на 50–100 °С выше температуры вязкотекучести свариваемого материала. Расстояние между поверхностью сварного шва и соплом наконечника нужно поддерживать постоянным, равным 5–8 мм.

При угле наклона присадочного прутка больше 90° прутки, уложенный в шов, удлиняется (при охлаждении может лопнуть). Так сваривают полипропилен. При угле наклона меньше 90° прутки разогреваются быстрее основного материала и на участке большей длины. Расход прутка увеличивается из-за его осадки при укладке в шов. При этом в шве возникают внутренние напряжения из-за продольного сжатия, и прутки изгибаются с образованием на его поверхности волны. Прочность сцепления прутка с кромками уменьшается, и его можно легко отделить. Перед сваркой прутки нагревают, отгибают под прямым углом и охлаждают на воздухе.

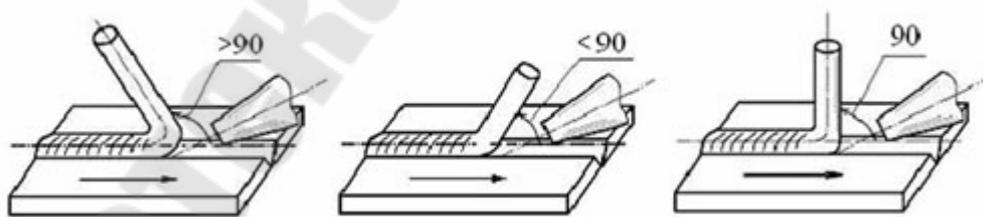


Рис. 21.3. Расположение присадочного прутка при сварке горячим газом

Сварка горячим воздухом также применяется для соединения пленочных заготовок из полиэтилена, поливинилхлорида и других термопластичных материалов. Для сварки требуется специальная фильера с широким щелевым отверстием, и ролик из резины для прижима сварочного шва. Перед сваркой отрезки пленки располага-

ются внахлестку на 3-5 см. Сварка производится следующим образом: одной рукой ведется сварочный аппарат, а другой, при помощи ролика, прижимается шов. Если температура сварки и сила давления ролика выбраны правильно, то на краю верхнего отрезка пленки образуется небольшое утолщение (ребро). Чтобы пленка при сварке не скатывалась, ее следует предварительно сметать в нескольких местах.

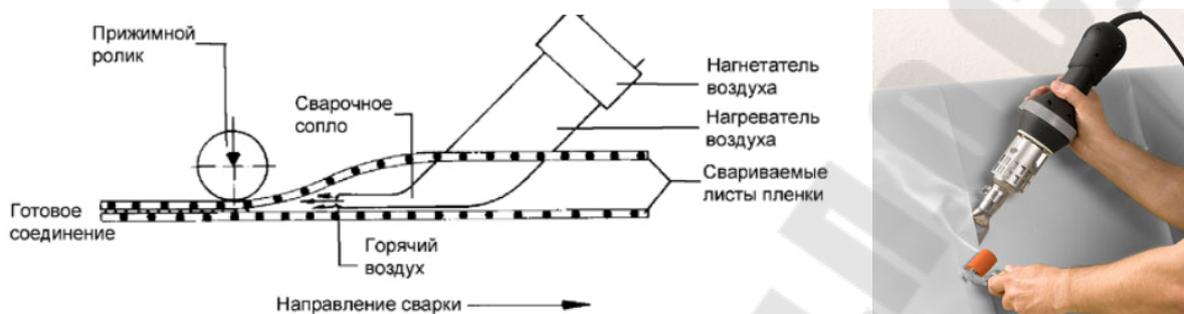


Рис. 21.4. Сварка полимерных пленок горячим воздухом

Самым простым способом подвода тепловой энергии является контакт свариваемых поверхностей пластмасс с **нагретым инструментом**. Благодаря простоте технологического процесса, дешевизне оборудования и оснастки, сварка нагретым инструментом, называемая также контактно-тепловой или термоконтанной сваркой, используется очень широко. Ее применяют для соединения труб, изготовления различных емкостей, деталей машин, конструкций и т.п. Наибольшее применение нашел способ прямого нагрева. Соединение при нем образуется в два этапа:

- разогрев (оплавление) соединяемых поверхностей плотно прижатым нагретым инструментом для сварки;
- контакт нагретых поверхностей свариваемых деталей с определенным усилием и выдержка под давлением до охлаждения деталей.

Разогрев должен обязательно приводить к оплавлению свариваемых торцов на определенную глубину. При этом расплавляются все неровности, и обеспечивается плотный контакт деталей, необходимый для перемешивания слоев материала и образования прочного соединения. Этот способ широко используется для монтажа трубопроводов (рис. 21.5), а также сварки пленочных упаковок (рис. 21.6).

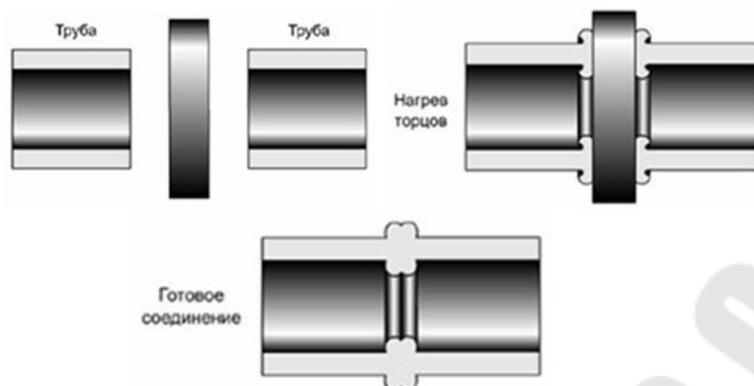


Рис. 21.5. Сварка полимерных трубопроводов контактным нагревом

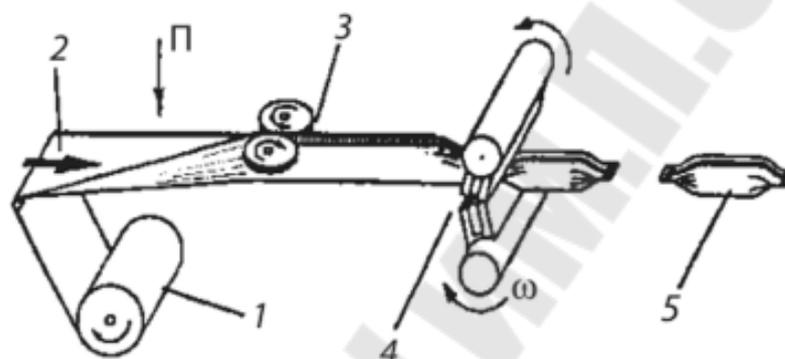


Рис. 21.6. Сварка пленочной упаковки контактным нагревом

К основным технологическим параметрам сварки пластмасс нагретым инструментом относятся:

- температура нагревателя;
- продолжительность нагрева;
- давление оплавления (усилие прижатия инструмента к детали);
- давление осадки (усилие сжатия свариваемых деталей);
- продолжительность выдержки давления после сварки.

Перед сваркой контактирующие поверхности деталей необходимо очистить от посторонних веществ и загрязнений, препятствующих соединению - пыли, масла и др. Для обезжиривания могут использоваться ацетон или спирт. При необходимости применяется торцовка (срез неровностей соединяемых кромок) с удалением образовавшейся стружки.

Ультразвуковая сварка является наиболее распространенным методом соединения серийных изделий из термопластичных материалов. Она отличается особым быстрым действием (от долей секунды до нескольких секунд) и выполняет сварные швы, как правило, без образования выпучиваний и других геометрических искажений. Этот про-

цесс, легко автоматизировать, что делает ее наиболее востребованной при крупносерийном производстве тары, упаковки, корпусных и других изделий.

Также применяется в микроэлектронике, изготовлении полупроводниковых устройств, приспособлений тонкой механической направленности, в оптике. Ультразвуковой метод сварки обеспечивает соединение материалов, которые практически не пропускают электричество и обладают низкой способностью к теплопроводности. Можно сваривать различные полимерные материалы с металлами и неметаллами, за счет возникновения хорошей адгезии полимера, находящегося в вязкотекучем состоянии.

Технологию ультразвуковой сварки можно представить с помощью образа падающего резинового шарика. Шарик никогда не возвращается к своей прежней высоте падения, потому что часть потенциальной энергии преобразуется в энергию деформации и теплоту. Вместо шарика, в зоне сварного шва небольшие участки деталигибаются силой колебания с частотой 15 000 - 70 000 циклов в сек (кГц). Это приводит к тому, что части оплавляются и обтекают вдоль линии соединения, создавая сварной шов.

В ультразвуковой сварке высокочастотная электрическая энергия преобразуется в вертикальное механическое движение с частотой 15 000 циклов в секунду и более. В ходе процесса сварки детали, которые подлежат соединению, скрепляются под давлением, а затем подвергаются высокочастотным колебаниям. В результате совместного воздействия поверхностного и межмолекулярного трения в контактирующих слоях заготовок вырабатывается теплота, порожденная трением.

Когда в зоне стыка между деталями выделяется достаточное количество теплоты, происходят размягчение и плавление соприкасающихся поверхностей. Приложение внешнего давления приводит к тому, что термически и механически колеблющиеся молекулы образуют связи.

Частым требуемым условием сварочного соединения является его ювелирная прочность и равномерность. Ультразвуковая сварка – метод сварки, способный устранить мельчайшие микронеровности и деформирование поверхностей, также зона сварки полностью очищается от всевозможных загрязнений.

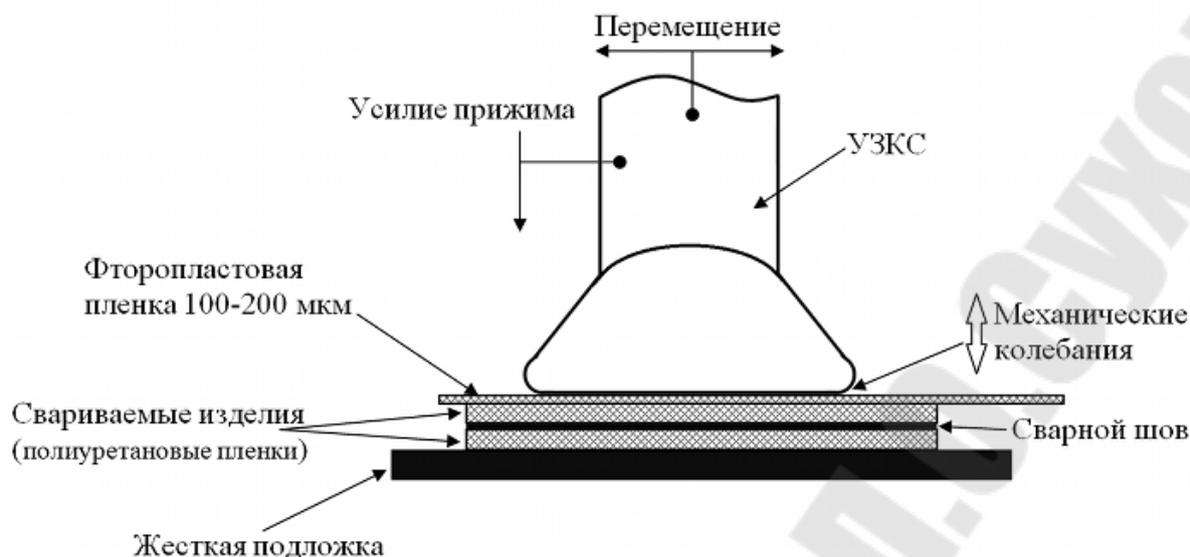


Рис. 21.7. Схема проведения ультразвуковой сварки полимерных пленок

Сварка большинства полимерных материалов не требует высоких амплитуд колебаний инструмента и практически не наносит вред обслуживающему персоналу и окружающей среде.

Таблица 21.1.

Рекомендуемые значения амплитуды в ультразвуковой сварке при 20 кГц
(в зависимости от материала амплитуды могут отличаться)

Материал	Амплитуда в мкм
Полистирол (ПС)	15-35
Ударопрочный полистирол	20-40
Акрилбутадиенстирол (АБС)	30-50
Стирол-акрилонитрил (САН)	30-50
Полиацетил (ПОМ)	40-60
Полиамид (ПА)	40-70
Полибутентерефталат (ПБТ)	50-90
Полиэтилен (ПЭ)	40-80
Полипропилен (ПП)	40-80

Сварка трением – разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным вращением (перемещением) одной из соединяемых частей (деталей, заготовок) свариваемого изделия (рис. 21.8). При сварке полимерных материалов, как правило, используется специальный инструмент, который не теряет

своей жесткости при нагреве до температур вязкотекучего состояния полимера (220-300 °С). Таким образом, в отличие от сварки трением металлических заготовок, полимерные заготовки не осуществляют взаимных перемещений под действием привода машины трения.

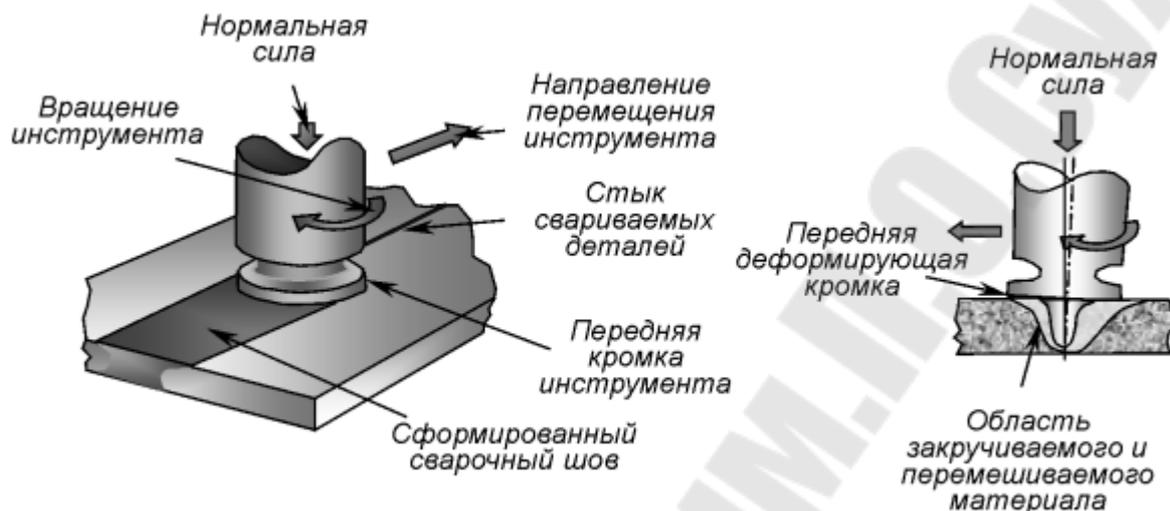


Рис. 21.8. Схема проведения сварки трением полимерных пластин

Лазерная сварка пластмасс особенно необходима там, где требуется осторожное обращение (например, при стыковке электронных компонентов) или в стерильных условиях. Кроме того при помощи лазерной сварки можно стыковать изделия со сложными линиями. Преимуществами такого метода являются отсутствие повреждений и деформации стыкуемых изделий, незаметный шов, возможность сварки сложных деталей, а также возможность соединения пластмасс разных видов (АБС, ПА, ПБТ, ПС, ПММА, стеклопластик и др.).

Достоинствами лазерной сварки являются: хорошее качество сварного шва и его незаметность, отсутствие механической нагрузки в процессе проведения сварки, высокая точность соединения и хорошая воспроизводимость свойств сварного шва. К недостаткам следует отнести ограниченность в используемых материалах, опасное влияние лазерного излучения на глаза оператора, необходимость постоянного слежения за процессом сварки, что затрудняет процесс автоматизации.

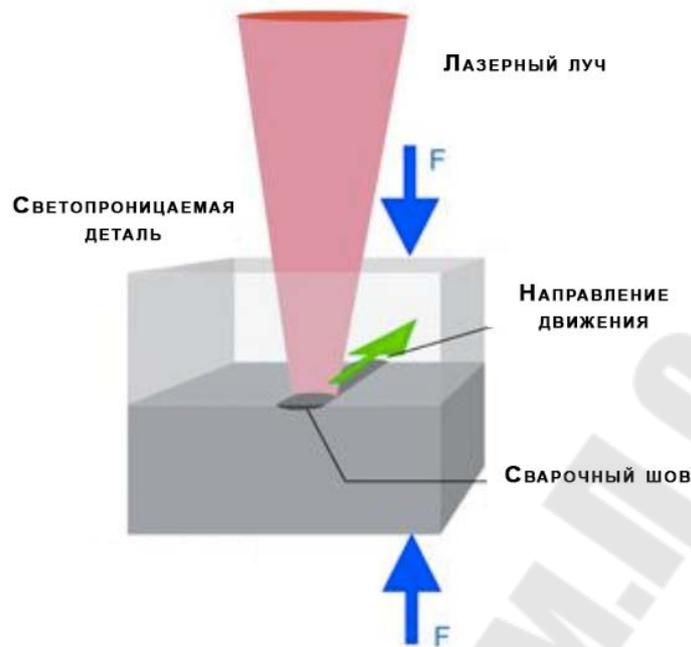


Рис. 21.9. Схема проведения сварки полимеров лазерным излучением

Инфракрасная сварка полимеров относится к бесконтактным методам. Соединяемые участки нагреваются посредством инфракрасных лучей. При ИК-сварке используется коротковолновое (0,78–2 мкм) и средневолновое (2–4 мкм) излучение для глубоких слоев и для поверхности соответственно.

Сварка используется для получения нахлесточных соединений тонких пленок, а также стыковых соединений листов, труб и профилей. Основные технологические параметры сварки: мощность излучения (температура нагревателя), время нагрева свариваемых поверхностей, усилие и скорость осадки после нагрева.

Прочность сварных соединений при сварке пленок ИК-излучением составляет 0,6–0,7 прочности свариваемой пленки. Стыки труб из полиэтилена, сваренные плоскими ИК-излучателями кольцевого и ленточного типа, при кратковременных испытаниях имеют прочность 0,9–1 прочности основного материала труб.

Сварка ИК-излучением имеет единственный недостаток: при нагреве оплаиваемые поверхности на протяжении всего цикла находятся в контакте с окружающей средой, что ведет к развитию окислительных и деструктивных процессов в расплавах термопластов. Для устранения этого недостатка используются системы для сварки в среде инертных газов.

При сварке по схеме, приведенной на рис. 21.10, *а*, используется жесткая выпуклая подложка, на которую натягиваются свариваемые материалы. Материалы прижимаются к подложке парой губок, которые одновременно служат для ограничения зоны нагрева. Давление в контакте пленок возникает при их растяжении за счет разогрева. При этом возникает утонение в зоне соединения, что является недостатком такой схемы.

Лучшее качество соединения обеспечивает схема, при которой в роли подложки используется эластичный материал (рис. 21.10, *б*). Эластичность позволяет создать натяжение пленок в зоне облучения (направление натяжения показано стрелкой) за счет сжатия подложки давлением, приложенным через ограничители зоны сварки. Подложка, кроме того, должна обладать некоторой адгезией к расплаву полимера. В противном случае образуются узкие жгутообразные швы с низкой морозостойкостью. Всем этим требованиям в наибольшей мере удовлетворяют подложки из черной микропористой резины, пенополиуретана и прорезиненных тканей.

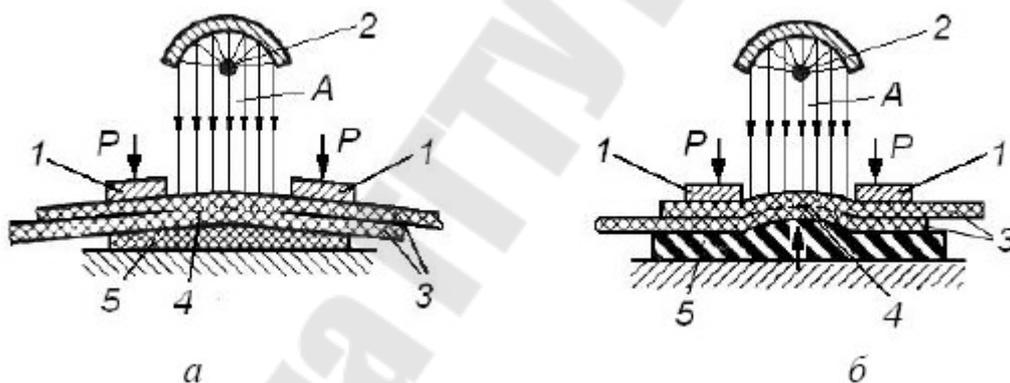


Рис. 21.10. Схема сварки инфракрасным излучением:

а – на жесткой подложке; *б* – на упругой подложке;

1 – губки, ограничивающие зону облучения; 2 – нагреватель;

3 – свариваемые пленки; 4 – сварной шов; 5 – подложка;

А – ИК-луч; Р – давление прижима

Соединение рантовыми швами производят путем оплавления кромок пленок, выпущенных на небольшое расстояние из зажимных губок (рис. 21.11).

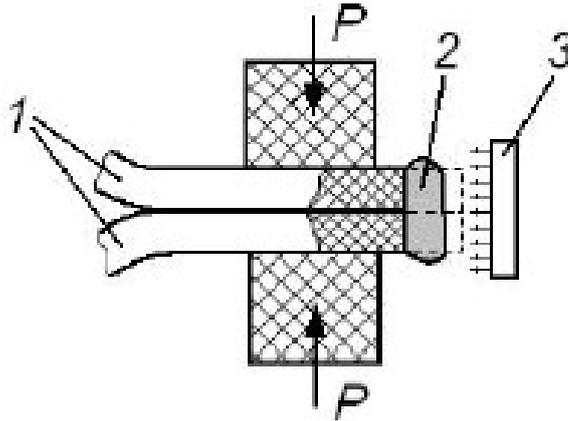


Рис. 21.11. Схема сварки инфракрасным с получением рантовых швов:
1 – свариваемые пленки; 2 – сварной шов; 3 – ИК-излучатель

Сварка **растворителями** представляет собой ряд последовательных операций: смачивание соединяемых поверхностей растворителем, ожидание пока полимер набухнет и станет липким, приведение деталей в контакт и выдержка под давлением до того момента, когда шов затвердеет. Сварка пластмасс с помощью растворителей обычно используется для соединения пластмассовых деталей из аморфных термопластов, так как частично кристаллические термопласты имеют хорошую стойкость к действию растворителей. Обе пластмассовые детали просто прижимают к губке или войлочной прокладке, предварительно пропитанной растворителем. Количество растворителя должно быть минимальным, чтобы исключить образование потеков и возможно трещин. После нанесения растворителя пластмассовые изделия должны быть немедленно приведены в контакт и выдержаны в таком состоянии короткое время для набухания без чрезмерной потери легколетучего растворителя. Затем детали сжимаются и под давлением находятся в течение требуемого времени, от нескольких секунд до нескольких минут в зависимости от конструкции соединения и выбранного растворителя. После, в течение нескольких часов соединение достигает прочности соединяемых материалов. Для ускорения испарения растворителя может быть использован нагрев деталей.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.

3. Краткая характеристика способов сварки полимеров.
4. Схема свариваемых деталей (привести эскизы сварки полимерных пленок, применяемые в практической части работы).
5. Выводы о влиянии технологии сварки полимеров на их прочность в сравнении с прочностью исходного материала.

Контрольные вопросы

1. Какой способ сварки полимеров не сопровождается местным разогревом свариваемых заготовок?
2. Какие газы используются при сварке полимерных материалов с помощью нагрева газовой струей?
3. В чем отличие сварки трения полимерных материалов от аналогичной сварки металлов?
4. В чем сущность сварки полимеров газовой струей?
5. В чем сущность сварки полимеров нагретым инструментом?
6. В чем сущность сварки полимеров ультразвуком?
7. В чем сущность сварки полимеров трением?
8. В чем сущность сварки полимеров лазерным излучением?
9. В чем сущность сварки полимеров инфракрасным излучением?
10. В чем сущность сварки полимеров с применением растворителей?

Литература

1. Кенько В.М. Неметаллические материалы и методы их обработки. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998, – 240 с.

Лабораторная работа № 22 ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомиться с видами пайки, изучить технологию пайки, научиться определять прочность паяных соединений.

Оборудование и материалы: электрический паяльник, низкотемпературный припой, металлические пластины или провода, штангенциркуль, разрывная машина.

Порядок выполнения работы

Выполнить пайку стальных или медных (латунных) проволок низкотемпературным припоем. Для этого:

1. Зачистить поверхность проволок в месте пайки и обезжирить.
2. Подготовить флюс и припой.
3. Нанести флюс на место соединения проволок.
4. Совместить проволоки так, как они должны быть спаяны.
5. Нагреть паяемый участок паяльником до температуры плавления припоя и нанести припой на соединение.
6. Остудить соединение.
7. Осмотреть соединенные провода и убедиться в том, что пайка состоялась.
8. С помощью штангенциркуля определить размеры диаметр паяного соединения и сравнить его с исходным диаметром проволоки.
9. Провести испытание проволок, а также паяного соединения на проволоках на разрыв стандартным способом на разрывной машине.
10. Сравнить прочность проволок с прочностью припоя.
11. Записать полученные результаты в качестве вывода.

Общие сведения

Пайкой называется технологический процесс соединения деталей в твердом состоянии посредством расплавленного присадочного материала – **припоя**. По прочности паяные соединения уступают сварным. Пайка может выполняться вручную и на специальных автоматических или механизированных установках.

Пайка металлов условно подразделяется на *высокотемпературную* и *низкотемпературную* пайку (ГОСТ 117325-71). Высокотемпературной считается пайка с температурой плавления припоев выше

550 °С (ниже 550 °С – низкотемпературная пайка). В качестве припоев используются составы, в которые входят:

низкотемпературные припои – олово, свинец, сурьма;

высокотемпературные – цинк, медь, серебро.

Припои для пайки производятся в виде прутков, полос, проволоки, порошков и паст. К ним предъявляются следующие требования:

Для получения высококачественного паяного соединения припой должен удовлетворять следующим условиям:

- иметь температуру плавления ниже температуры плавления основного металла;

- хорошо растекаться, проникая в щели зазора, а также хорошо смачивать основной металл;

- должен обладать одинаковой или более высокой коррозионной стойкостью, чем основной металл;

- припой и основной металл должны взаимно диффундировать и образовывать сплав;

- припой не должен содержать дорогостоящих и дефицитных компонентов.

Для расплавления припоев используются газовые горелки, электрическая дуга, муфельные и др. печи, индукционный нагрев и т. д. Для низкотемпературной пайки используют паяльники.

Пайке поддаются низкоуглеродистые и легированные стали, чугуны, медь, алюминий, никель, их сплавы, а также многие другие металлы.

Прочность сцепления припоя с соединяемыми поверхностями зависит от физико-химических и диффузионных процессов, протекающих между припоем и основным металлом.

По условию заполнения зазора пайку можно разделить на **капиллярную**, при которой припой при нагреве заполняет малый зазор между паяемыми деталями под действием капиллярных сил, и **некапиллярную**.

При *капиллярной* пайке припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил – рисунок 1. Соединение образуется за счет растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют при соединении внахлестку.

К некапиллярным способам относятся:

- **контактно-реактивная** пайка;
- **реактивно-флюсовая**;

- **диффузионная.**
- **пайка-сварка**
- **сварка-пайка.**

При *капиллярной* пайке припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил – рисунок 1. Соединение образуется за счет растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют при соединении внахлестку.

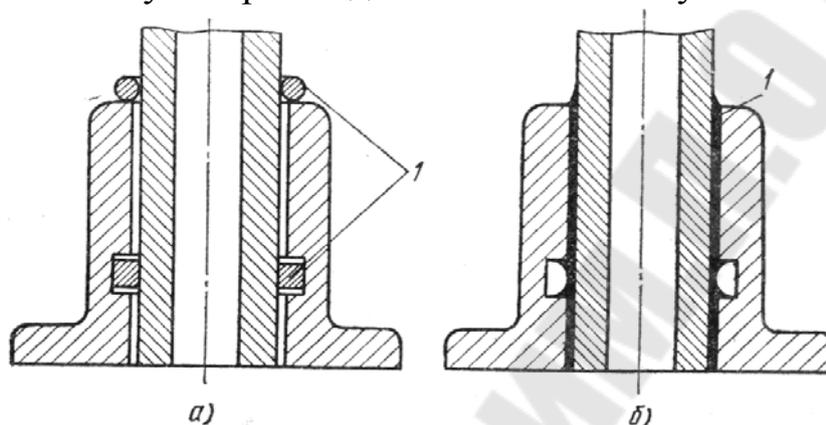


Рис.22.1. Схема капиллярной пайки:
а – перед пайкой; б– после пайки; 1 - припой

При *диффузионной* пайке соединение образуется за счет взаимной диффузии паяемых разнородных материалов, или одного и того же материала с компонентами припоя. В зоне паяного соединения возможно образование эвтектики или твердого раствора. В некоторых случаях, например при взаимодействии меди с титаном в присутствии никеля в паяном шве выделяются тугоплавкие хрупкие интерметаллидные соединения (Ti_3Cu). Для диффузионной пайки необходима продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва, и после завершения процесса — при температуре ниже температуры полного затвердевания припоя. Примером диффузионной пайки является формирование прочного электропроводящего соединения между золотом и кремнием, которое широко используется при производстве различных элементов электроники.

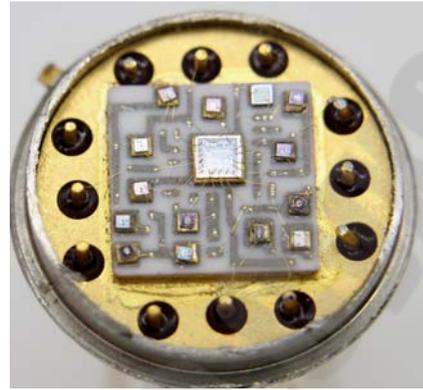
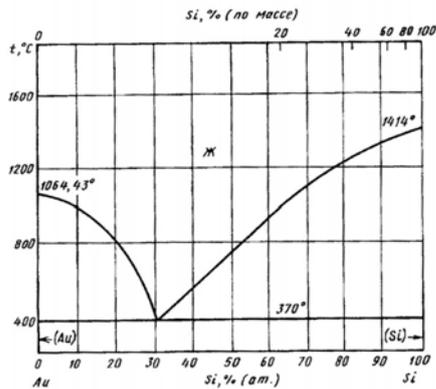


Рис. 22.2. Диаграмма состояния золото – кремний и пример компоновки микрочипа

При *контактно-реактивной* пайке между соединяемыми металлами или соединяемыми металлами и прослойкой промежуточного металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение (рисунок 2).

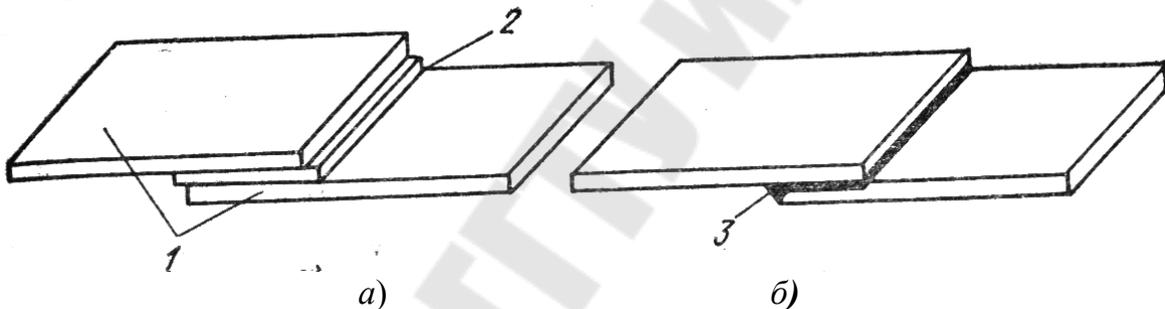


Рис.22.3 – Схема контактно-реактивной пайки:
а – перед пайкой; б - после пайки; 1 – медь; 2 – серебро;
3 – эвтектический сплав меди с серебром

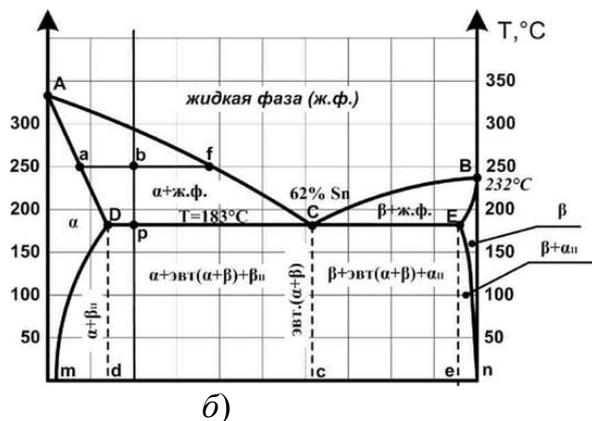
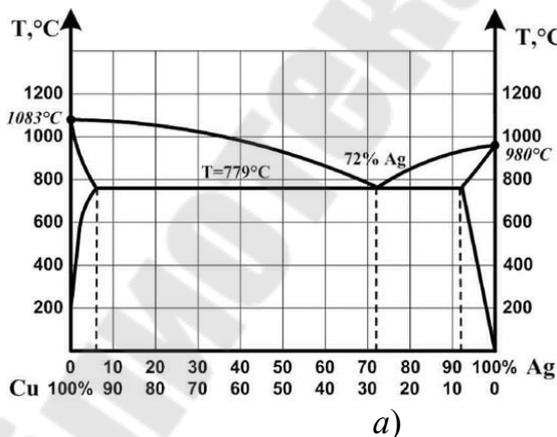


Рис. 22.4. Диаграммы состояния систем медь – серебро (а) и свинец – олово (б)

При *реактивно-флюсовой* пайке припой образуется за счет реакции вытеснения между основным металлом и флюсом. Например, при пайке алюминия с флюсом, содержащим хлорид цинка, последний при высокой температуре разлагается, и восстановленный цинк служит припоем. Реактивно-флюсовую пайку можно вести без припоя и с припоем.

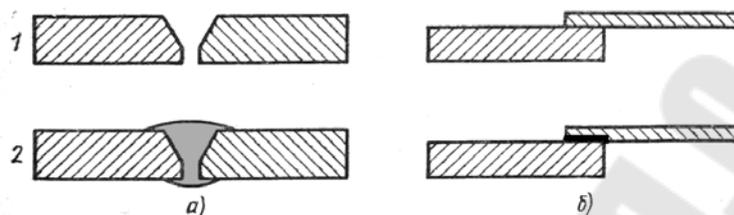


Рис.22.5. Схема пайки-сварки (а) и сварки-пайки (б)

При *пайке-сварке* соединение образуется так же, как при сварке плавлением, с разделыванием кромок, но в качестве присадочного металла применяют припой, как показано на рис. 22.5, а.

При *сварке-пайке* соединяют разнородные материалы с применением местного нагрева, при котором более легкоплавкий материал нагревается до температуры плавления и выполняет функцию припоя. Это видно по рис. 22.5, б.

Наибольшее применение получили капиллярная пайка и пайка-сварка. Диффузионная и контактно-реактивная пайки более трудоемки, но обеспечивают высокое качество соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, величины зазоров, типа соединения.

Флюсы служат для растворения и удаления окислов и загрязнений с поверхности металла, защиты его от окисления, улучшения смачиваемости и растекания припоя. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры припоя.

Основные типы паяных соединений показаны на рис. 22.6.

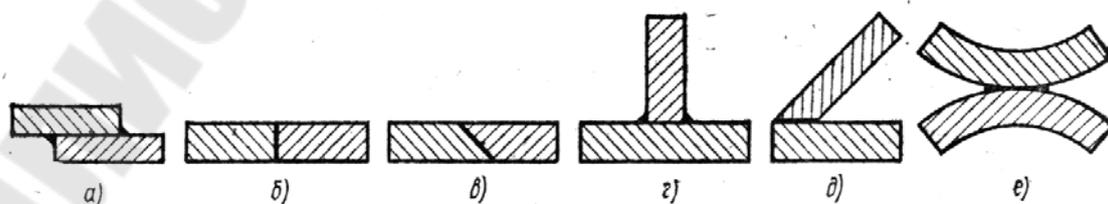


Рис.22.6. Типы паяных соединений:

а – внахлестку; б – встык; в – вкос; г – втавр; д – в угол; е – соприкасающийся

Способы пайки

Пайка высокотемпературными припоями. К этим припоям относятся медные, медноцинковые, медноникелевые и серебряные.

Пайку низкотемпературными припоями используют почти для всех металлов. Эти припои состоят в основном из олова.

Применяют также *легкоплавкие припои*, содержащие висмут, кадмий и безоловянистые на основе свинца, сурьмы, температура °плавления которых ниже 140 С. В табл. 22.1 приведены характеристики некоторых распространенных припоев.

В качестве флюсов применяют слабодействующие кислоты, органические и неорганические вещества, например, канифоль, стеарин, соляную кислоту, хлористый цинк, нашатырь, фосфорную кислоту. Используют также раствор хлористого цинка с добавкой хлористого аммония. Приготавливают специальную паяльную кислоту или паяльную жидкость (раствор хлористого цинка в технической соляной кислоте). По окончании пайки флюсы удаляют с поверхности металла.

Таблица 22.1

Припои и их характеристики

Припой	Химич. состав, %	Тем-ра плавлен., °С	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	Примерное назначение
ПОС 90	Sn-90 Pb-10	183-220	49	Лужение пайка пищевой посуды
ПОС 61	Sn-61 Pb-39	183-190	43	Лужение и пайка электро- и радио-аппаратуры
ПОС 40	Sn-40 Pb-60	183-299	38	Лужение и пайка оцинкованных деталей
ПОССу 40-0,5	Sn-40 Sb-0,5 Pb-ост	183-235	40	Лужение и пайка белой жести
ПОССу 95-5	Sn-95 Su-4,5 Pb-ост	234-240	40	Пайка трубопроводов, работающих при повышенных температурах
ПСр 72	Ag-72 Cu - ост	779	48..75	Пайка черных и цветных металлов
ЛМНЦ 68-4-2	Cu-68 Mn-4 Ni-2 Zn-ост	910-930	39	Пайка металлорежущего инструмента

По способу нагрева различают следующие способы пайки.

Пайку газовым пламенем осуществляют нагревом кромок изделия до плавления припоя и флюса и применяют в основном для соединения деталей высокотемпературными припоями. Перед пайкой на место пайки наносят флюс в виде жидкой пасты, разведенный водой или спиртом. Конец прутка также покрывают флюсом.

Пайка в печах. Пайку проводят в специальных печах с электрическим обогревом. Существуют три способа пайки в печах:

- с применением твердых флюсов;
- в вакууме;
- в газовой среде.

В первом случае собранное изделие с припоем, заложенным заранее в шов и нанесенным на место пайки флюсом, помещают в печь. Здесь изделие нагревается до температуры пайки. Во втором случае собранное изделие нагревается в вакуумной камере, благодаря чему металл не окисляется. В третьем случае используют активные или инертные газы: водород, диссоциированный аммиак и др.

Пайка погружением. Проводят в ваннах с расплавленными солями. На поверхность, подлежащую пайке, предварительно очищенную от грязи и жира, наносят флюс, между кромками или около места соединения размещается припой, затем деталь скрепляют и погружают в ванну. Соляная ванна предохраняет место пайки от окисления. Этот способ пайки используют для изготовления деталей из стали, твердых сплавов, меди, медных и алюминиевых сплавов.

Пайка погружением в металлические ванны. Детали, нагретые до 550°C , погружают в ванну с расплавленным припоем, покрытым флюсом. Неспаиваемые поверхности предохраняют от контакта с припоем специальной обмазкой из графита с добавками небольшого количества извести.

Пайка бегущей волной припоя является разновидностью пайки погружением в металлические ванны. При этом способе расплавленный припой подается насосом и образует волну над уровнем расплава. Паяемая деталь перемещается в горизонтальном направлении и в момент касания волны происходит пайка.

Пайку бегущей волной применяют главным образом в радиоэлектронной промышленности при производстве печатных схем.

Пайка с индукционным нагревом. Нагреваемый участок паяемого изделия помещают внутрь катушки-индуктора. Через индуктор пропускают ток высокой частоты. В результате место пайки нагрева-

ется до температуры пайки. Предохранение изделия от окисления достигается за счет помещения изделия в процессе нагрева в вакуум или в защитную среду.

Электрическая контактная пайка. Для нагрева места пайки используют обычные контактные сварочные машины. Подготовленный к пайке узел зажимают между электродами машины, затем включают ток и проводят пайку. После нагрева изделие некоторое время выдерживают под давлением до остывания припоя. Пайку применяют для соединения мелких деталей в массовом производстве.

Пайка нагретым инструментом. Применяют для пайки низкотемпературными припоями. Паяльником нагревают детали в месте пайки и расплавляют припой и флюс.

Пайка с нагревом кварцевыми лампами. Детали, подлежащие пайке, помещают в специальный контейнер, в котором создают вакуум, затем его заполняют аргоном. Контейнер обогревают кварцевыми лампами. После окончания обогрева кварцевые лампы отводят и вынимают запаянные детали.

Экзофлюсовая пайка. Применяют для пайки нержавеющей стали. На очищенное место соединения наносят тонкий порошкообразный слой флюса. Соединяемые поверхности совмещают, на противоположные стороны заготовок укладывают экзотермическую смесь. Смесь состоит из разных компонентов, которые укладывают в форме пасты или брикетов толщиной в несколько миллиметров. Собранную конструкцию устанавливают в приспособление и вносят в специальную печь, где осуществляют зажигание экзотермической смеси при 500°C . В результате экзотермических реакций смеси температура на поверхности металла повышается, и происходит расплавление припоя.

Пайка с наложением упругих колебаний. Для пайки используют упругие колебания — низкочастотные и ультразвуковые. Для создания низкочастотных колебаний применяют электромагнитные вибраторы, которые жестко соединяют с приспособлениями. В приспособлениях зажаты детали, подлежащие пайке. Частота колебаний около 100 Гц. При использовании высокочастотных ультразвуковых колебаний разрушается поверхностная окисная пленка. Это особенно важно при пайке алюминиевых и магниевых сплавов.

Содержание отчета

Отчет должен содержать необходимые теоретические сведения по пайке, эскиз паяных проволок и схему испытания их на разрыв, результаты испытания прочности паяного шва на разрыв, вывод по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется пайкой?
2. Какие припои называются высокотемпературными? Какие низкотемпературными?
3. В чем отличие капиллярной пайки от некапиллярной?
4. За счет чего образуется соединение при диффузионной сварке?
5. Чем отличается контактно-реактивная пайка от реактивно-флюсовой?
6. В чем отличие пайки-сварки от сварки?
7. Что является припоем при сварке-пайке?
8. Для чего нужен флюс?
9. Какие способы пайки используются в массовом производстве?

Литература

1. Технология конструкционных материалов. Пайка и сварка металлов : метод. указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальностей 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / сост. С. И. Карпович. – Минск: БГТУ, 2009. – 120 с. ISBN 978-985-434-923-7.

Лабораторная работа № 23

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СЛОИСТЫМИ И ТКАНЕВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Цель работы: ознакомиться с процессами получения композиционных материалов на основе термореактивных связующих с применением в качестве армирующих наполнителей тканых и волокнистых элементов

Оборудование и материалы: два лабораторных стекла, силиконовая смазка, эпоксидная смола, стеклоткань, стекловолокно, разрывная машина, ножницы, кисть, шпатель, перчатки одноразовые.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с технологическими особенностями контактного изготовления изделий из композиционных материалов с полимерным связующим.

2. Подготовить волокнистый и тканевый наполнитель на основе стекловолокна и стеклоткани.

3. Подготовить поверхности лабораторных стекол – смазать их силиконовой смазкой и тщательно заполировать.

4. Подготовить компоненты термореактивного полимера - эпоксидной смолы и осуществить смешивание смолы с отвердителем в пропорции 10:1.

5. С помощью кисти нанести тонкий слой связующего материала (жидкой эпоксидной смолы) на поверхность нижнего стекла и выровнять шпателем толщину слоя.

6. Выложить на слой стеклоткани на поверхность, покрытую эпоксидной смолой и тщательно прижать ткань, добиваясь ее полной пропитки связующим материалом. При необходимости добавить на поверхность ткани небольшое количество жидкой эпоксидной смолы.

7. Накрыть тканевую заготовку вторым листом стекла. Совершая небольшие вращательные и возвратно-поступательные движения, добиться полного контакта между верхним листом стекла и тканевой заготовкой пропитанной связующим.

8. Расположить на верхнем листе стекла прижимающий груз и оставить заготовку для отверждения на 24 часа.

9. Повторить пункты 5 – 8 используя в качестве наполнителя переплетенное.

10. После отверждения полимерного связующего раздвинуть стеклянные листы и извлечь образованные заготовки композиционного материала.

11. С помощью ножниц вырезать из композиционного материала прямоугольную заготовку с размерами 10×100 мм не обращая внимание на ориентацию волокон наполнителя.

12. Из композиционного материала с волокнистым наполнителем вырезать две заготовки с размерами 10×100 мм таким образом, чтобы в одной из них волокна располагались в поперечном направлении в другой в продольном.

13. Испытать полученные заготовки на разрывной машине и сделать выводы о влиянии структуры и ориентации наполнителя на прочность композиционного материала.

Общие сведения

Наиболее простым по аппаратурно-технологическому оформлению способом получения полимерных композиционных материалов продолжает оставаться **контактное формование**, которое применяется для изготовления крупногабаритных малонагруженных деталей сложной конфигурации: коробчатых кожухов механизмов, баков, корпусов и других элементов лодок, катеров и пр. Контактное формование изделий в открытых формах осуществляют в основном двумя методами – ручной укладкой и напылением. Технология ручной укладки включает следующие основные операции:

- нанесение разделительных покрытий на формы;
- раскрой тканых или нетканых армирующих материалов;
- приготовление связующего;
- укладка армирующего материала на форму;
- нанесение на армирующий материал связующего и пропитка им арматуры;
- отверждение связующего при комнатной температуре или при нагревании до 70-95 °С;
- извлечение изделия из формы и его механическая обработка согласно требованиям чертежа;
- контроль качества изделия.

Метод **формования напылением** отличается от описанного тем, что волокнистая арматура (стекловолокно, базальтовое волокно,

углеволокно) в виде бесконечного ровинга рубится на короткие отрезки – штапельки – и доставляется в форму одновременно со смесью соответствующей смолы и катализатора. Варьирование соотношения смолы и наполнителя, вида армирующего материала и системы его укладки, типа смолы и ее наполнителей позволяет в широких пределах изменять свойства получаемых композиционных пластиков, поскольку структура и свойства композита, да и само изделие формообразуется в процессе его получения.

При конструировании деталей необходимо располагать данными о напряжениях, которые они будут испытывать в процессе хранения и эксплуатации, что позволяет определить необходимые прочностные характеристики применяемого материала.

Технологические особенности полимерных композитов учитывают при конструировании. Реальная минимальная толщина изделий: при формовании ручной укладкой слоев – 0,8 мм, при напылении – 1,5 мм. При наличии прямых внутренних углов армирующий компонент стекловолоконистого композиционного материала (СВКМ) не будет прилегать к поверхности формы, прямые наружные углы армиатура не сможет охватить плотно (рис. 23.1).

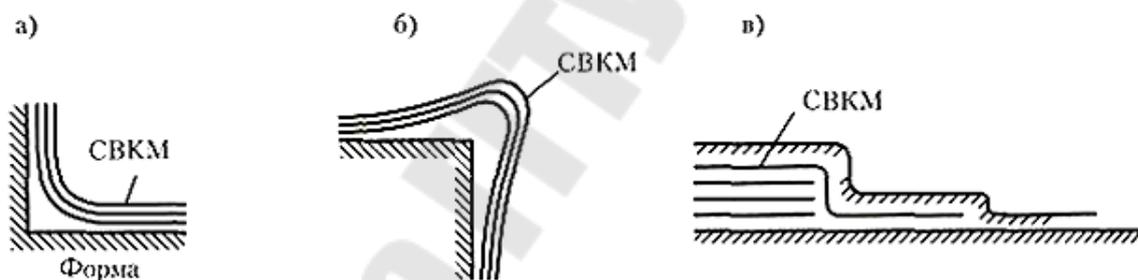


Рис. 23.1. Конструктивное оформление изделий из композиционных пластиков:

а, б – внутренние и наружные углы; *в* – изменение толщины

Минимальный радиус закругления внутренних углов 4,8–6,4 мм. При изменении толщины изделия следует прибавить или убавить число слоев материала. В целях ликвидации высоконапряженных зон необходимо избегать резких переходов толщины, изменять ее постепенно, укладывая слои ступенчато или подобно кровельной черепице. Реальная максимальная толщина, в принципе, не ограничивается, но с учетом отверждения обычно не превышает – 6 мм. В качестве основных элементов технологической оснастки при контактном формовании используют формы, модели и вставки (стержни). Их назначение аналогично традиционной оснастке, используемой в литейном произ-

водстве, но имеет ряд особенностей, зависящих от применяемых материалов. Модели и вставки изготавливают из дерева, гипса, комбинаций гипса с металлами и другими материалами. Для получения форм часто используют стеклонеполненные пластики. Рекомендуется следующая последовательность операций:

- по указанным на чертеже размерам изготавливают модель из дерева, гипса, фанеры или другого материала; шероховатость ее поверхности должна быть такой же, как и готового изделия;

- по модели методом выкладки или полива получают оболочку – форму, поверхность которой в точности воспроизводит поверхность модели; сформированная после отверждения форма из стекловолоконного композита может быть упрочнена жестким материалом (металлом или деревом), чтобы не повредить ее при эксплуатации;

- форму отделяют от модели (при этом модель часто разрушают), осматривают ее поверхность и полируют для улучшения внешнего вида и облегчения извлечения формующих изделий;

- на отполированную форму наносят несколько слоев пастообразного парафина (три или четыре). Каждый слой должен быть хорошо отполирован чистой салфеткой. После нанесения каждого слоя форма выдерживается до затвердевания парафина. На стадии обкатки формы для облегчения съема готовых изделий периодически (после формования 1-4 дета лей) на ее поверхность дополнительно напыляют поливиниловый спирт.

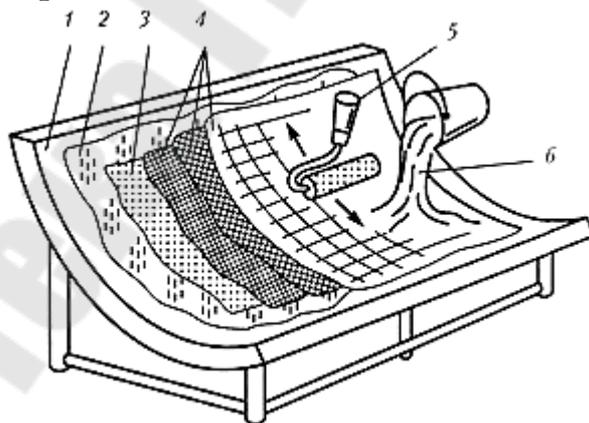


Рис.23.2. Элементы конструкции формы и изделия при формовании ручной укладкой:

- 1 – форма; 2 – разделительная пленка; 3 – наружный смоляной слой;
- 4 – стекловолокно; 5 – ручной валик; 6 – смола в смеси с катализатором

Непосредственно перед формованием изделий на поверхность формы кистью либо распылением наносят наружный смоляной слой (гелькоат). Для этого используют полиэфирную смолу, содержащую наполнители и пигменты, но без армирующих добавок. Эта композиция в процессе формования переходит на формируемое изделие, образуя наружный слой. Обычно цвет гелькоата отличен от цвета композита, что обеспечивает визуальную оценку полноты и равномерности нанесения покрытия. Таким образом, «окрашивание» детали производится раньше, чем она будет изготовлена. Декоративная глянцевая поверхность практически не требует последующей отделки.

Следующей операцией является подготовка материала. Все типы армирующих материалов – маты из рубленой стеклопряди, ткани и тканый ровинг – поступают в виде больших рулонов различной ширины. Лист нужной длины вырубается из рулона и обрезается по шаблону. Затем тщательно смешивают заранее отмеренные количества смолы и отвердителя. Композицию можно наносить на волокно как вне формы, так и внутри нее. Возможно использование распылителя, который автоматически дозирует и смешивает компоненты. Для уплотнения материала и удаления пузырьков воздуха применяют щетки, резиновые и зубчатые валики. Необходимое число слоев мата и (или) тканого ровинга набирается до достижения расчетной суммарной толщины. Слои мата и тканого ровинга следует чередовать для обеспечения хорошей межслойной прочности сцепления, предотвращения появления воздушных включений. При использовании только матов содержание волокна должно быть 25–35 %. В стеклопластиках, полученных с применением матов и тканого ровинга, содержание стекловолокна находится в пределах 35–45 %, а при использовании только ткани – около 50 %. Продолжительность отверждения смол и композитов зависит от температуры; при комнатной температуре – от 10–20 мин до 14 суток, при 65 °С – 5–30 мин, при 82 °С – 1,5–5 мин.

При контактной формовке напылением измельченное волокно и смола одновременно вводятся в открытую форму. Ровинг волокна проходит через рубильное устройство и вдувается в поток смолы, который направляется в форму распылительной системой.

Обычно размер штапелек, на которые рубится ровинг, составляет 12–50 мм. Возможная схема напыления приведена на рис. 22.3.

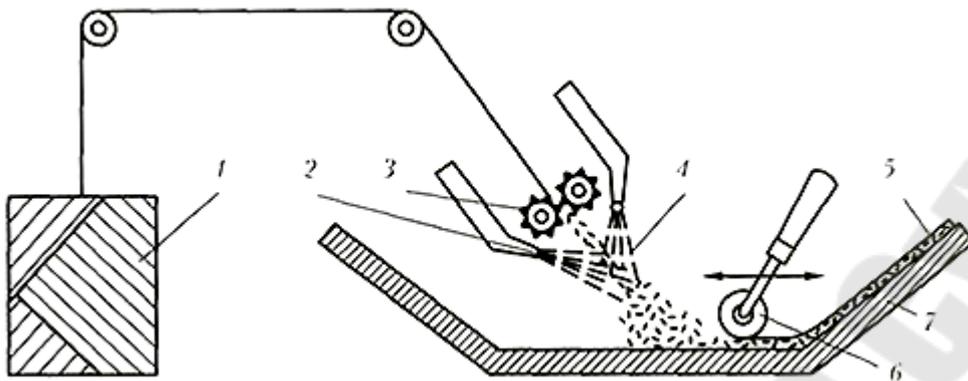


Рис. 23.3. Воздушная система напыления с двумя емкостями:
 1 – ровинг; 2 – смола с катализатором; 3 – рубильное устройство;
 4 – смола с ускорителем отверждения; 5 – уплотненный слой;
 6 – валик; 7 – форма

Одна распылительная головка впрыскивает смолу, предварительно смешанную с отвердителем, или только отвердитель, в то время как вторая головка подает смесь смолы с ускорителем отверждения. После введения в форму смолы с волокнистой арматурой образовавшийся слой прикатывают вручную для удаления воздуха, уплотнения и получения гладкой поверхности. Технология отверждения аналогична применяемой при формовании ручной укладкой. Пример современного оформления оборудования для напыления представлен на рис. 23.4.



Рис. 23.4. Передвижная установка для напыления:
 1 – рама подвижная; 2 – измельчитель волокна; 3 – резервуар для хранения олигомера; 4 – резервуар для хранения отвердителя;
 5 – компрессор; 6 – пульт управления; 7 – шланг подачи олигомера;
 8 – шланг подачи отвердителя; 9 – шланг подачи рубленого наполнителя;
 10 – наконечник с соплом

При массовом производстве методами формования ручной укладкой и напылением таких изделий, как корпуса лодок и катеров, раковины, ванны и пр., применяют роботы (рис. 23.5). Преимущество автоматизированного устройства заключается в возможности строгого выполнения технологических требований и сведении функций оператора только к контролю за процессом, замене форм и обеспечению сырьем.

После отверждения композита производят обрезку и зачистку кромок. При правильном подборе отвердителя в конце стадии отверждения присутствует короткий отрезок времени, когда слоистый пластик становится твердым, нелипким, кожеподобным. Именно в этот временной интервал можно ножевым устройством обрезать кромки по шаблону.

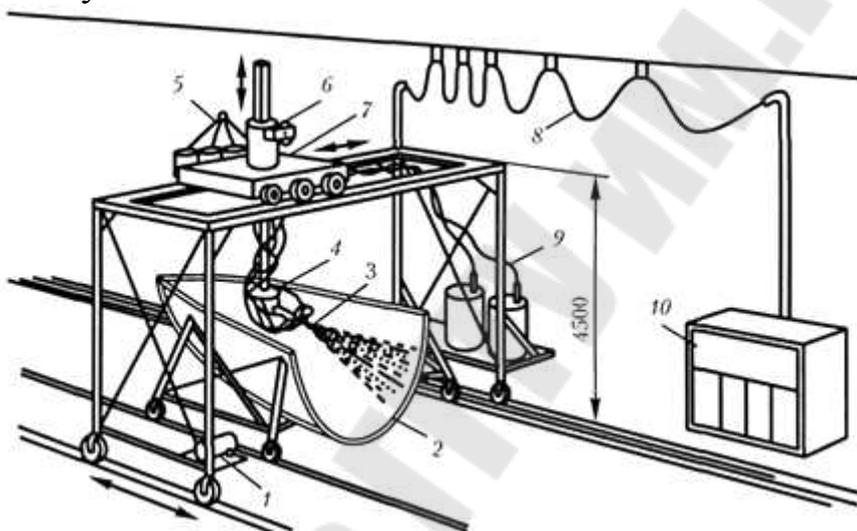


Рис. 23.5. Трехкоординатный роботизированный автомат для напыления:
 1 – привод продольного перемещения; 2 – форма; 3 – распылительное сопло;
 4 – поворотная головка; 5 – подача стекловолокна; 6 – привод
 вертикального перемещения; 7 – привод поперечного перемещения;
 8 – кабель; 9 – подача смолы; 10 – блок управления
 с программоносителем

Преимуществами способов формования полимерных композиционных материалов ручной укладкой и напылением являются: универсальность, возможность получения изделий сложной формы и большого размера, низкая стоимость оснастки, возможность создавать слоистые конструкции, в том числе с закладными деталями, пригодность для опытного производства. Вместе с тем для них характерны большие затраты ручного труда, низкая производительность, зависимость качества изделий от квалификации формовщика, трудность

обеспечения однородности материала и стабильности его физико-механических свойств. Контактной формовкой производят широкую номенклатуру изделий: кузова, крылья, крыши автомобилей, прицепы; ванны, желоба, мойки, бочки, цистерны, баки, бункеры, элементы несущих строительных конструкций в виде стеновых панелей, дверей, оконных блоков и многое другое.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Краткая характеристика способов изготовления полимерных композиционных материалов изделий из них.
4. Эскиз полученных композиционных материалов на основе тканого и волокнистого материалов.
5. Выводы о влиянии вида наполнителя и структуры материала на его прочность.

Контрольные вопросы

1. Какова сущность получения изделий из композиционных материалов ручной укладкой.
2. Какова сущность получения изделий из композиционных материалов напылением.
3. Для чего используют модель при изготовлении изделий из композиционных материалов контактной формовкой

Литература

1. Карпович, О. И. Формообразование изделий из композиционных материалов. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-36 01 08 «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов» / О. И. Карпович. – Минск : БГТУ, 2014. – 122 с.
2. Кенько В.М. Неметаллические материалы и методы их обработки. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998, – 240 с.

Лабораторная работа № 24

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы: Ознакомиться с технологией изготовления резиновых изделий.

Оборудование и материалы: Пресс-форма для изготовления листовых резиновых изделий, заготовки из сырой резины, лабораторная печь или сушильный шкаф с максимальной температурой нагрева рабочей камеры не ниже 200°C, ножницы, разрывная машина.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с технологическими особенностями изготовления резиновых изделий.
2. Подготовить металлическую сетку и 4-ре заготовки из сырой резины размерами 10×100 мм.
3. Сложить две заготовки указанного размера и разместить между пластинами пресс-формы, закрепить половины пресс-формы между собой болтами и сжать резиновые заготовки усилием затягивания болтов.
4. Разместить еще две заготовки из сырой резины между следующими пластинами, предварительно положив между слоями резины металлическую сетку. Закрепить половины пресс-формы между собой болтами и сжать резиновые заготовки.
5. Поместить обе собранные пресс-формы в печь (сушильный шкаф) с температурой 140 °С на 1,5 часа.
6. По истечении указанного времени извлечь пресс-формы, остудить и разобрать их.
7. Полученные (вулканизированные) плоские заготовки испытать на прочность методом разрыва на испытательной машине. Сделать вывод о влиянии металлического наполнителя на прочность резинометаллических изделий.

Общие сведения

Резина является продуктом вулканизации смеси, содержащей каучук, наполнители, пластификаторы, активаторы вулканизации, антиоксиданты и другие ингредиенты. Важнейшим свойством резины является ее высокая упругость, т.е. способность к большим обратимым деформациям. К другим ценным специальным свойствам резины, зависящим, главным образом, от типа каучука, относятся тепло-,

масло-, бензо-, морозостойкость, стойкость к действию агрессивных сред и радиации, газонепроницаемость, диэлектрические свойства и др. Механические свойства резины зависят от типа и особенностей строения применяемого каучука, типа и дозировки наполнителя и пластификатора, характера вулканизирующей группы и других факторов.

Каучук является основой резины. Различают синтетический и натуральный каучук. Натуральный каучук получают из млечного сока каучуконосных растений. Синтетический каучук – вещество, по свойствам близкое к натуральному, получают путем синтеза простых органических веществ, так называемых каучукогенов (бутадиен, стирол, хлоропрен, бутилен и др.), и полимеризацией их в каучукоподобный продукт. Сырьем для получения каучукогенов служат нефтепродукты, природный газ, древесина и др.

Резина подразделяется на две группы: общего назначения, применяемая для изготовления автомобильных шин, конвейерных лент, приводных ремней, рукавов, изделий бытового назначения и т. д., и специального назначения, применяемая для изготовления изделий, которые должны обладать одним или несколькими из упомянутых выше специальных свойств.

Процесс производства изделий из резины включает следующие операции: пластификацию каучука, приготовление резиновых смесей, их переработку в полуфабрикат и изделия, вулканизацию. Основные виды переработки резиновой смеси: каландрование (формование резиновой смеси на многовальцовых машинах-каландрах), шприцевание (непрерывное выдавливание), формование (прессование, литье под давлением) и прорезинивание тканей. Вулканизация является завершающей операцией при изготовлении резиновых изделий. Она может быть горячей (процесс проходит при 120...200°C) и холодной (изделие погружают на короткое время в раствор хлористой серы в сероуглероде или четыреххлористом углероде). При холодной вулканизации в состав резиновой смеси сера не входит. Холодный способ вулканизации применяют для тонкостенных изделий.

Вулканизация – сложный физико-химический процесс, в результате которого макромолекулы каучука образуют определенную пространственную структуру. В результате вулканизации повышаются прочность, твердость, эластичность, тепло- и морозостойкость каучука, снижается степень его набухания в органических растворителях.

Основное вулканизирующее вещество – сера. Изменяя ее количество в составе резиновых смесей, можно получить резину, обладающую различными степенями эластичности. При добавке 2...8 % серы получают мягкую резину, при 12...20 % – полутвердую и при 25... 50 % – твердую резину (эбонит).

Для нужд современной техники применяют мягкие, жесткие (эбонит), пористые и пастообразные (для герметизации и уплотнения) резины.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Краткая характеристика способов изготовления изделий из резины.
4. Выводы о влиянии армирующего наполнителя на прочность резинометаллических изделий.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой резина?
2. Перечислите основные ингредиенты, входящие в состав резины.
3. Какова роль вулканизаторов при изготовлении резиновых изделий?
4. Как влияет количество вулканизаторов на свойства резины?
5. Какова роль наполнителя в резинах?
6. Перечислите основные способы изготовления резиновых изделий.
7. Как классифицируются резины по применению?
8. Где применяются мягкие, жесткие, пористые и пастообразные резины?

Литература

1. Кенько В.М. Неметаллические материалы и методы их обработки. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998, – 240 с.

Лабораторная работа № 25

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Цель работы: изучить методы обработки заготовок на металло-режущих станках, формообразование поверхностей деталей машин, элементы резания, геометрические параметры режущих инструментов и материалы для их изготовления.

Оборудование и материалы: лабораторный угломер для измерения углов инструмента, коллекция токарных проходных резцов.

Порядок выполнения работы

Теоретически ознакомиться с движением рабочих органов станка, элементами резания, получение навыков измерения геометрических параметров токарного резца с помощью лабораторного угломера и ознакомиться с его элементами и устройством угломера

Получить у преподавателя два различных токарных резца и определить величину их углов. Сравнить измеренные величины для обоих инструментов и объяснить влияние измеренных углов на энергосиловые параметры процесса резания.

Общие сведения

Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали.

Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщать относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают на рабочих органах станков, обеспечивающих движение.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя материала или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания (рис. 25.1):

- Главное движение – определяет скорость деформирования материала и отделения стружки (D_g);
- Движение подачи – обеспечивает врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки (D_s);

Движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру – вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Движения подачи: продольное, поперечное, вертикальное, круговое, окружное, тангенциальное.

В процессе резания на заготовке различают поверхности (рис. 25.1):

- обрабатываемую поверхность (1);
- обработанную поверхность (2);
- поверхность резания (3).

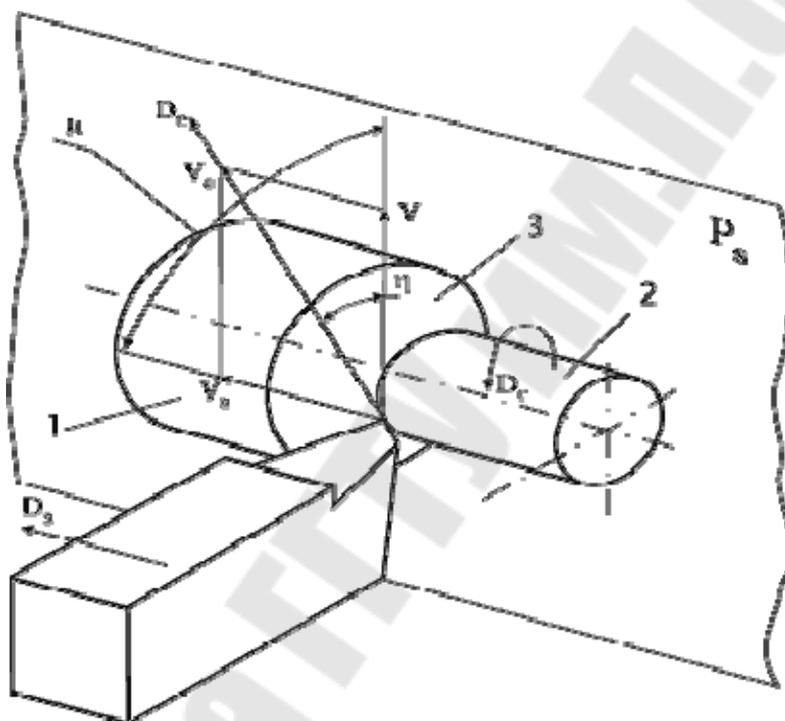


Рис. 25.1 Поверхности и движения при резании.

Установочные движения – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя металла.

Вспомогательные движения – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

В зависимости от сочетания движений инструмента и заготовки классифицируют основные виды обработки резанием. Они изображаются в виде схем резания с указанием положения инструмента и заготовки в статическом положении друг относительно друга. На схеме резания указывают направления главного (D_r) и вспомогательного (D_s) движений (рис. 25.2).

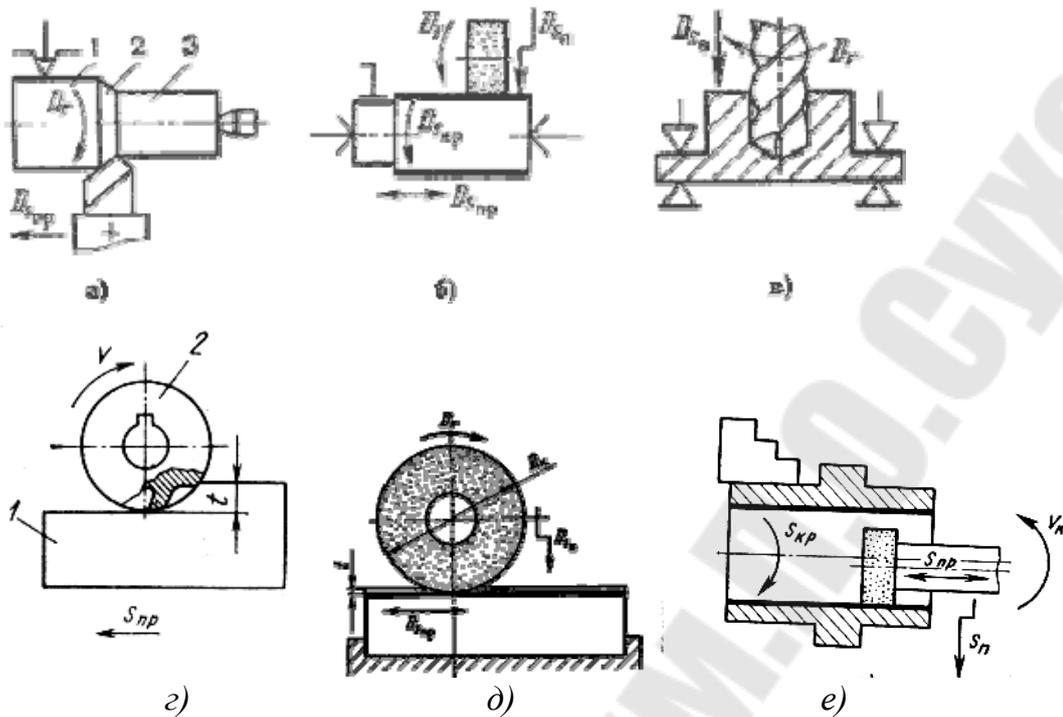


Рис. 25.2. Схемы обработки заготовок:

- а – точением; б – шлифованием на круглошлифовальном станке;
 в – сверлением; г – фрезерованием; д – плоским шлифованием;
 е – внутренним шлифованием

Геометрические параметры режущей части инструментов

Отделение срезаемого слоя металла производится режущим лезвием инструмента. Режущая часть инструмента ограничивается рабочими поверхностями, которые в зависимости от расположения относительно обрабатываемого изделия имеют определенные названия. Разные инструменты имеют различную форму зажимной и режущей частей, однако их режущие части имеют общее устройство и ограничиваются рабочими поверхностями, присущими режущей части любого инструмента. Обычно режущая часть имеет одну переднюю и несколько задних поверхностей.

На рис. 25.3 показаны рабочие поверхности и режущие кромки режущих частей: а – токарного резца, б – долбежного резца, в – спирального сверла, г – слесарного зубила, д – зерен абразивного инструмента.

Передней поверхностью (1) называется поверхность, по которой сходит образующаяся в процессе резания стружка.

Главной задней поверхностью (2) называется поверхность, обращенная к поверхности резания.

Вспомогательной задней поверхностью (3) называется поверхность, обращенная к обработанной поверхности.

Ребро, которое образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности, называется главной режущей кромкой (4). Пересечением передней поверхности с вспомогательной задней поверхностью образуется вспомогательная режущая кромка (5). Точка пересечения главной (4) и вспомогательной (5) режущих кромок называется вершиной (6) режущего лезвия (резца, режущего зуба).

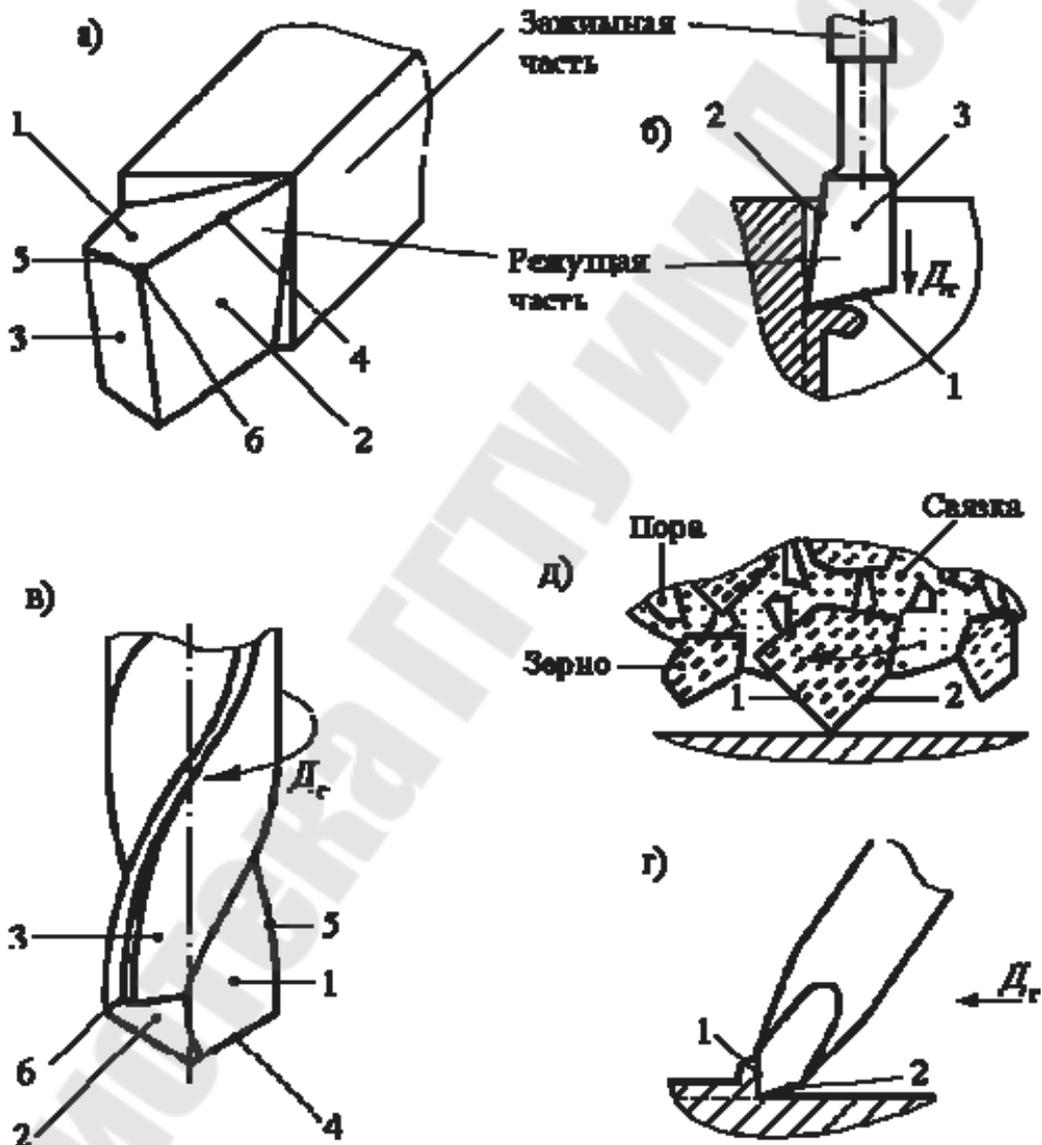


Рис. 25.3. Составные части и рабочие поверхности инструментов:

- 1 – передняя поверхность, 2 – главная задняя поверхность,
- 3 – вспомогательная задняя поверхность, 4 – главная режущая кромка,
- 5 – вспомогательная режущая кромка, 6 – вершина режущего лезвия

Для обеспечения эффективной работы режущего инструмента поверхности его режущего лезвия должны располагаться определенным образом относительно направления движения резания.

Для рассмотрения геометрических параметров режущей части инструмента устанавливаются системы координатных плоскостей и сами координатные плоскости: плоскость резания и основная плоскость. Для контроля режущего инструмента применяется инструментальная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу.

Статическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.

Кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания.

Геометрические параметры (углы) режущего инструмента рассматриваются в этих системах координат. В статической – как геометрические параметры твердого тела – неподвижного предмета, в кинематической – как углы работающего инструмента в процессе резания. На рис. 24.4 показан токарный резец в проекции на основную плоскость 1, сечения его в главной секущей плоскости 2, в рабочей плоскости 3 и вспомогательной секущей плоскости 4, вид резца со стороны главной задней поверхности 5 и следы координатных и секущих плоскостей.

Основной плоскостью P_v называется координатная плоскость, проходящая перпендикулярно направлению главного движения (вектору скорости резания). Для случая токарной обработки она параллельна продольной и поперечной подачам и параллельна опорной поверхности (основанию) призматической зажимной части резца.

Плоскостью резания P_n называется координатная плоскость, проходящая через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Плоскость, проходящая через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости и параллельно направлению движения подачи, называется рабочей плоскостью P_s .

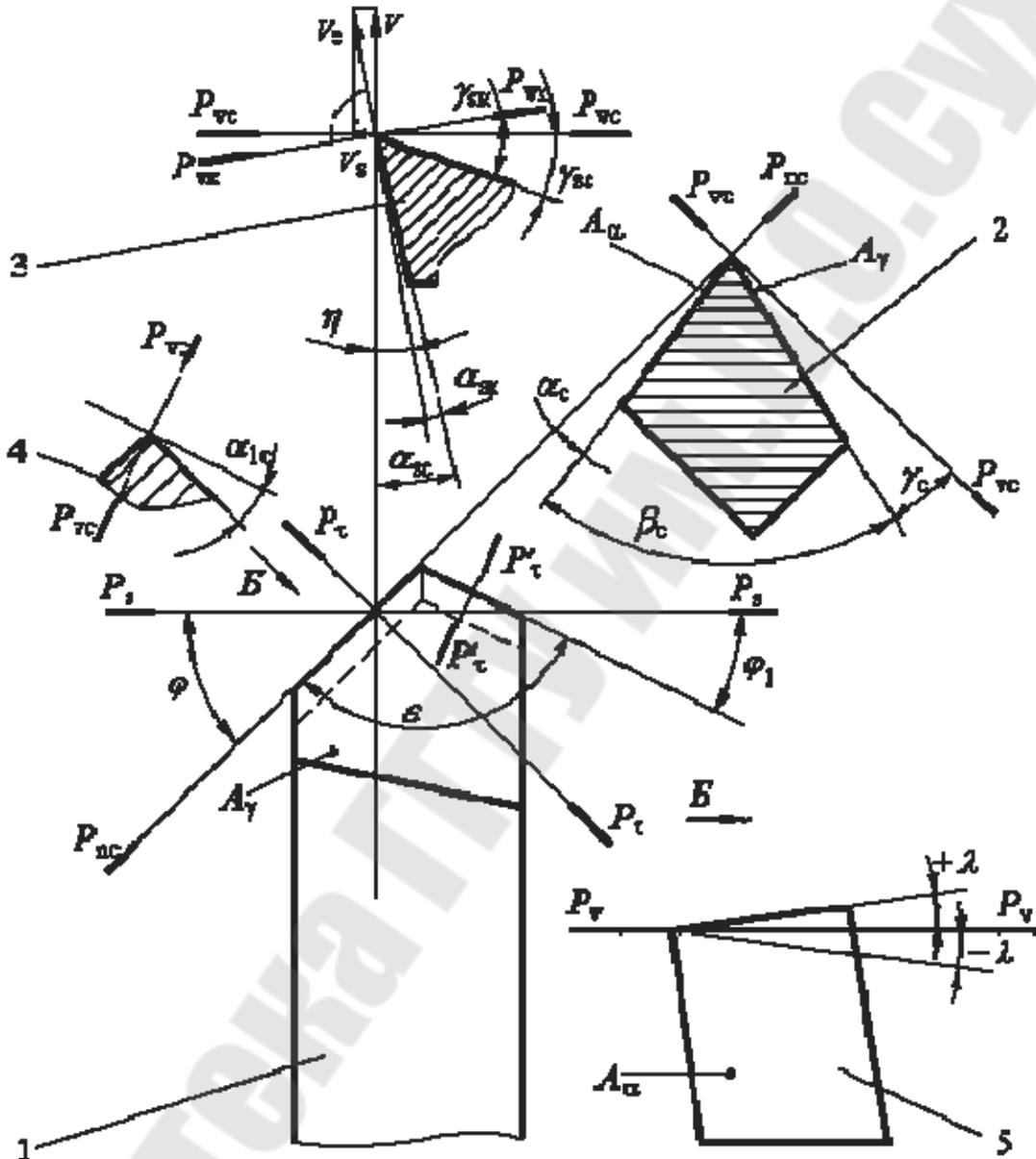


Рис. 25.4. Геометрические параметры режущей части резца в статической системе координат:

P_{vc} – след основной плоскости, P_{nc} – след плоскости резания,
 P_s – след рабочей плоскости, P_z – след главной секущей плоскости

Геометрические параметры режущего инструмента рассматриваются в плане, то есть в проекции на основную плоскость, и в секущих плоскостях: главной секущей плоскости, нормальной секущей

плоскости, в рабочей плоскости и в других вспомогательных секущих плоскостях.

Нормальной секущей плоскостью P_n называется секущая плоскость, проходящая перпендикулярно (нормально) режущей кромке в рассматриваемой точке.

Главной секущей плоскостью P_τ называется координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости с плоскостью резания и проходящая через главную режущую кромку.

В плане, то есть в проекции на основную плоскость, рассматриваются следующие углы: главный угол в плане φ , угол при вершине в плане ε , вспомогательный угол в плане φ_1 . Эти углы связаны между собой зависимостью:

$$\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$$

При осуществлении процесса резания величина угла при вершине ε оказывает влияние на шероховатость обработанной поверхности. Чем больше величина этого угла тем ниже шероховатость.

В главной секущей плоскости P_τ рассматриваются углы: главный задний α , передний угол γ и угол заострения β . Во вспомогательной секущей плоскости P'_τ рассматривается и измеряется только один угол – вспомогательный задний угол α_1 . В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки λ .

Сумма углов резца в главной секущей плоскости равна 90 градусам:

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ$$

Влияние углов резца на энергосиловые параметры процесса резания:

α - определяет фактическую площадь контакта в процессе трения заготовки по задней поверхности резца, влияющую на тепловыделение при резании;

γ - определяет характер врезания режущей кромки инструмента в заготовку;

β - влияет на силу резания;

λ - влияет на направление схода стружки, при его нулевом значении стружка собирается в области режущего лезвия резца (рис. 24.5, а), при отрицательном значении стружка отбрасывается на

поверхность резания (рис. 24.5, б), при положительном значении угла стружка уходит в сторону от заготовки (рис. 24.5, в).

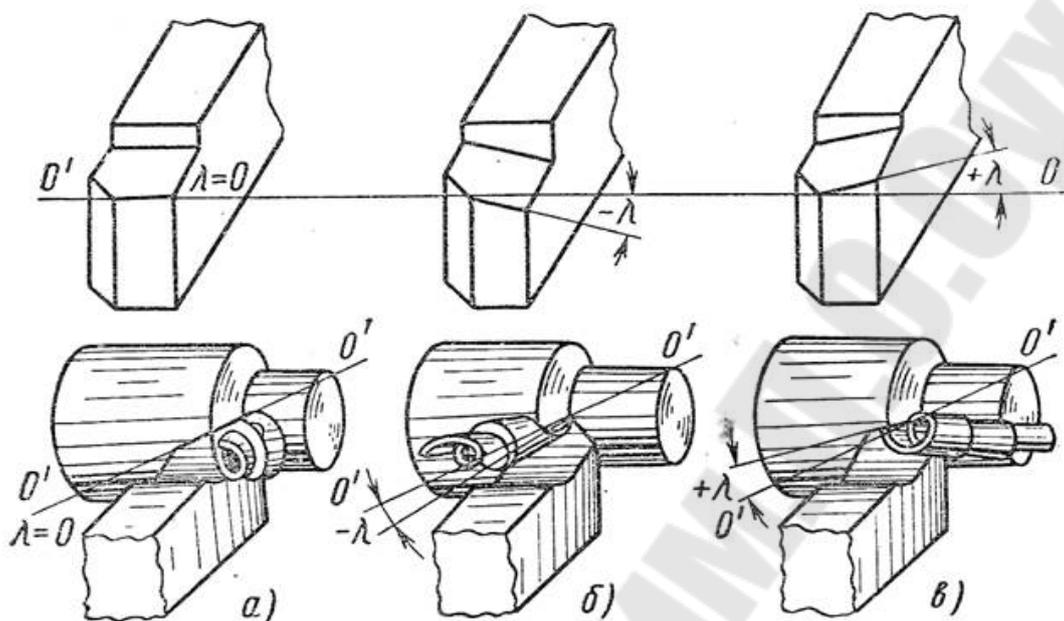


Рис. 24.5. Влияние угла наклона режущего лезвия на направление схода стружки

Режимы резания, шероховатость поверхности

При назначении режимов резания определяют скорости главного движения резания и подачи, и глубину резания.

Скоростью главного движения – называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента в единицу времени (м/с).

Для вращательного движения:

$$v = \frac{\pi \times D_{\text{зм}} \times n}{1000 \times 60},$$

где: $D_{\text{зм}}$ – максимальный диаметр заготовки (мм); n – частота вращения (мин^{-1}).

Для возвратно-поступательного движения:

$$v = \frac{L \times m \times (k+1)}{1000 \times 60},$$

где: L – расчетная длина хода инструмента; m – число двойных ходов инструмента в минуту; k – коэффициент, показывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного хода.

Подача (s)- путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один ход заготовки или инструмента.

В зависимости от технологического метода обработки подачу измеряют:

мм/об – точение и сверление;

мм/дв. ход – строгание и шлифование.

Глубина резания (t) – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к обработанной поверхности (мм).

$$t_{\text{макс}} = \frac{D_{\text{ш}} - d}{2}$$

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей с относительно малыми шагами.

Шероховатость является характеристикой качества поверхностного слоя заготовки. Она оценивается несколькими параметрами, в частности критерием R_a .

R_a - среднее арифметическое отклонение профиля (среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля) в пределах определенной базовой длины обработанной поверхности.

Допустимые значения шероховатости поверхностей деталей указываются на чертежах.

Значение параметра R_a для разных технологических методов обработки лежат в пределах, мкм:

- для предварительной черновой обработки – 100...22,5 ;
- для чистовой обработки – 6,3...0,4 ;
- для отделочной и доводочной обработки – 0,2...0,012.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема формирования обработанной поверхности при точении заготовки токарным резцом.
3. Геометрические параметры режущей части резца в статической системе координат.

4. Схема измерения угла, заданного преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Классификация движений, совершаемых при резании.
2. Поверхности на заготовке и координатные плоскости для определения углов клиновидной части резцов.
3. Поверхности, углы и элементы клина токарного резца.
4. Соотношения между углами α , β и γ ; φ , φ_1 , ε .
5. Влияние формы передней поверхности и углов клина резца на энергосиловые параметры процесса резания.

Литература

1. Обработка материалов резанием : учебно-методический О23 комплекс / сост. : Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 272 с. (режим доступа: <https://studfile.net/preview/5441313/page:5/>)

Лабораторная работа № 26 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия токарного станка. Изучить основные схемы обработки.

Оборудование и материалы: станок токарный настольный, набор резцов, заготовка из металлического сплава.

Порядок выполнения работы: ознакомиться с устройством и принципом действия токарного станка. Изучить работу всех видов инструмента. По заданию преподавателя изобразить схему обработки поверхности заготовки калим либо из резцов.

Общие сведения

По общности технологического метода обработки различают станки: токарные, фрезерные, сверлильные и др.

По назначению различают станки: широкоуниверсальные, универсальные, широкого назначения, специализированные, специальные.

Универсальные станки обрабатывают разнотипным инструментом различающиеся по размерам, форме и расположению поверхностей заготовки.

Широкоуниверсальные – предназначены для выполнения особо широкого разнообразия работ.

Станки широкого назначения характеризуются однотипностью применяемого инструмента.

Специализированные станки предназначены для обработки однотипных заготовок различных размеров.

Специальные станки предназначены для выполнения определенных видов работ на заготовках одинаковых размеров и конфигурации.

По массе: легкие (до 1 т), средние (до 10 т), тяжелые (свыше 10 т) и уникальные (свыше 100 т). По степени автоматизации: с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы. По компоновке основных рабочих органов: горизонтальные и вертикальные.

В общегосударственной единой системе станки разделяются на 10 групп и 10 типов. В группы объединены станки одинаковые или схожие по технологическому методу обработки. Типы характеризуют их назначение, степень автоматизации, компоновку.

Точение (токарная обработка) является основным способом обработки поверхностей тел вращения. Осуществляется на токарных станках. Устройство токарного станка показано на рис. 26.1.

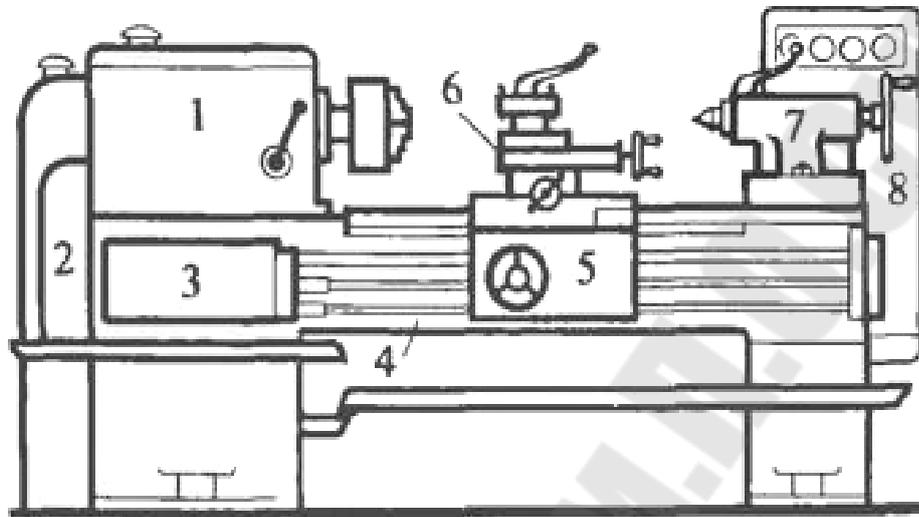


Рис. 26.1 Устройство токарного станка.

Назначение основных узлов токарного станка

Передняя бабка 1 – чугунная коробка, основной рабочий орган шпиндель и коробка скоростей. Она служит для закрепления обрабатываемой детали и передачи ей главного движения - вращения. Наиболее ответственной деталью передней бабки является шпиндель, представляющий собой стальной пустотелый вал. На переднем конце шпинделя нарезана точная резьба на которую можно навернуть кулачковый или поводковый патрон либо планшайбу. В этом же конце шпинделя имеется коническое отверстие, в которое можно вставлять передний центр.

Гитара 2 – необходима для регулировки подачи или шага нарезаемой резьбы станка путем установки соответствующих сменных зубчатых колес. В современных станках преимущественно не используется.

Коробка подач 3 – это узел станка, который передает вращение от шпинделя к ходовому винту или ходовому валу. С помощью нее происходит изменение скорости вращения ходового винта и ходового вала, чем достигается перемещение суппорта с выбранной скоростью в продольном и поперечном направлениях

Станина 4 – чугунное основание, где расположены основные механизмы станка. Верхняя часть станины состоит из двух призматиче-

ческих и двух плоских направляющих, по которым передвигаются задняя бабка и суппорт. Станина закреплена на двух тумбах.

Фартук 5 – используется для преобразования вращательного движения ходового вала в продольное или поперечное движение суппорта.

Суппорт 6 – предназначен для перемещения резцедержателя с резцом в продольном, поперечном и наклонном к оси станка направлениях. Резцу можно сообщить движение вдоль и поперек станины как механически, так и вручную.

Суппорт состоит из каретки, которая перемещается по направляющим станины, фартука, в котором расположен механизм преобразования вращательного движения ходового вала и ходового винта в прямолинейное движение суппорта, механизма поперечных салазок, механизма резцовых (верхних) салазок, механизма резцедержателя.

Задняя бабка 7 – необходима для установки конца длинных заготовок в процессе обработки, а также для закрепления и подачи стержневых инструментов (сверл, зенкеров, разверток).

Шкаф с электрооборудованием 8 – Запуск электродвигателя, пуск и остановка станка, контроль работы коробки скоростей и коробки подач, контроль за механизмом фартука и т. д. проводится соответствующими органами управления (рукоятками, кнопками, маховичками). Также дополнительно на станке могут использоваться токарном станке: патроны, планшайбы, цанги, центры, хомутики, люнеты, оправки (для закрепления заготовок).

Процесс резания осуществляется на токарных станках при вращении обрабатываемой заготовки (главное движение) и перемещении резца (движение подачи). Заготовка закрепляется в трех- или четырех патронах.

Движение подачи осуществляется: параллельно оси вращения заготовки (продольная); перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная); под углом к оси вращения заготовки (наклонная).

В качестве режущего инструмента при точении используют резцы. Выполняют различные операции изображенные на рисунке 26.2:

- 1 – обработка торцовой поверхности подрезным резцом;
- 2 – обработка фасонной поверхности фасонным резцом;
- 3 – чистовую обработку фаски фасонным резцом;
- 4 – обработку уступа проходным упорным резцом;
- 5 – протачивание канавки или отрезание части заготовки отрезным резцом;

- 6 – протачивание наружной цилиндрической поверхности проходным прямым резцом;
- 7 – нарезание резьбы резьбовым резцом;
- 8 – протачивание наружной цилиндрической, торцовой поверхностей или фасок проходным отогнутым резцом;
- 9 – растачивание внутренних отверстий расточным упорным резцом;
- 10 – растачивание внутренних отверстий расточным проходным резцом.

По технологическим возможностям точение условно подразделяют на: черновое, получистовое, чистовое, тонкое.

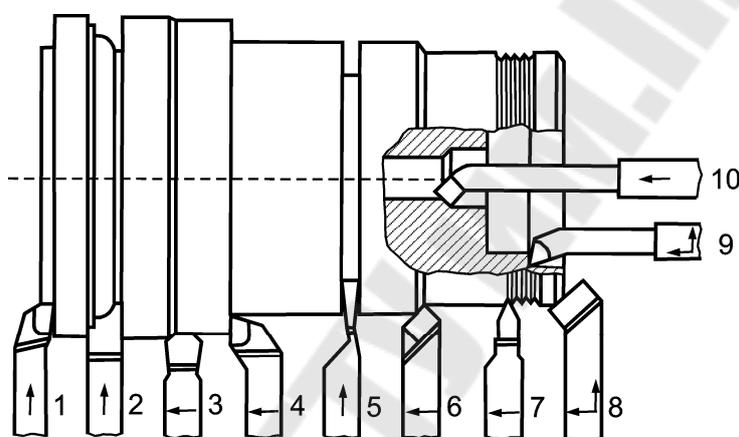


Рис. 26.2. Схемы обработки поверхностей заготовки точением

Кроме того на токарном станке можно использовать осевой инструмент для обработки отверстий. Его закрепляют в пиноль задней бабки. В процессе обработки инструмент совершает поступательное прямолинейное движение подачи, а заготовка главное вращательное движение (рис. 26.3).

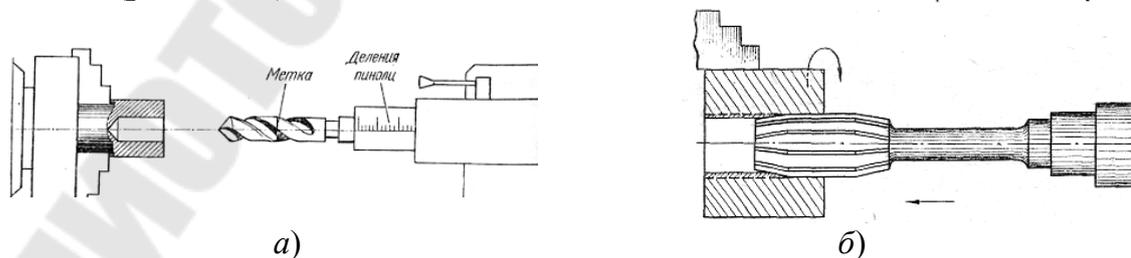


Рис. 26.3. Схема обработки заготовки сверлом (а) и зенкером (б) на токарном станке

При закреплении коротких заготовок, выступающих из кулачков патрона не более чем на 2,5 диаметра, используют только трехкулачковый патрон (рис. 26.4, а). Если же заготовка выступает на расстояние до 4-х диаметров, ее дополнительно закрепляют с помощью вращающегося центра, установленного в пиноль задней бабки (рис. 26.4, б).

Обработка более длинных заготовок может сопровождаться их изгибом и потерей жесткости (рис. 26.4, а), поэтому если свободная длина заготовки превышает четыре диаметра, используют дополнительное приспособление - люнет (рис. 26.4, б).

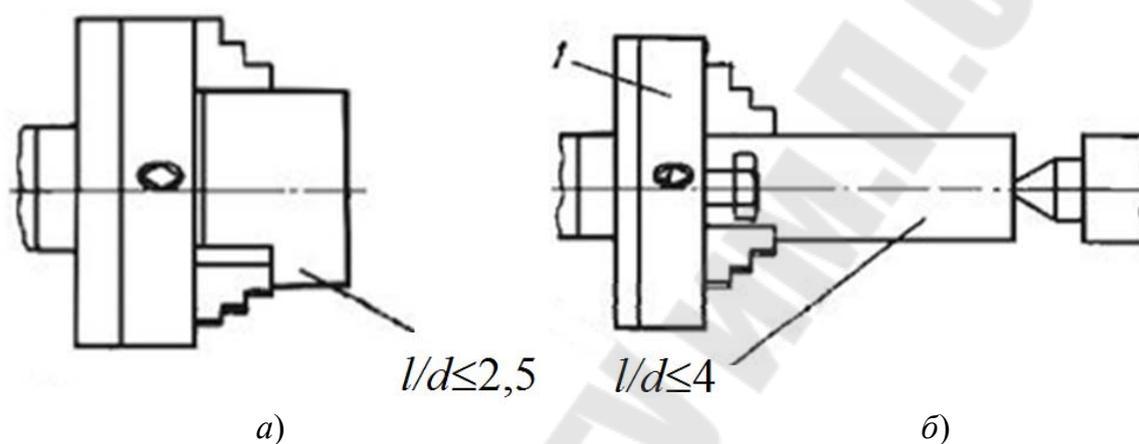


Рис. 26.4 Способы закрепления коротких заготовок на токарном станке:
 а – с использованием только трехкулачкового патрона;
 б – с дополнительным применением вращающегося упорного центра

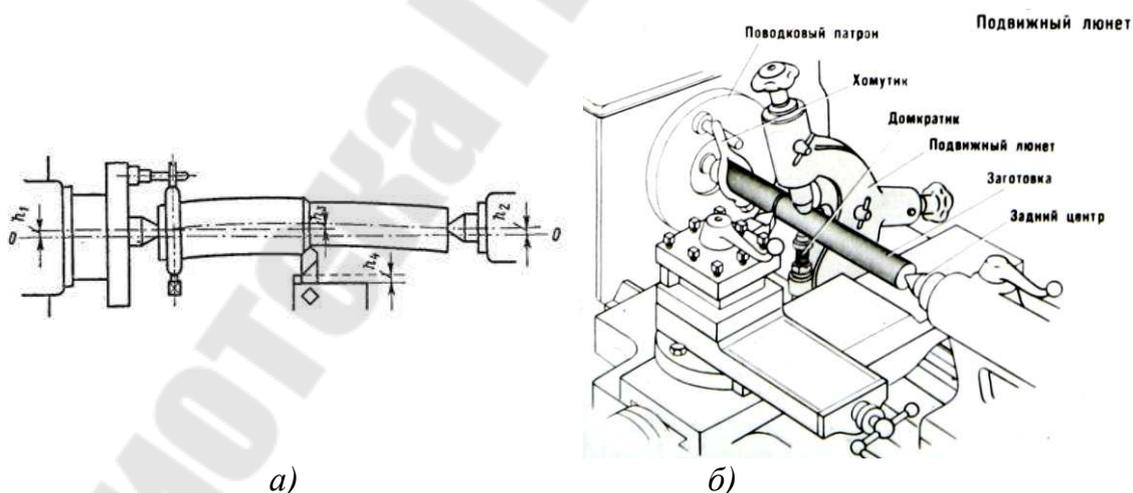


Рис. 26.5. Использование люнета для закрепления заготовок на токарном станке:
 а – возможный изгиб длинной заготовки при обработке ее центральной части; б – применение люнета для повышения жесткости закрепления длинной заготовки

Контрольные вопросы

1. Где применяют токарно-винторезные станки?
2. Из каких узлов состоит токарно-винторезный станок?
3. Каково назначение основных узлов токарного станка?
4. Расскажите об устройстве передней бабки токарного станка.
5. Какие приспособления применяют для закрепления обрабатываемых деталей на токарных станках?
6. Какие резцы применяют для обработки наружных цилиндрических поверхностей?
7. Какими способами закрепляют заготовки при их обработке на токарном станке?

Литература

1. обработка материалов резанием : учебно-методический ОЗ комплекс / сост. : Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 272 с. (режим доступа: <https://studfile.net/preview/5441313/page:5/>)

Лабораторная работа № 27 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия вертикально-сверлильного станка. Изучить основные схемы обработки осевым инструментом.

Оборудование и материалы: станок вертикально-сверлильный, набор осевых инструментов, заготовка из металлического сплава.

Порядок выполнения работы: ознакомиться с устройством и принципом действия сверлильного станка. Изучить работу всех видов инструмента. По заданию преподавателя изобразить схему обработки поверхности заготовки каким либо из видов осевого инструмента.

Общие сведения

Сверление является основным способом получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале заготовки.

Для сверления используются сверлильные станки. По конструктивным признакам различают вертикально-сверлильные станки рис. 27.1 и радиально-сверлильные станки.

Конструкция радиально-сверлильных станков позволяет, не открепляя заготовку, просверлить в ней несколько отверстий. Для этого шпиндельная головка имеет возможность линейного и радиального перемещения в горизонтальной плоскости. Кроме того, сверление можно осуществлять на токарных станках.

В качестве инструмента при сверлении используется сверло, имеющее две главные режущие кромки.

На сверлильных станках сверло совершает вращательное (главное) движение и продольное (движение подачи) вдоль оси отверстия, заготовка неподвижна (рис. 27.2, а).

Для сравнения при работе на токарных станках вращательное (главное движение) совершает обрабатываемая деталь, а поступательное движение вдоль оси отверстия (движение подачи) совершает сверло (рис. 26.3,а).

Диаметр просверленного отверстия можно увеличить сверлом большего диаметра. Такие операции называются *рассверливанием* (рис. 27.2,б).

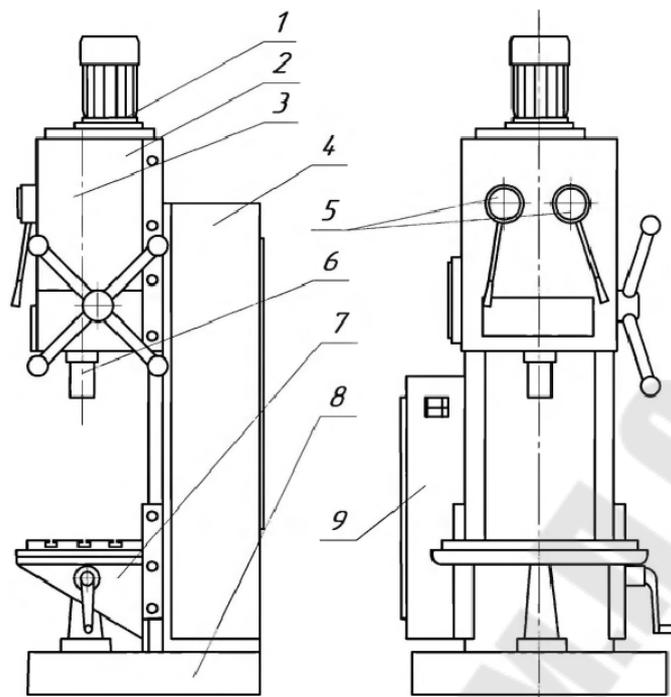


Рис. 27.1. Устройство вертикально-сверлильного станка:
 1 – привод; 2 – коробка скоростей; 3 – коробка подач; 4 – колонна;
 5 – механизм управления скоростями и подачами; 6 – шпиндель;
 7 – стол; 8 – основание; 9 – электрический шкаф.

При сверлении обеспечиваются сравнительно невысокая точность и качество поверхности. Это обусловлено тем, что жесткость сверла не высока. Она снижается при увеличении глубины сверления. В результате сверло начинает изгибаться и формирует отверстие с искривленной осью. Этому процессу способствует затупление рабочих кромок сверла и их переточка, которая, как правило, производится вручную.

Для получения отверстий более высокой точности и чистоты поверхности после сверления на том же станке выполняются зенкерование и развертывание.

Зенкерование – обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости. Зенкерование производят зенкером – многолезвийным режущим инструментом, который имеет более жесткую рабочую часть, число зубьев не менее трех (рис. 27.2, в). Припуск под зенкерование обычно составляет не более 1 мм на сторону.

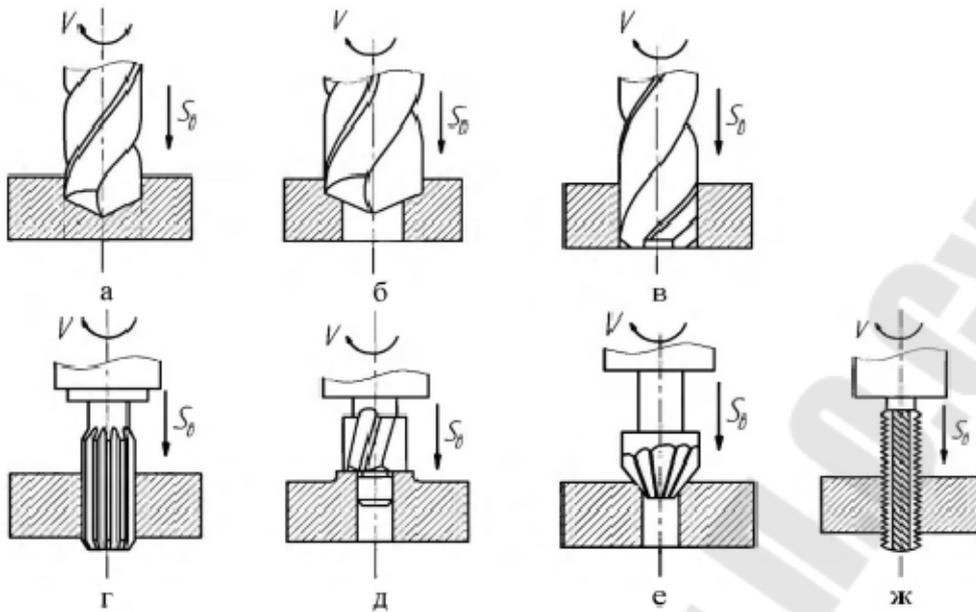


Рис.27.2. Схемы работы осевого инструмента на сверлильном станке

Развертывание – окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой в целях получения высокой точности формы и низкой шероховатости. Развертки – многолезвийный инструмент, срезающий очень тонкие слои (обычно до 0,1 мм на сторону) с обрабатываемой поверхности (рис.27.2, з).

При получении более сложных поверхностей используют цековки, которые позволяют получить строго перпендикулярную торцовую поверхность на базе уже просверленного отверстия (рис.27.2, д).

Изготовление фасок осуществляется зенковками (рис.27.2, е).

Для нарезания внутренней резьбы применяют метчики (рис.27.2, ж).

Сверла по металлу, для изготовления которых используются стальные сплавы быстрорежущей группы, применяются для создания в металлических деталях как сквозных, так и глухих отверстий. Наиболее распространенными являются спиральные сверла, конструкция которых включает в себя следующие элементы: режущую часть; рабочее тело; хвостовик; лапку (рис. 27.3).

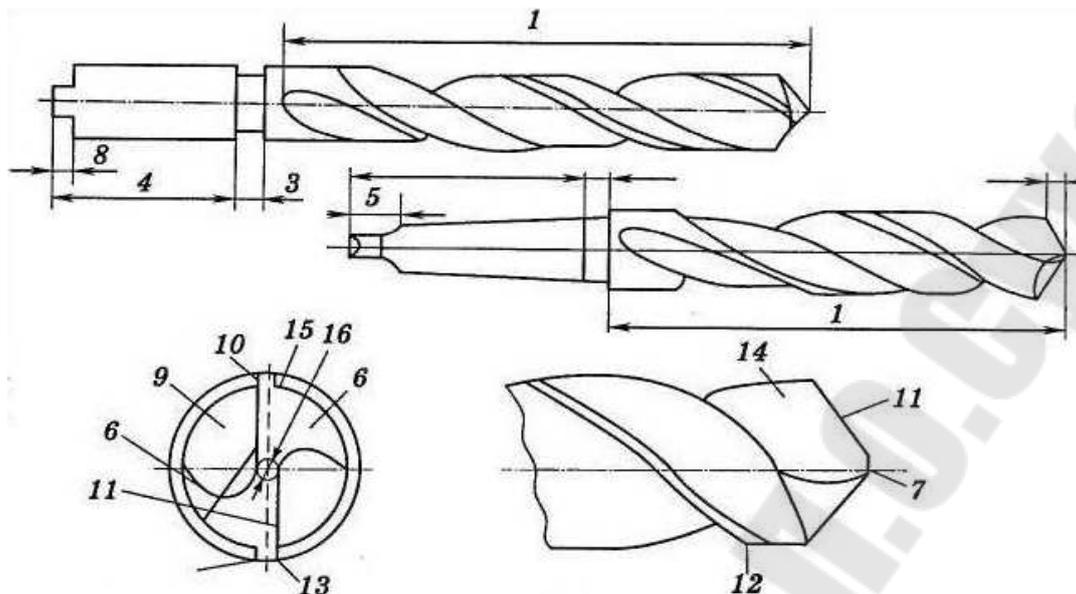


Рис.27.3. Устройство спирального сверла:

- 1 – рабочая часть, 2 – режущая часть, 3 – шейка, 4 хвостовик, 5 – лапка, 6 – зуб, 7 – поперечная кромка, 8 - поводок, 9 – стружечная канавка, 10 – задняя поверхность, 11 – режущая кромка, 12 – ленточка, 13 – кромка ленточки, 14 – передняя поверхность, 15 – спинка зуба, 16 – сердцевина.

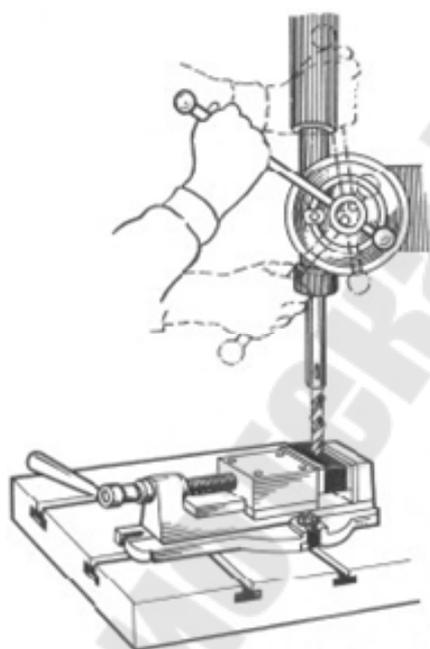


Рис. 27.4. Схема закрепления призматической заготовки в тисках на столе с верлильного станка

Если хвостовик, который может быть как цилиндрическим, так и коническим, предназначен для надежной фиксации инструмента в патроне используемого оборудования, то рабочая часть одновременно выполняет сразу несколько важных функций. Именно геометрией сверла определяются его работоспособность и режущие свойства.

Важнейшими элементами рабочей части сверла по металлу являются винтовые канавки. Их задача состоит в том, чтобы выводить из зоны обработки стружку. Геометрия спирального сверла по металлу предусматривает, что передняя сторона спиральной канавки выполняется под определенным углом, величина которого по направлению от оси инструмента к его периферийной части

меняется. В процессе изготовления сверла по металлу на боковой области его спиральных элементов формируются узкие ленточки, несколько выступающие над основной поверхностью. Задача таких ленточек состоит в том, чтобы уменьшить величину трения инструмента о стенки формируемого отверстия.

Наиболее часто призматические заготовки для сверления закрепляют в тисках (рис. 27.4). В некоторых случаях допускается также использование ручных тисков, а также прихватов (рис. 27.5).

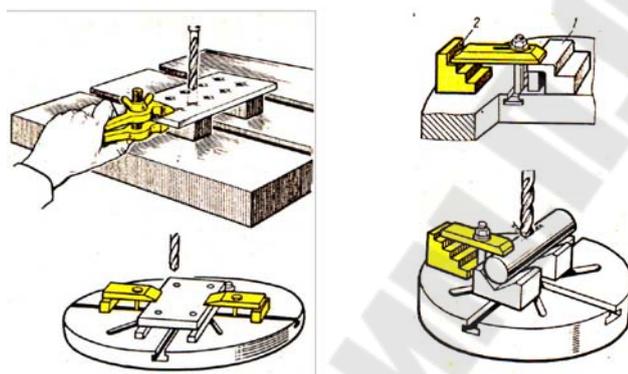


Рис. 27.5. Закрепление заготовки в ручных тисках, а также прихватами

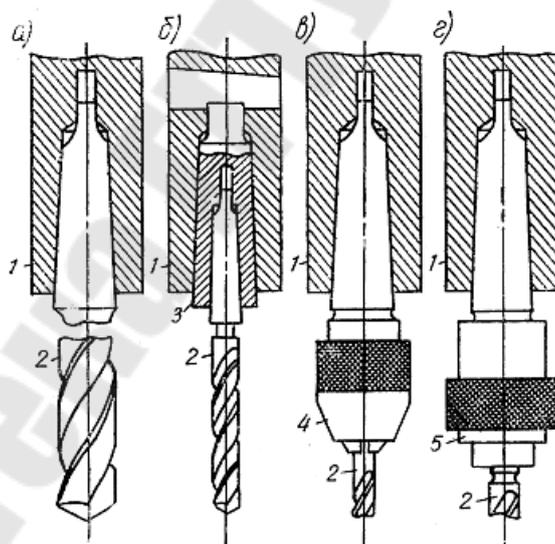


Рис. 28.6 Способы закрепления сверл

Сверла с коническими хвостовиками устанавливают непосредственно в шпindelь станка (рис. 28.6, а). Если номер конического хвостовика сверла не совпадает с размерами конического отверстия в шпинделе, для закрепления используют переходную втулку (рис. 28.6, б). Сверла небольших диаметров (менее 8 мм) имеют цилиндрические хво-

стовики. Для их закрепления применяют трехкулачковые или цанговые патроны (рис. 28.6 в, г).

Контрольные вопросы

1. Основные узлы сверлильного станка.
2. Способы закрепления инструмента в шпинделе станка.
3. Приспособления для закрепления заготовок на станках.
4. Инструменты, применяемые при обработке на сверлильных станках.
5. Основные части спирального сверла.
6. Элементы и углы спирального сверла.
7. Работы, выполняемые на сверлильных станках.
8. Для чего производится предварительное сверление отверстий с последующим рассверливанием?
9. Что называется зенкерованием, его сущность и применяемый инструмент?
10. Способ обработки, применяемый для получения отверстий высокой точности и малой шероховатости поверхности.
11. Сущность и назначение зенкования.
12. Способ обработки торцовых поверхностей под гайки шайбы и упорные кольца.
13. Инструменты, применяемые для нарезания резьбы и обработки сложных поверхностей.

Литература

1. Обработка материалов резанием : учебно-методический О23 комплекс / сост. : Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 272 с. (режим доступа: <https://studfile.net/preview/5441313/page:5/>)

Лабораторная работа № 28 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия фрезерного станка. Изучить основные схемы фрезерования.

Оборудование и материалы: станок универсально-фрезерный, набор набор фрез, заготовка из металлического сплава.

Порядок выполнения работы: ознакомиться с устройством и принципом действия фрезерного станка. Изучить работу всех видов инструмента. По заданию преподавателя изобразить схему обработки поверхности заготовки какой либо фрезой.

Общие сведения

Фрезерование – высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей заготовок: многолезвийным режущим инструментом – фрезой.

Процесс фрезерования отличается от других процессов резания тем, что каждый зуб фрезы за один ее оборот находится в работе относительно малый промежуток времени. Большую часть оборота зуб фрезы проходит, не производя резания. Это благоприятно сказывается на стойкости фрез. Другой отличительной особенностью процесса фрезерования является то, что каждый зуб фрезы срезает стружку переменной толщины.

Фрезерование может производиться двумя способами: против подачи и по подаче. Первое фрезерование называется встречным, а второе – попутным. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Встречное фрезерование является основным. Попутное фрезерование целесообразно вести лишь при обработке заготовок без оплавленной без термической резки корки, а также при обработке материалов, склонных к упрочнению, так как при фрезеровании против подачи зуб фрезы, врезаясь в материал, довольно значительный путь проходит по сильно наклепанному слою. Износ фрез в этом случае протекает излишне интенсивно.

По исполнению фрезы делятся на цилиндрические, когда зубья располагаются только на цилиндрической поверхности фрезы и торцевые, у которых режущие зубья располагаются на торцевой и цилиндрической поверхности фрезы.

При работе торцовыми или концевыми фрезами различают симметричное и несимметричное резание. При симметричном резании ось фрезы совпадает с плоскостью симметрии обрабатываемой поверхности, а при несимметричном – не совпадает.

Основными элементами режима резания при фрезеровании являются глубина резания, подача, скорость резания и ширина фрезерования.

Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, а вспомогательным – поступательное перемещение заготовки. Движение подачи может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные, и барабанно-фрезерные станки).

Схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы представлены на рис. 28.1.

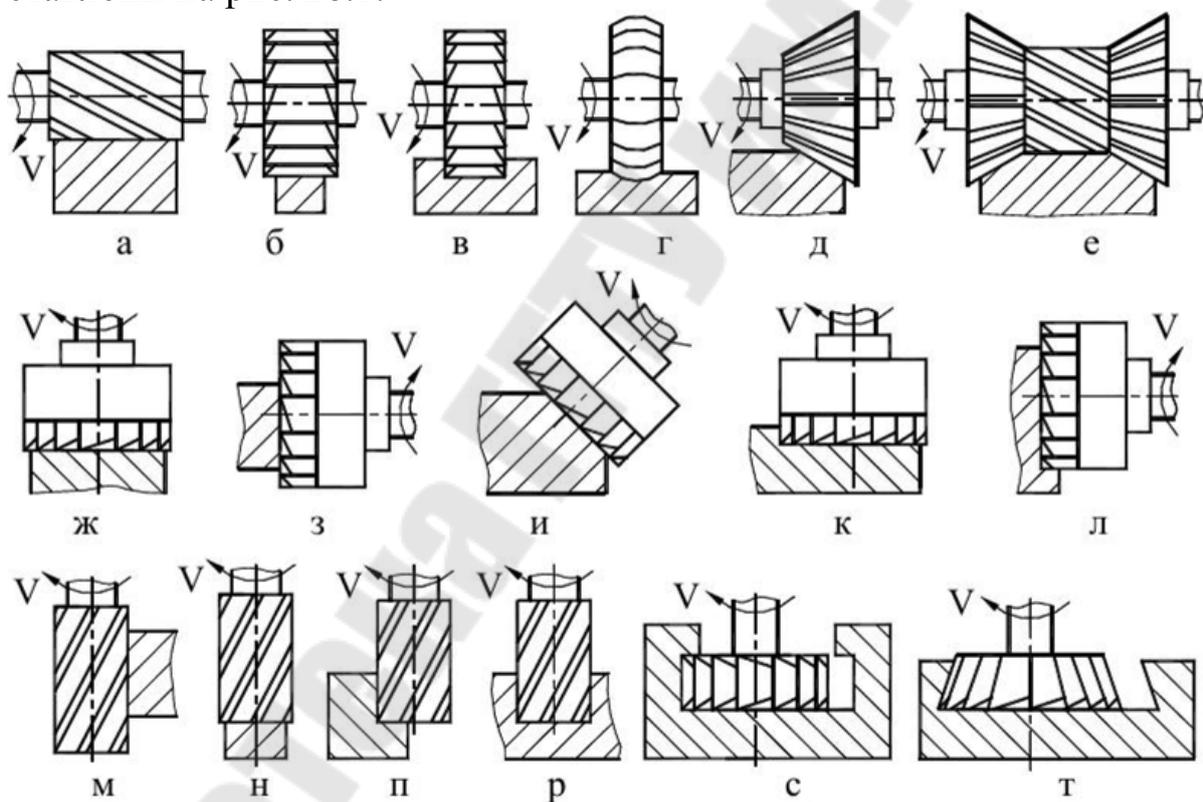


Рис. 28.1. Схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы.

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими или дисковыми фрезами (рис. 28.1, а, б) и на вертикально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 28.1, ж, з, н). Применяют также концевые цилиндрические фрезы для обработки вертикальных плоскостей (рис. 28.1, м).

Прямоугольные пазы получают на горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами (рис. 28.1, *в*) или на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами (рис. 28.1, *р*). Фасонные пазы с криволинейной поверхностью изготавливают на горизонтально-фрезерных станках фасонными дисковыми фрезами (рис. 28.1, *з*), а Т-образный паз и типа «Ласточкин хвост» специальными концевыми фрезами (рис. 28.1, *с*, *т*). Уклоны фрезеруют угловой насадной фрезой на горизонтально-фрезерном станке (рис. 28.1. *д*) или торцевой концевой фрезой на универсально-фрезерном станке (рис. 28.1, *и*).

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 2.5, *в*) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально- фрезерных станках – концевыми фрезами (рис. 2.5, *з*).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 28.5, *с*) на горизонтально- фрезерных станках.

Уступы фрезеруют концевыми торцовыми фрезами (рис. 28.1, *к*, *л*) и концевыми цилиндрическими (рис. 28.1.*п*) фрезами.

Устройство фрезерных станков приведено на рисунках 28.2. и 28.3

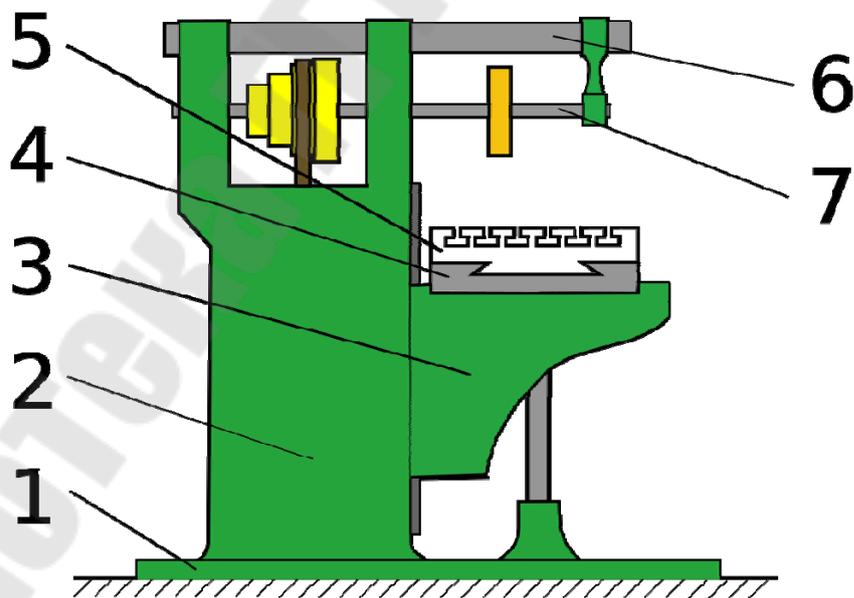


Рис. 28.2. Схема горизонтально-фрезерного станка:
1 – фундаментная плита, 2 – станина, 3 – консоль, 4 – салазки,
5 – стол, 6 – хобот, 7 – оправка со фрезой)

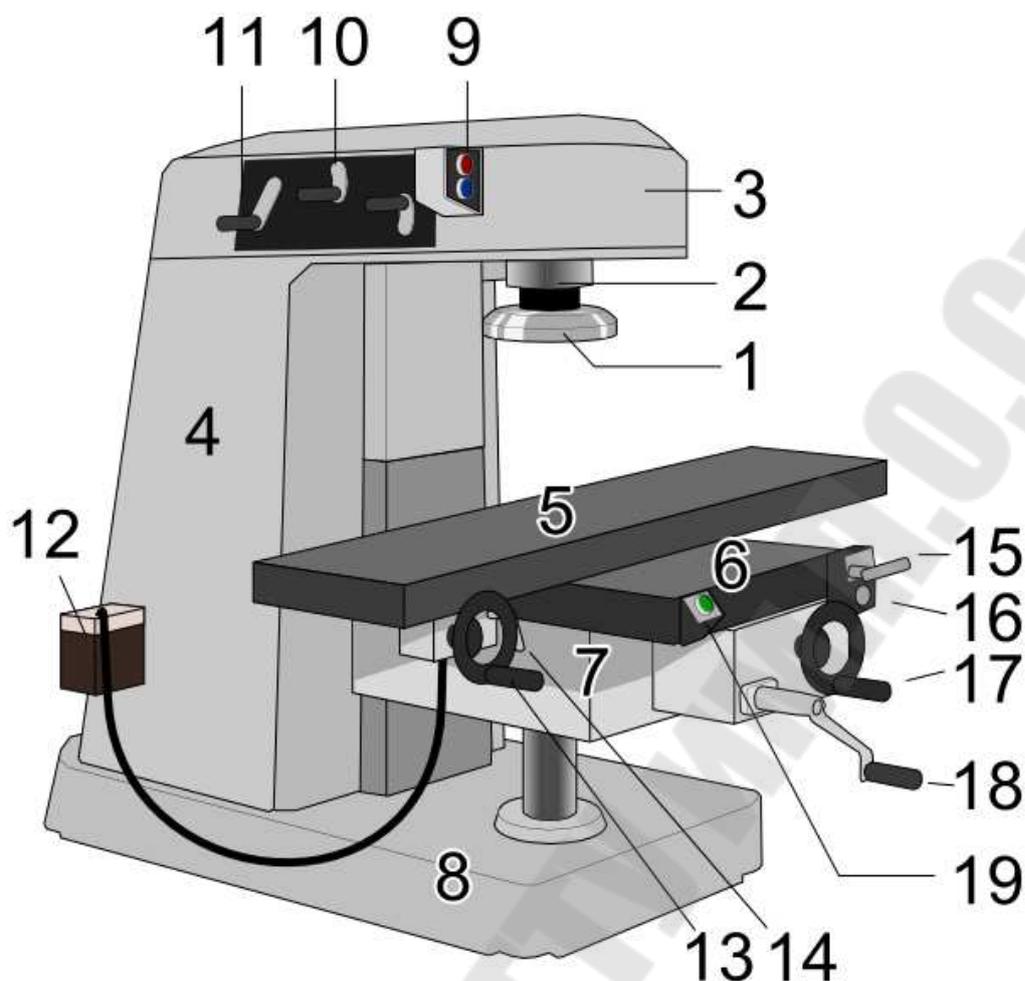


Рис. 28.3. Схема вертикально-фрезерного станка:

- 1 – фреза, 2 – шпиндель, 3 – хобот, 4 – станина, 5 – стол, 6 – салазки, 7 – консоль, 8 – фундаментная плита, 9 – кнопки запуска электропитания, 10, 11 – рукоятки ручного управления положением хобота и вылета шпинделя с фрезой, 12 – пульт управления подачами, 13 – рукоятка ручной продольной подачи, 14 – лимб продольной подачи, 15 – рукоятка стопора поперечной подачи, 16 – лимб поперечной подачи, 17 – рукоятка ручной поперечной подачи, 18 – рукоятка ручной вертикальной подачи, 19 – кнопка экстренной остановки станка

Для закрепления фрез используются различные приспособления. Концевые фрезы устанавливают конические оправки с коническим отверстием для хвостовика фрезы (рис. 28.4, а, б). Если диаметр конической фрезы не превышает 20 мм, то она снабжена цилиндрическим хвостовиком. Для установки такой фрезы используют цанговые патроны с коническим хвостовиком (рис. 28.4, в).

При закреплении инструмента на горизонтально-фрезерном станке наиболее часто используют специальную оправку, устанавливаемую непосредственно в шпиндель станка (рис. 28.5).

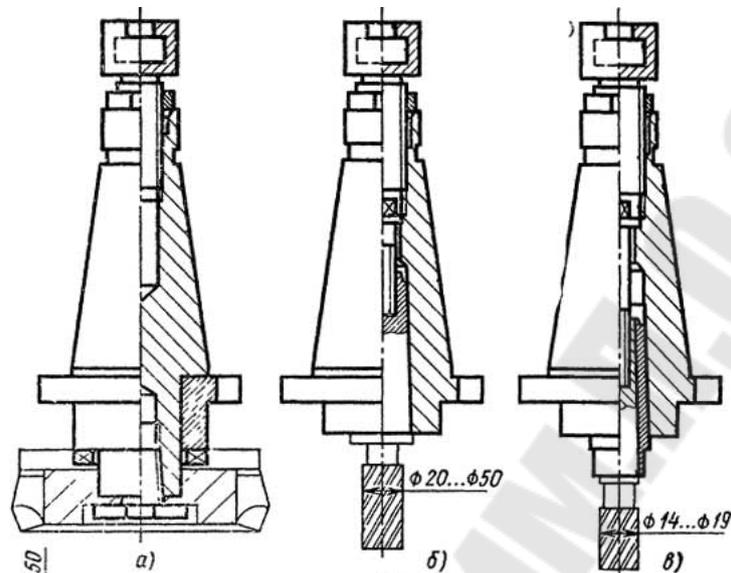


Рис. 28.4. Схема закрепления концевых инструментов в конических оправках фрезерного станка:
a – торцевой фрезы; *б* – концевой фрезы; *в* – концевой фрезы через переходную втулку; *г* – сверла

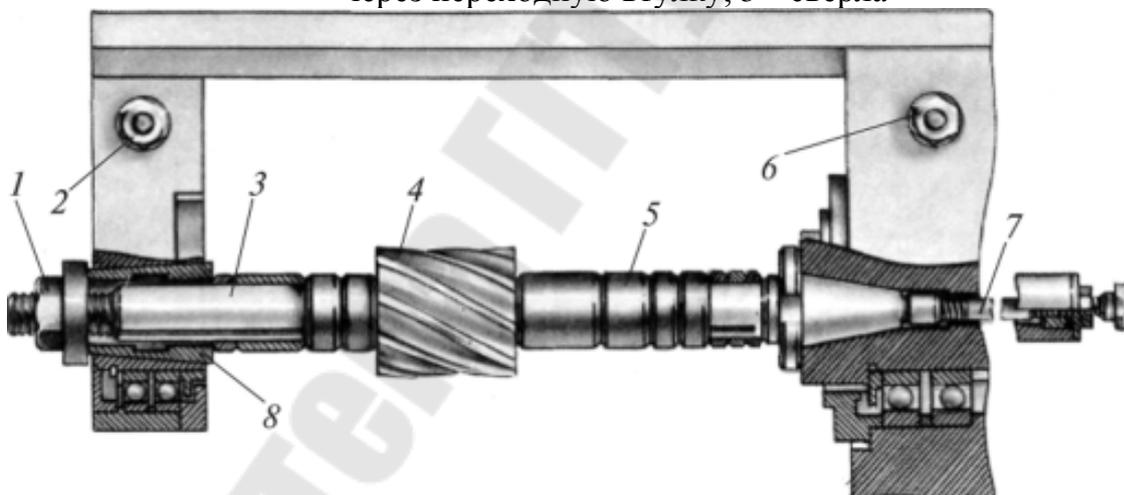


Рис. 28.5. Схема закрепления насадного инструмента на оправке горизонтально-фрезерного станка:
 1 – гайка; 2 – серьга; 3 – оправка; 4 – насадная цилиндрическая фреза;
 5 – установочные кольца; 6 – станина; 7 – винт; 8 – цанга

Для закрепления заготовок на столе фрезерного станка наиболее часто используют машинные тиски (рис. 28.6). В некоторых случаях используют прихваты (рис. 28.7). Закрепления заготовки с приме-

нием делительной головки реализуется при нарезании зубьев шестерен методом копирования (рис. 28.8).

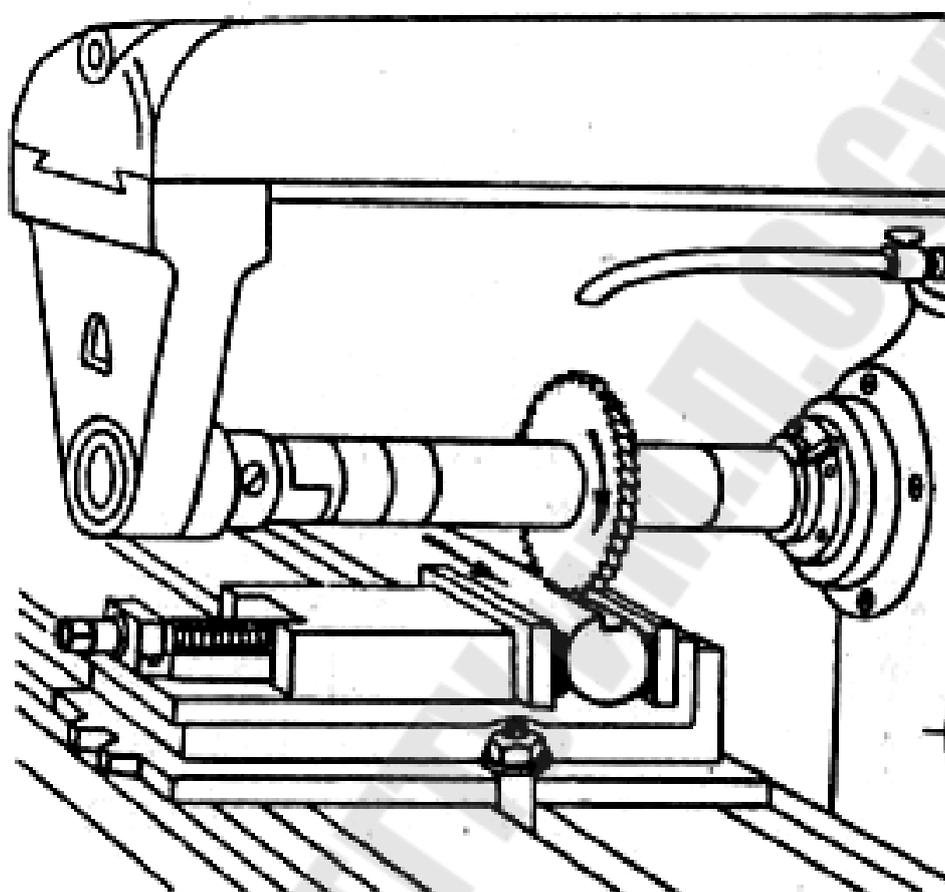


Рис. 28.6. Схема фрезерования заготовки, закрепленной в тисках на столе горизонтально-фрезерного станка.

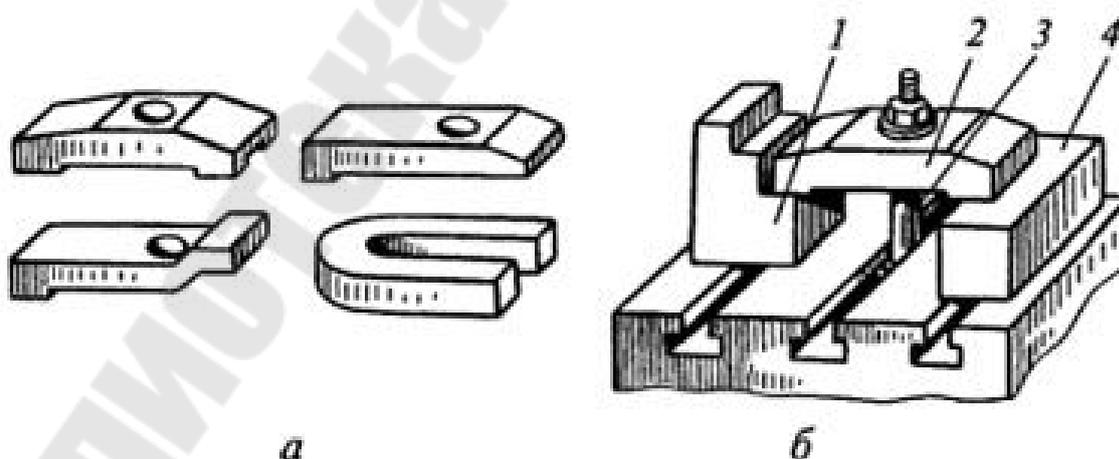


Рис. 28.7. Схема закрепления заготовки с помощью прихватов:
а – виды прихватов, б – установка прихвата на столе станка:
1 – подставка, 2 – прихват, 3 – крепежный болт, 4 – обрабатываемая заготовка

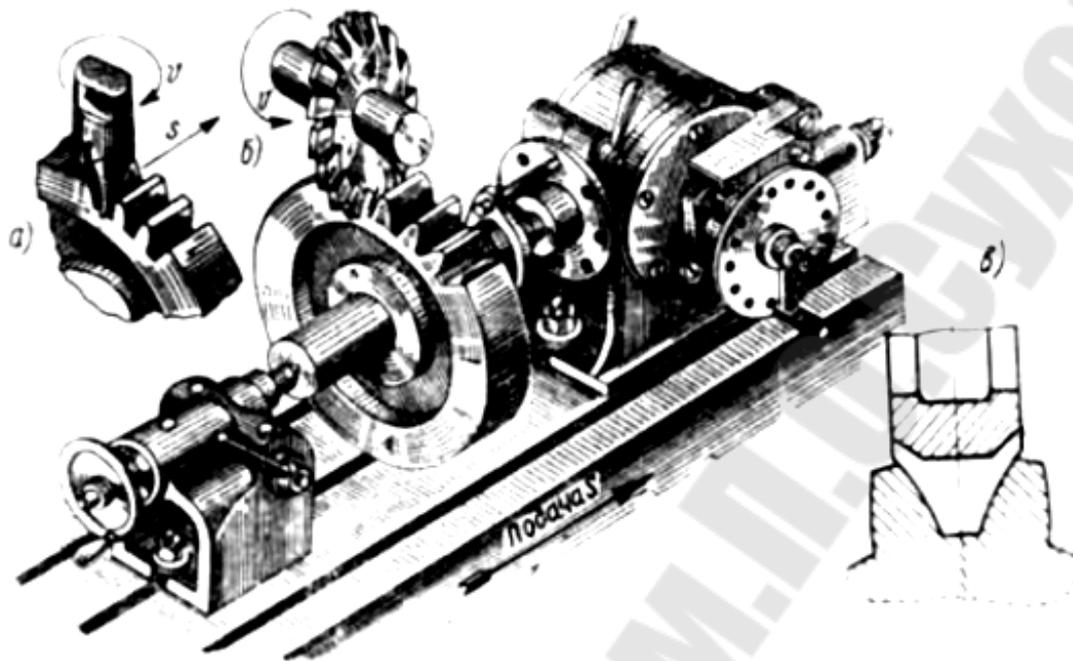


Рис. 28.8. Схема закрепление заготовки при фрезеровании зубьев шестерни методом копирования:
 а – применение концевой модульной фрезы, б – дисковая модульная фреза, в – профиль нарезаемой впадины между зубьями

Контрольные вопросы

1. Для чего применяют прихваты и подкладки?
2. Какие бывают типы цилиндрических фрез?
3. Какие виды работ можно выполнить концевыми фрезами?
4. Как производится фрезерование Т-образных пазов и пазов типа «ласточкин хвост»?
5. Устройство горизонтально-фрезерного и вертикально-фрезерного станков.

Литература

1. Обработка материалов резанием : учебно-методический ОЗ комплекс / сост. : Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 272 с. (режим доступа: <https://studfile.net/preview/5441313/page:5/>)

Лабораторная работа № 29 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия шлифовального станка. Изучить основные схемы шлифования.

Оборудование и материалы: станок плоско-шлифовальный, кругло-шлифовальный и внутри-шлифовальный.

Порядок выполнения работы: ознакомиться с устройством и принципом действия шлифовальных станков. Изучить работу всех органов. По заданию преподавателя изобразить схему обработки поверхности заготовки на определенном шлифовальном станке. По индивидуальному заданию из таблицы 29.1 изобразить схему обработки поверхности которая указана определенным номером. По своему усмотрению назначать любой из изученных способов обработки резанием – точение, сверление, фрезерование или шлифование.

Общие сведения

Шлифование – процесс обработки заготовок резанием с помощью инструментов (кругов), состоящих из абразивного материала.

Абразивные зерна расположены беспорядочно. При вращательном движении в зоне контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек (до 100000000 в мин).

Процесс резания каждым зерном осуществляется с очень высокой скоростью (до 50 м/сек). Обработанная поверхность представляет собой совокупность микро-следов абразивных зерен и имеет низкую шероховатость.

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью.

Главным движением при шлифовании является вращение шлифовального круга, а перемещение круга относительно детали является движением подачи.

Различают следующие основные схемы шлифования: плоское, круглое, внутреннее (рис. 29.1).

При плоском шлифовании (рис. 29.1, а) возвратно-поступательное движение заготовок необходимо для обеспечения продольной подачи $s_{\text{пр}}$. Для обработки поверхности на всю ширину \varnothing заготовка или круг должны иметь поперечную подачу $D_{\text{пр}}$, которая

осуществляется прерывисто при крайних положениях заготовки в конце продольного хода. Периодически осуществляется движение вертикальной подачи $D_{\text{в}}$, в крайних положениях заготовки в конце поперечного хода.

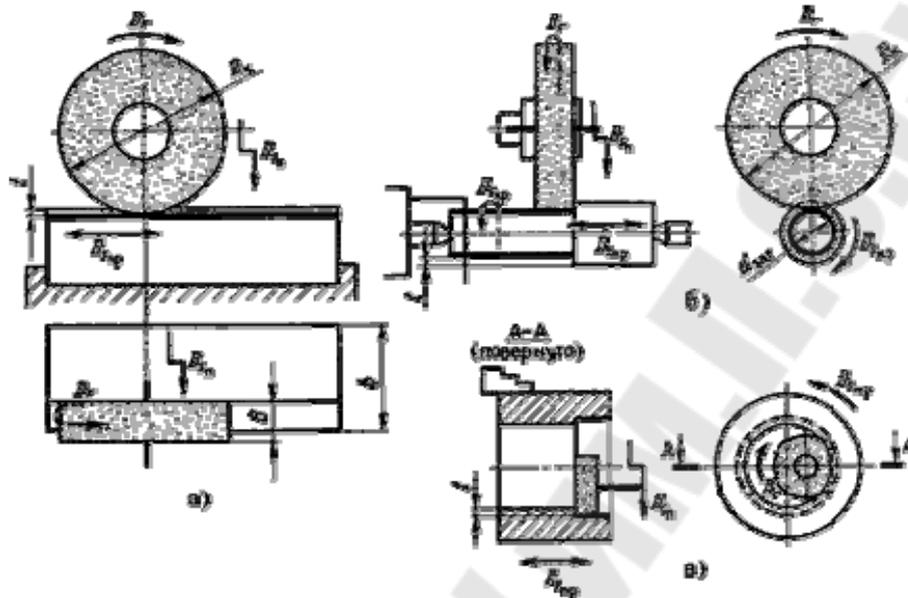


Рис. 29.1. Основные схемы шлифования

Плоское шлифование может осуществляться периферией или торцом шлифовального круга.

При круглом шлифовании (рис. 29.1.б) движение продольной подачи осуществляется возвратно-поступательным перемещением заготовки. Подача $S_{\text{пр}}$ соответствует осевому перемещению заготовки за один ее оборот. Вращение заготовки является движением круговой подачи. Подача $S_{\text{г}}$ на глубину резания происходит при крайних положениях заготовки.

Движения, осуществляемые при внутреннем шлифовании показаны на рис. 29.1, в.

Для выполнения процесса шлифования наружных поверхностей деталей используются кругло-шлифовальные, плоско-шлифовальные и бесцентрово-шлифовальные станки. Для обработки сложных фасонных поверхностей используются специальные ленто-шлифовальные станки.

Общий вид плоскошлифовального станка показан на рис. 29.2. Станина 1 имеет направляющие для стола, между которыми закреплен гидроцилиндр 2. Шток 15 гидроцилиндра перемещает кронштейн 16 и стол 18. Гидропривод станка и резервуар для масла располагают-

ся внутри станины, на задней стенке которой закреплены тумба 12 и электродвигатель 13 гидропривода. Стол 18 вместе с заготовкой совершает продольную подачу. На нем могут располагаться электромагнитная плита 19 либо приспособления. В пазу стола устанавливаются переставные кулачки 17 и 24 для реверса стола. Чугунные козырьки 20, 25 и стальные щитки 3, закрепленные на столе, предохраняют работающих при разрыве круга.

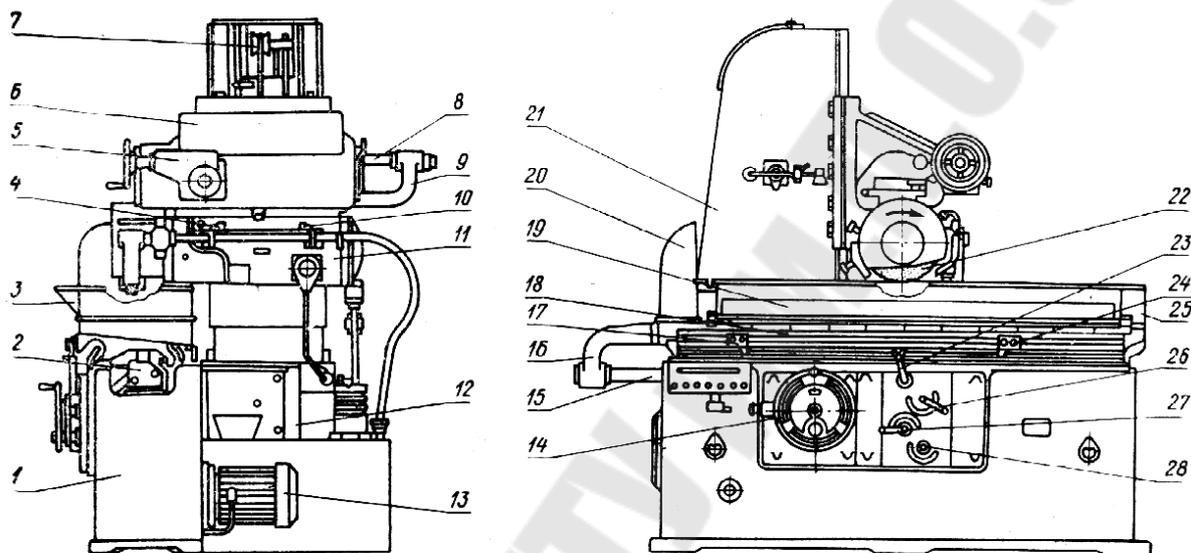


Рис. 29.2. Устройство плоскошлифовального станка.

Стойка 21 жестко закрепляется на тумбе 12 и имеет вертикальные направляющие для перемещения каретки 6 вместе со шлифовальной бабкой 11. Внутри стойки помещен груз для уравнивания каретки бабки и уравнивания люфта между винтом и гайкой.

Каретка 6 служит для опускания и подъема шлифовальной бабки, в ней располагаются гидравлический цилиндр со штоком 8, перемещающие кронштейн 9 и бабку 11 по направляющим. Каретка имеет механизм 5 для ручного и автоматического поперечного перемещения шлифовальной бабки. Шлифовальная бабка 11 служит для поперечных перемещений шлифовального круга 22. В ней размещен электродвигатель, вал которого соединен со шпинделем шлифовального круга. Переставные кулачки 4 и 10 используются для реверсирования поперечной подачи круга. Каретку и шлифовальную бабку можно вертикально перемещать с помощью маховичка 14 с лимбом с ценой деления 0,01 мм.

Для реверсирования стола служит рукоятка 23, для изменения скорости его движения – 26, включения и выключения стола – 27, установки вида и величины поперечной подачи бабки – 28.

Таблица 29.1

Номер варианта	Номер задания	Номер рисунка	Номер поверхности
1	1	29.3	1
2	2	29.4	1
3	3	29.5	1
4	4	29.6	1
5	5	29.7	1
6	6	29.8	1
7	7	29.9	1
8	8	29.10	1
9	9	29.11	1
10	10	29.12	1
11	11	29.13	2
12	1	29.3	2
13	2	29.4	2
14	3	29.5	2
15	4	29.6	2
16	5	29.7	2
17	6	29.8	2
18	7	29.9	2
19	8	29.10	2
20	9	29.11	2
21	10	29.12	3
22	1	29.13	3
23	2	29.3	3
24	3	29.4	3
25	4	29.5	3
26	5	29.6	3
27	6	29.7	3
28	7	29.8	3
29	8	29.9	3
30	9	29.10	3

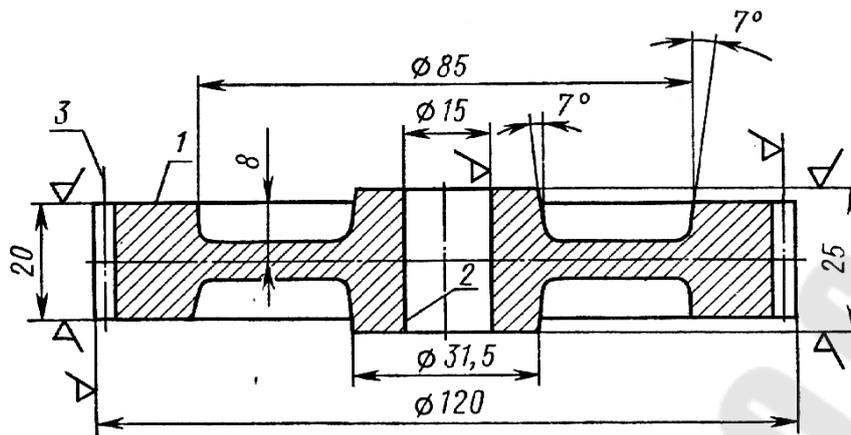


Рис. 29.3. Задание 1

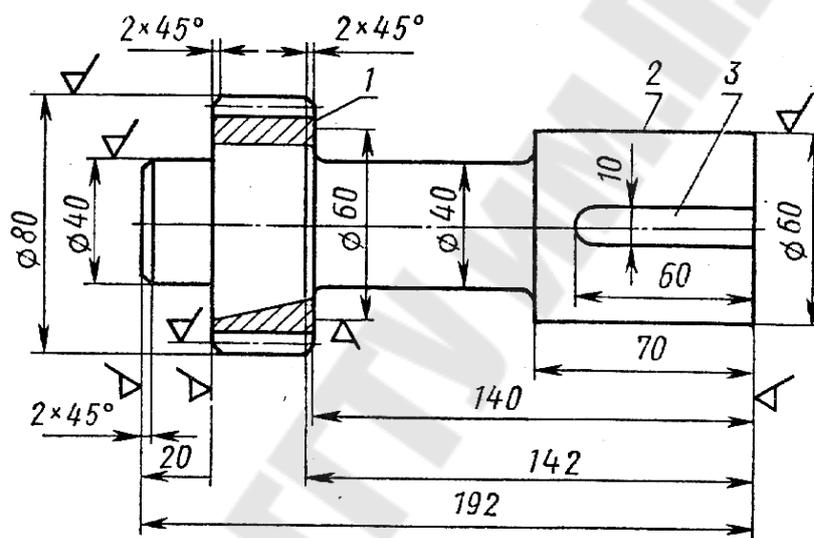


Рис. 29.4. Задание 2

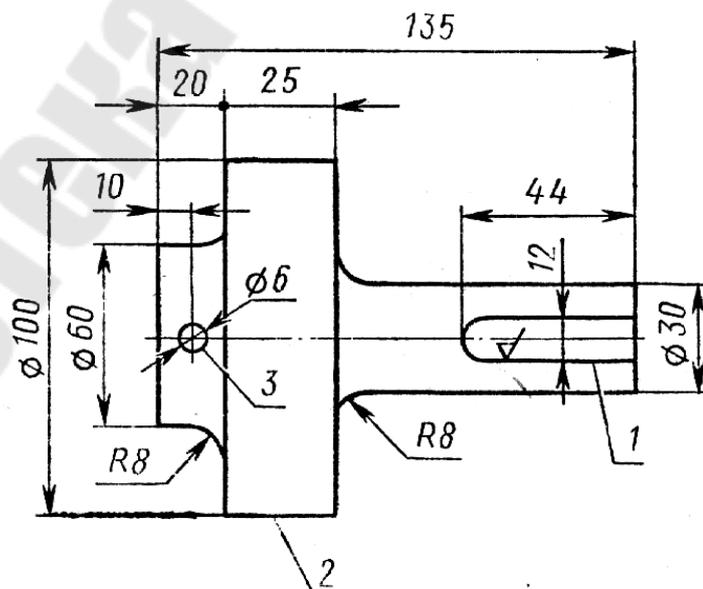


Рис. 29.5. Задание 3

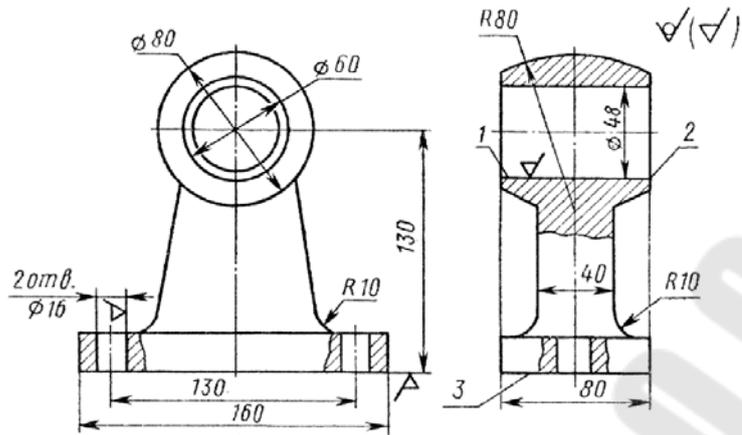


Рис. 29.6. Задание 4

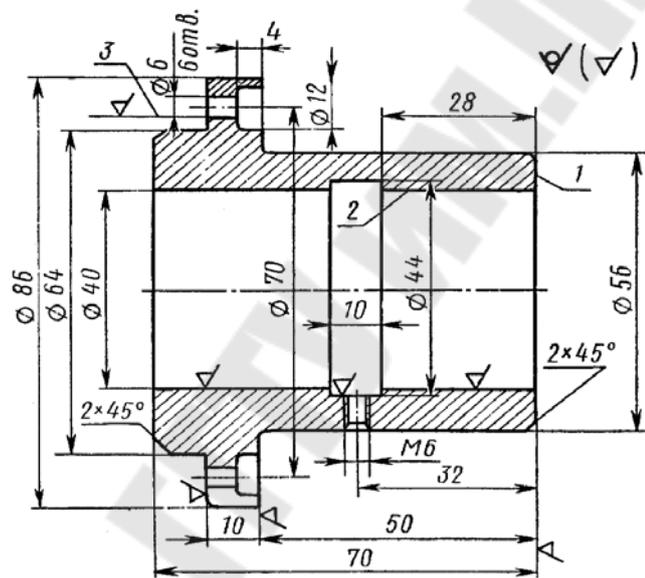


Рис. 29.7. Задание 5

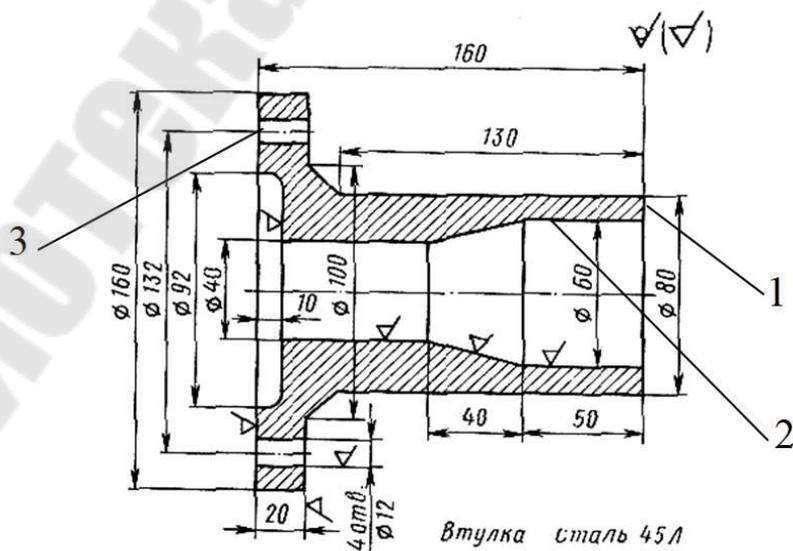


Рис. 29.8. Задание 6

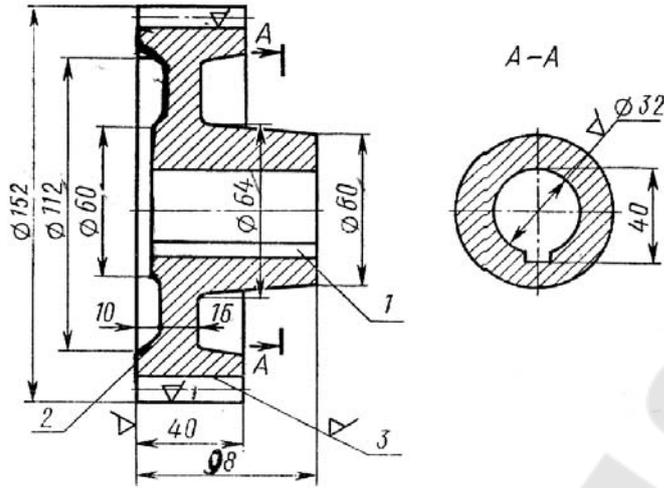


Рис. 29.9. Задание 7

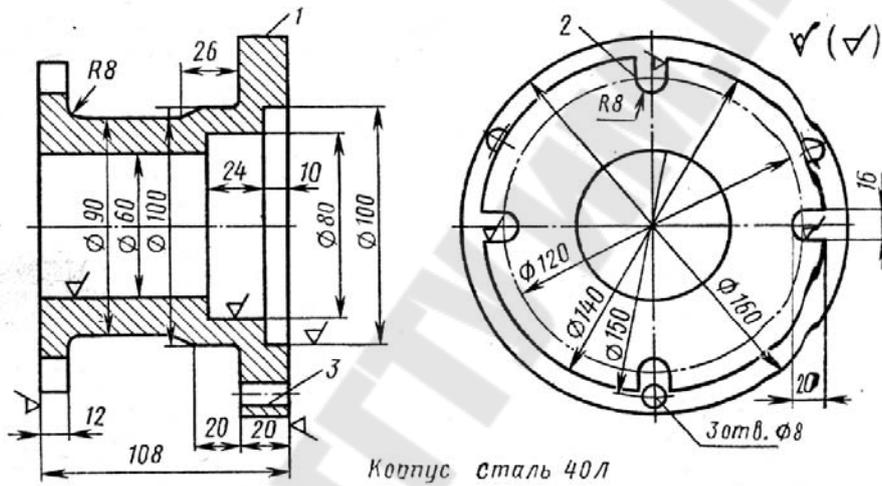


Рис. 29.10. Задание 8

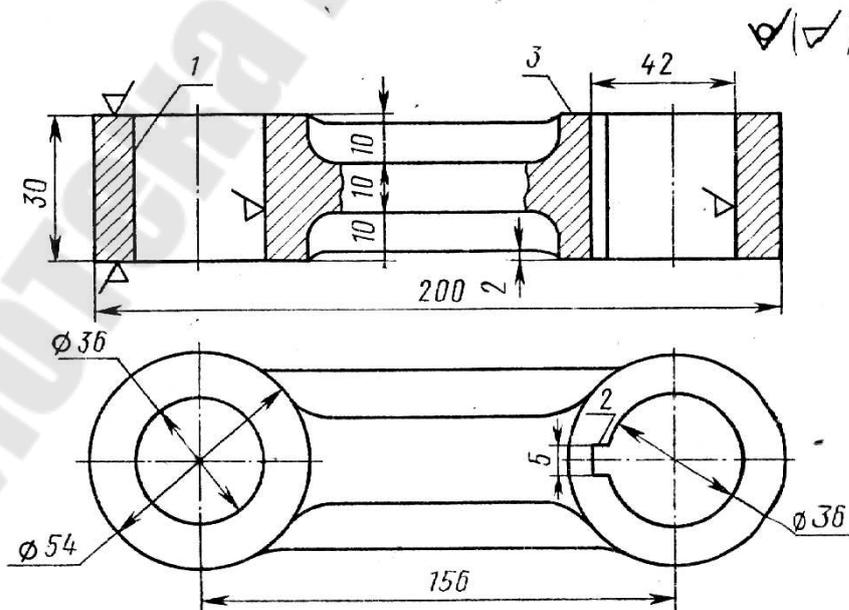


Рис. 29.11. Задание 9

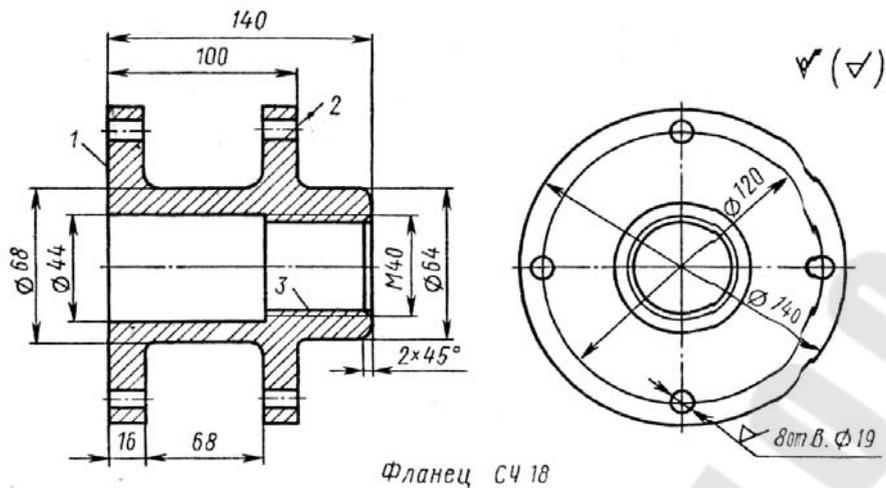


Рис. 29.12. Задание 10

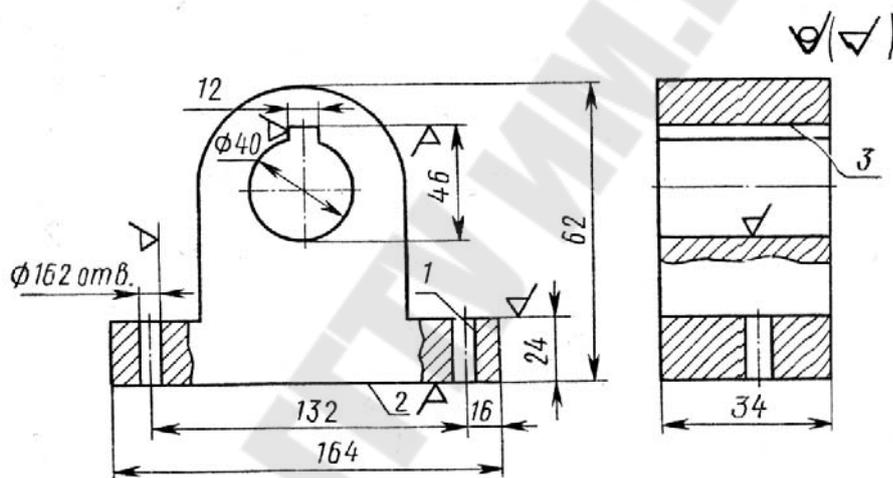


Рис. 29.13. Задание 11

Контрольные вопросы

1. Какие движения резания необходимо совершать для плоского, круглого, внутреннего и безцентрового шлифования?
2. Назовите основные узлы плоскошлифовального станка и объясните их назначение.

Литература

1. Обработка материалов резанием : учебно-методический ОЗ3 комплекс / сост. : Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 272 с. (режим доступа: <https://studfile.net/preview/5441313/page:5/>).

Лабораторная работа № 30 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Цель работы: ознакомиться с методикой определения режима резания для лезвийной обработки токарными резцами.

Порядок проведения

Необходимым условием для назначения режимов резания является наличие разработанного технологического процесса по операциям и переходам, а также паспортных данных станков.

Рекомендуется соблюдать определенную последовательность назначения режимов резания.

1. Выбор режущего инструмента

При выборе режущего инструмента назначают его тип, размеры, материал и геометрические параметры режущей части. Выбор режущего инструмента осуществляют в зависимости от свойств обрабатываемого материала заготовки.

2. Назначение глубины резания

Глубина резания определяется в основном припуском Δ на обработку. Его выгодно удалять за один проход, что и делается при черновой обработке, когда к качеству обработанной поверхности не предъявляются высоких требований. При работе на маломощных станках припуск приходится разбивать на части, делая не один проход, а больше. При получистовой обработке распределение припуска между проходами рекомендуется осуществлять следующим образом: черновой проход с глубиной резания с $t = (0,6-0,75)\Delta$, чистовой ход – $t = (0,3-0,25)\Delta$. Глубина оказывает большое влияние на силы резания, увеличение которых может привести к снижению точности обработки. Поэтому при получистовой обработке она назначается в пределах 0,5–2 мм, при чистовой 0,1–0,4 мм.

3. Выбор подачи

Подача назначается максимально допустимой для данных условий. При черновых проходах она ограничивается прочностью и жесткостью инструмента и механизма подачи станка. При чистовой обработке – шероховатостью и точностью обработанной поверхности. Подачу, как для черновых, так и для чистовых операций определяют по специальным таблицам, составленным на основании производст-

венного опыта и специальных исследований. Затем их уточняют по паспорту станка.

4. Период стойкости

Определяется временем работы инструмента до достижения принятого критерия затупления, т.е. отказа инструмента.

На операциях, обеспечивающих требуемую точность или шероховатость, период стойкости определяется временем, в течение которого инструмент позволяет получить требуемые параметры.

Стойкость инструмента влияет на производительность и себестоимость обработки. Чем большую скорость резания допускает инструмент при одной и той же стойкости, тем выше его режущие свойства, тем он более производителен.

При назначении стойкости учитываются затраты, связанные как с самим инструментом, так и с использованием заданного станка при выполнении на нем данной технологической операции. Средний период стойкости для каждого вида инструмента и условий обработки подсчитывается по соответствующим нормам и приводится в справочниках по режимам резания. Так, для токарных резцов, оснащенных твердым сплавом, при одноинструментной обработке $T = 30-60$ мин, при многоинструментной – $T = 100-400$ мин.

5. Определение скорости резания

Влияние элементов на стойкость инструмента оценивается изменением показателей степени в приведенных выше формулах. Как правило, $\mu > q > k$. Толщина среза a больше влияет на скорость резания, чем ширина среза b .

При определении режимов резания физические параметры, т.е. толщину a и ширину b среза, выражают через технологические – подачу S и глубину резания t . Взаимосвязь между ними при точении выражается зависимостями:

$$a = S \cdot \sin \varphi; \quad b = t / \sin \varphi$$

Толщину и ширину в срезе можно изменять, не меняя глубины резания и подачи, а варьируя углом в плане φ .

Эмпирическая зависимость для определения скорости резания при точении имеет вид:

$$v = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m t^{x_v} S_0^{y_v}} K_v,$$

где C_v – коэффициент, характеризующий обрабатываемый металл и условия его обработки; K_v – коэффициент, учитывающий отличие конкретных условий работы инструмента от принятых за основу; T – стойкость режущего инструмента в мин; m – показатель относитель-

ной стойкости; t – глубина резания, мм; S – подача, мм/об; S_z – подача на зуб, мм/зуб; D – диаметр сверла, зенкера, фрезы, мм; B – ширина фрезерования; z – число зубьев фрезы; q_v, x_v, y_v, U_v, P_v – показатели степени.

Все коэффициенты и показатели степени приводятся в нормативах режимов резания (табл. 30.1 – 30.3, см. ниже).

По найденной скорости резания подсчитывают частоту вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000V}{\pi D},$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности или режущего инструмента, мм.

Подученное значение уточняется по паспорту станка и принимается ближайшее меньшее из имеющихся.

Затем по скорректированному значению n_d подсчитывают действительную скорость резания V_g

6. Проверка правильности выбранных режимов резания

При черновой обработке их проверяют расчетами на прочность и жесткость инструмента и детали, механизма подачи станка, мощности привода главного движения. Для проверки необходимо знать составляющие силы резания. В частности, при проверке привода главного движения необходимо знать главную составляющую силы резания P_z .

Расчет сил резания производится с учетом многих факторов, среди которых решающее значение имеют механические свойства обрабатываемого материала и параметры режима резания: глубина и подача.

Расчетная формула, выражающая зависимости силы P_z от названных факторов, получена экспериментально и одинаково справедлива для всех видов обработки.

$$P_z = C_p \cdot b^{x_p} \cdot a^{y_p},$$

где $y_p = 0,75$ – для чугуна и стали; $x_p = 1,0$.

Так же, как при определении скорости резания, толщину и ширину среза выражают через подачу и глубину резания. Расчетная формула имеет вид:

$$\text{для точения } P_z = 10C_p t^{x_p} S^{y_p} v^n K_p;$$

$$\text{для сверления: } P_0 = 10C_p D^{q_p} S^{y_p} K_p;$$

$$\text{для фрезерования: } P_z = \frac{10C_p t^{x_p} S_z^{y_p} B^{U_{pz}} Z K_p}{D^{q_p} n^{w_p}};$$

Значения всех коэффициентов и показатели степени (C_p , x_p , y_p , K_p и др.) выбирают по справочной литературе (часть из них приводится ниже).

При полустойковой и чистой обработке силы резания незначительны и проверку приводов главного движения станка, прочности и жесткости детали и режущих инструментов не производят.

По вычисленной силе P_z определяют мощность $N_{рез}$ и крутящий момент $M_{кр}$, идущие на резание. При точении, фрезеровании:

$$N_{рез} = \frac{P_z v_D}{60 \cdot 1020}; \quad M_{кр} = P_z D / 2.$$

При сверлении:

$$M_{кр} = C_M D^{q_M} S^{y_M} K_p; \quad N_{рез} = \frac{M_{кр} n}{9750}.$$

Должны выполняться условия

$$N_{дв} \geq N_{рез} / \eta,$$

$$M_{ст} \geq M_{кр},$$

где η – КПД привода главного движения: 0,75; D – диаметр обрабатываемой поверхности, фрезы, сверла, мм; N – мощность электродвигателя, кВт; $M_{ст}$ – допустимый крутящий момент, обуславливающий прочность механизма привода, Н·м.

Если указанное условие не выполняется, необходимо произвести перерасчет. Очевидно, что это достижимо при уменьшении всех параметров режима резания. Уменьшение скорости резания является предпочтительным.

Пример расчета. На токарно-винторезном станке 16К20 производится черновое обтачивание на проход шейки вала $D = 68$ мм до $d = 62 \text{ } h12_{(-0,30)}$ мм. Длина обрабатываемой поверхности $l = 280$ мм; длина вала $l_l = 430$ мм. Заготовка – поковка из стали 40Х с $\sigma_b = 700$ МПа. Способ крепления заготовки – в центрах и поводковом патроне. Технологическая система недостаточно жесткая. Параметр шероховатости поверхности $Rz = 80$ мкм. Эскиз обработки приведен на рис. 30.1.

Необходимо: выбрать режущий инструмент, назначить режим резания (с использованием таблиц нормативов), определить основное время.

Решение.

I. Принимаем токарный проходной резец прямой правый. Материал рабочей части пластины твердый сплав Т5К10; материал корпуса резца сталь 45.

II. Назначаем режим резания.

1. Устанавливаем глубину резания. Припуск на обработку удаляем за один рабочий ход. Глубина резания (равная припуску на сторону)

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{68 - 62}{2} = 3 \text{ мм.}$$

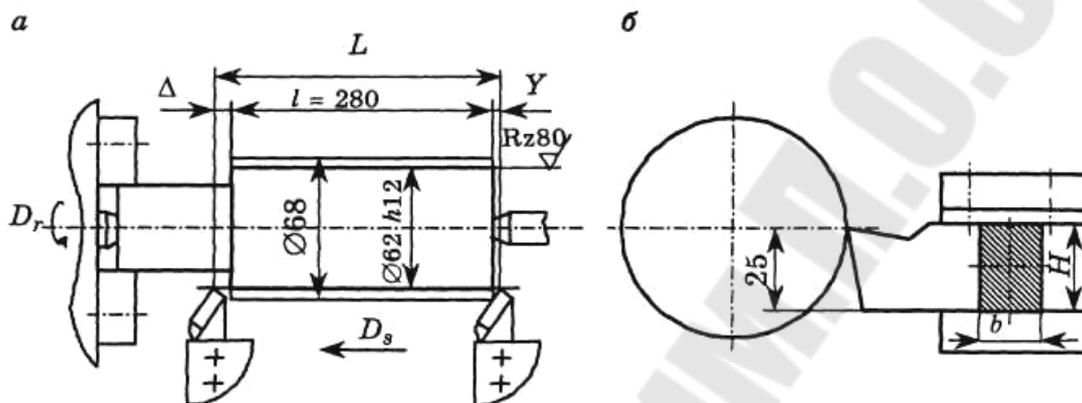


Рис. 30.1. Эскиз обработки к примеру

2. Назначаем подачу. Для обработки заготовки диаметром до 100 мм из конструкционной стали резцом сечением 16x25 мм, при глубине резания до 3 мм рекомендуется подача $S_o = 0,6-0,9$ мм/об. Проверяем подачу по лимитирующим факторам.

Находим максимальное значение подачи, допускаемой заданным параметром шероховатости поверхности. По нормативным данным, для получения $R_z = 80$ мкм при обработке стали и чугуна, угле $\varphi_1 = 15^\circ$ и радиусе r_B до 1,5 мм рекомендуется $S_o = 0,7-0,9$ мм/об.

Находим максимальную подачу, допускаемую прочностью державки резца: для стали с $\sigma_B = 600-920$ МПа; t до 3,5 мм и сечения резца 16x25 мм; $S_{o\text{доп}} = 2$ мм/об. Принимаем, что резец установлен в резцедержателе с нормативным вылетом $l = 1,5H$ (H – высота державки резца). В этом случае поправочный коэффициент на подачу $K_s = 1$.

Находим максимальную подачу, допускаемую прочностью пластины из твердого сплава.

Эта подача зависит от ряда факторов, в том числе от толщины пластины из твердого сплава. Для резца сечением 16x25 мм применяют пластины толщиной $c = 4-5$ мм, принимаем $c = 4$ мм. Для стали с $\sigma = 650-870$ МПа, угла $\varphi = 60^\circ$, t до 4 мм и $c = 4$ мм, $S_{o\text{доп}} = 1,1$ мм/об.

Находим максимальную подачу, допускаемую жесткостью заготовки. Для стали с $\sigma_b = 690-820$ МПа, поля допуска по $h12$, t до 3,8 мм и диаметра заготовки $D = 60$ мм $S_{0\text{доп}} = 2,6$ мм/об.

Учитываем поправочные коэффициенты.

При отношении длины заготовки к диаметру обработанной поверхности

$$\frac{l_1}{D} = \frac{430}{62} \approx 7; \quad K_{L_s} = 4,9.$$

При $\varphi = 60^\circ$ $K_{\varphi_s} = 4,1$. – Остальные поправочные коэффициенты на подачу для заданных условий обработки равны единице, так как обрабатывается поверхность с допуском по $h12$ и установка заготовки – в центрах.

$$\text{Тогда } S_{0\text{доп}} = 2,6 K_{L_s} K_{\varphi_s} = 2,6 \cdot 4,9 \cdot 1,41 = 17,9 \text{ мм/об.}$$

Таким образом, для заданных условий работы подача лимитируется параметром шероховатости обработанной поверхности $R_z = 80$ мкм, так как $S_\varphi = 0,7-0,9$ мм/об оказалась наименьшей из всех допустимых подач.

Полученную подачу окончательно проверяем по осевой составляющей силы резания, допускаемой прочностью механизма подачи станка $P_{x\text{доп}}$. У станка 16К20 $P_{x\text{доп}} = 600$ Н. При заданных условиях работы и подаче $S_0 = 0,7-0,9$ мм/об (прил.4) для стали с $\sigma_b = 680-810$ МПа, t до 3,4 мм, S_0 до 1,8 мм/об, угла $\varphi = 60^\circ$ при работе в диапазоне скоростей главного движения резания 65-155 м/мин (т.е. в диапазоне, применяемом для предварительного точения конструкционной стали резцами из сплава Т5К10) сила $P_z = 205-145$ Н. Для заданных условий обработки $\gamma = +12^\circ$, $\lambda = 0$ поправочные коэффициенты на силу P_z равны единице (там же). Так как $P_x < P_{x\text{доп}}$ ($205 < 600$), то $S_0 = 0,7-0,9$ мм/об не лимитируется прочностью механизма подачи станка. Таким образом, принятая $S_0 = 0,7-0,9$ мм/об является для заданных условий обработки максимальной технологически допустимой. Принимаем среднее значение $S_0 = 0,8$ мм/об.

Корректируем подачу по паспортным данным станка: $S_0 = 0,8$ мм/об.

3. Назначаем период стойкости резца $T = 60$ мин; (поправочный коэффициент на скорость резания равен 1,0). Допустимый износ резца из твердого сплава по задней поверхности для черновой обработки углеродистой и легированной стали $h_3 = 1-1,4$ мм.

4. Определяем скорость главного движения резания, допускаемую резцом. Для $\sigma_b = 630-700$ МПа, t до 4 мм, S_0 до 0,97 мм/об и $\varphi = 60^\circ$ при наружном продольном точении $v_{\text{табл}} = 73$ м/мин. Приведенный в карте поправочный коэффициент K_v для заданных условий обработки не учитываем, так как он не предусмотрен для поковки. Следовательно, $v = 73$ м/мин.

5. Определяем частоту вращения шпинделя, соответствующую найденной скорости v :

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 73}{3,14 \cdot 60} = 342 \text{ мин}^{-1}.$$

Корректируем частоту вращения шпинделя по паспортным данным станка и устанавливаем действительное значение частоты вращения: $n_d = 315 \text{ мин}^{-1}$.

6. Определяем действительную скорость главного резания

$$v_d = \frac{\pi D n_d}{1000} = \frac{3,14 \cdot 68 \cdot 315}{1000} = 67 \text{ м / мин.}$$

7. Определяем мощность, затрачиваемую на резание. Для $\sigma_b = 590-970$ МПа, t до 3,4 мм, S_0 до 0,96 мм/об и $v \approx 67$ м/мин $N_{\text{табл}} = 4,9$ кВт. Для заданных условий обработки приведенный в карте поправочный коэффициент на мощность $K_N = 1$. Следовательно, $N_{\text{рез}} = N_{\text{табл}} = 4,9$ кВт.

8. Проверяем, достаточна ли мощность привода станка. Необходимо, чтобы $N_{\text{рез}} \leq N_{\text{min}}$. Мощность на шпинделе станка по приводу $N_{\text{min}} = N_d \eta$. У станка 16К20 $N_d = 10$ кВт, $\eta = 0,75$; $N_{\text{min}} = 10 \cdot 0,75 = 7,5$ кВт. Следовательно, $N_{\text{рез}} < N_{\text{min}}$. ($4,9 < 7,5$), т.е. обработка возможна.

III. Основное время

$$T_0 = \frac{Li}{nS_0},$$

где i – число рабочих ходов.

Длина рабочего хода резца $L = l + y + \Delta$ мм. Врезание резца $y = t \cdot \text{ctg} \gamma = 3 \cdot \text{ctg} 60^\circ = 3 \cdot 0,58 \approx 1,7$ мм. Перебег резца $\Delta = 1-3$ мм; принимаем $\Delta = 2$ мм. Тогда $L = 280 + 1,7 + 2 = 283,7$ мм; $i = 1$;

$$T_0 = \frac{283,7 \cdot 1}{315 \cdot 0,8} = 1,13 \text{ мин.}$$

Варианты индивидуальных заданий для расчета режимов резания приведены в табл. 3.1. Для назначения подач использовать табл. 30.2; периодов стойкости инструментов - табл. 30.5-30.7; коэффици-

ентов и показателя степени в формулах $v = f(T, S, t...)$ табл. 30.6-30.7. Для расчета сил резания применять табл. 30.6-30.7. Паспортные данные станков даны в табл. 30.8. Расчет выполнять в следующей последовательности:

1. Выбирают режущий инструмент с необходимыми характеристиками.
2. Устанавливают глубину резания t .
3. Определяют подачу S .
4. Назначают наивыгоднейший период стойкости инструмента.
5. Определяют скорость резания v , которая при установленных значениях t и S обеспечивает требуемый период стойкости инструмента.
6. Проверяют правильность выбранных режимов резания.

Таблица. 30.1

Варианты индивидуальных заданий

№ вар	Станок (модель)	Инструмент			Заготовка					
		Тип инструмента	Материал	Диаметр числа зубьев	Материал			Размер обрабатываемой поверхности, мм		Припуск на обраб, мм
					марка	НВ	σ_b , МПа	\varnothing	l	
1	16K20	Резец проходной	T15K6	-	Сталь 20	-	410	80	130	4
2	16K20	Резец проходной	T5K10	-	Сталь 40 ХН	-	700	65	180	3
3	16K20	Резец проходной	P6M5	-	Сталь 40	-	570	100	250	2,5
4	16K20	Резец расточной	BK6	-	СЧ 20	170	-	50	20	2,5
5	16K20	Резец проходной	T15K6		Сталь 25	-	450	70	40	1
6	16K20	Резец проходной	BK8		СЧ25	170	-	90	60	4
7	16K20	Резец проходной	P12		Сталь30	-	490	110	120	3
8	16K20	Резец проходной	BK8		СЧ30	163	-	140	180	2
9	16K20	Резец проходной	P18		Сталь40Х	-	690	20	70	2,5
10	16K20	Резец проходной	BK8		СЧ35	230	-	40	90	4
11	16K20	Резец проходной	P6M5Ф3		Сталь35	-	530	100	150	3
12	16K20	Резец проходной	BK4		СЧ10Н	150	-	75	100	2
13	16K20	Резец проходной	ТТ7К10		Сталь5ХМ	-	820	85	80	1
14	16K20	Резец проходной	BK8		СЧ30	163	-	175	40	2,5
15	16K20	Резец проходной	130K10		Сталь45	-	600	135	50	4

Таблица 30.2

**Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинами
из твердого сплава и быстрорежущей стали**

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Обрабатываемый материал										
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы					
		Подача S , мм/об, при глубине резания t , мм										
		До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12	До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
До 20	От 16x25 до 25x25	0,3-0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 20 до 40	От 16x25 до 25x25	0,4-0,5	0,3-0,4	-	-	-	0,4-0,5	-	-	-	-	-
Св. 40 до 60	От 16x25 до 25x40	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7	-	-	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7	-	-	-
Св. 60 до 100	От 16x25 до 25x40	0,6-1,2	0,5-1,1	0,5-0,9	0,4-0,8	-	0,8-1,4	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9	-	-
Св. 100 до 400	От 16x25 до 25x40	0,8-1,3	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9	-	1,0-1,5	0,8-1,9	0,8-1,1	0,6-0,9	-	-
Св. 400 до 500	От 20x30 до 40x60	1,1-1,4	1,0-1,3	0,7-1,2	0,6-1,2	0,4-1,1	1,3-1,6	1,2-1,5	1,0-1,2	0,7-0,9	-	-
Св. 500 до 600	От 20x30 до 40x60	1,2-1,5	1,0-1,4	0,8-1,3	0,6-1,3	0,1-1,2	1,5-1,8	1,2-1,6	1,0-1,4	0,9-1,2	0,8-1,0	-
Св. 600 до 1000	От 25x40 до 40x60	1,2-1,8	1,1-1,5	0,9-1,4	0,8-1,4	0,7-1,3	1,5-2,0	1,3-1,8	1,0-1,4	1,0-1,3	0,9-1,2	-
Св. 1000	От 30x45 до 40x60	1,3-2,0	1,3-1,8	1,2-1,6	1,1-1,5	1,0-1,5	1,6-2,4	1,6-2,0	1,4-1,8	1,3-1,7	1,2-1,7	-

Таблица 30.3

Поддачи при черновом растачивании на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках
Резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Резец или оправка		Обрабатываемый материал										
Диаметр круглого сечения резца или размеры прямоуг. сечения оправки, мм	Вылет резца или оправки, L , мм	Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы					
		Подача S , мм/об, при глубине резания t , мм										
		2	3	5	8	12	20	2	3	5	8	12
Токарные и токарно-револьверные станки												
10	50	0,08	-					0,12-0,16				
12	60	0,10	0,08					0,12-0,20	0,12-0,18	-		
16	80	0,10-0,20	0,15	0,10	-	-	-	0,20-0,30	0,15-0,25	0,10-0,18	-	-
20	100	0,50-0,30	0,15-0,25	0,12				0,30-0,40	0,25-0,35	0,12-0,25		
25	125	0,25-0,50	0,15-0,40	0,12-0,20				0,40-0,60	0,30-0,50	0,25-0,35		

Окончание табл. 30.3

30	150	0,40- 0,70	0,20- 0,50	0,12- 0,30				0,50- 0,80	0,40- 0,60	0,25- 0,45			
40	200		0,25- 0,60	0,15- 0,40					0,60- 0,80	0,30- 0,80			
40x40	150		0,60- 1,00	0,50- 0,70					0,70- 1,20	0,50- 0,90	0,40- 0,50		
	300		0,40- 0,70	0,30- 0,60					0,60- 0,90	0,40- 0,70	0,30- 0,40		
60x60	150		0,90- 1,20	0,80- 1,00	0,60- 0,80				1,00- 1,50	0,80- 1,20	0,60- 0,90		
	300		0,70- 1,00	0,50- 0,80	0,40- 0,70				0,90- 1,20	0,70- 0,90	0,50- 0,70		
75x75	300		0,90- 1,30	0,80- 1,10	0,70- 0,90				1,10- 1,60	0,90- 1,30	0,70- 1,00		
	500		0,70- 1,00	0,60- 0,90	0,50- 0,70				-	0,70- 1,10	0,60- 0,80		
	800			0,40- 0,70					0,60- 0,80		-		

Таблица 30.4

Значение коэффициента C_{pz}

Обрабатываемый материал	C_{pz}
Сталь σ_B до 600 МПа	0,063
σ_B до 610-850 МПа	0,047
Чугун НВ до 170	0,097
НВ 171 и выше	0,058

Стойкость инструментов при точении

Стойкость в минутах резания каждого инструмента наладки, по которому ведется расчет скорости резания, $T_P = T_M \cdot \lambda$,

где T_M – стойкость в минутах машинной работы станка (см. таблицу). Для многоинструментных работ T_M относится к лимитирующим по стойкости инструментам наладки; λ – коэффициент времени резания (расчет см. ниже).

Примечания.

1. В случаях, когда $\lambda > 0,7$, можно, не рассчитывая принимать $T_P \approx T_M$.

2. Значения T_P для обработки стальных деталей твердосплавными инструментами принимать не более 300 мин, несмотря на результаты расчета по приведенной формуле.

Для одношпиндельных станков значения T_M представлены в табл. 30.5.

Таблица 30.5

Стойкость инструментов при точении

№ п/п	Группа наладки	Характеристика	Рекомендуемые значения при числе инструментов в наладке								
			1	3	5	8	10	15	20	Н/6 20	
I	Наладки с равномерной заточкой инструментов	Диаметры обрабатываемых поверхностей отличаются не более, чем в 1,2 раза; количество фасочных и подрезных резцов не более 20 % от общего количества инструментов наладки	50	150	200	300	350	400			

Окончание табл. 30.5

II	Средние наладки по равномерности загрузки инструментов	Все наладки, не относящиеся к I и III группам		100	140	200	230	260	300	350
III	Наладки с большой разницей в загрузке инструментов	Диаметры обрабатываемых поверхностей отличаются более чем в 2 раза, количество фасочных и других мало нагруженных инструментов, свыше 50 % от общего количества инструментов наладки	70	90	110	130	150	170	180	

Таблица 30.6

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
1	2	3	4	5	6	7
<i>Обработка конструктивной углеродистой стали $\sigma_B = 750$ МПа</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6*	S до 0,3	420		0,20	0,20
		S св. 0,3 до 0,7	350	0,15	0,35	
		$S > 0,7$	340		0,45	
То же, резцами с дополнительным лезвием	Т15К6*	$S \leq t$	292	0,30	0,15	0,18
		$S > t$		0,15	0,30	
Отрезание	Т5К10*	-	47		0,80	0,20
	Р18**		23,7	-	0,66	0,25
Фасонное точение	Р18**			22,7	-	0,50
	Т15К6*		244	0,23	0,30	0,20
Нарезание крепежной резьбы	Р6М5	Черновые ходы:				
		$P \leq 2$ мм	14,8	0,70	0,30	0,11
		$P > 2$ мм	30	0,60	0,25	0,08
		Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	0,13
Вихревое нарезание резьбы	Т15К6*	-	2330	0,50	0,50	0,50

Окончание табл. 30.6

1	2	3	4	5	6	7
<i>Обработка серого чугуна, HB 190</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	$S \leq 0,40$ $S > 0,40$	292 243	0,15	0,20 0,40	0,20
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	ВК6**	$S \geq t$ $S < t$	324 324	0,40 0,20	0,20 0,40	0,28 0,28
Отрезание	ВК6*	-	68,5	-	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы			83	0,45	-	0,33
<i>Обработка ковкого чугуна, HB 150</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК8*	$S \geq 0,40$ $S < 0,40$	317 215	0,15 0,15	0,20 0,45	0,20 0,20
Отрезание	ВК6*	-	86	-	0,40	0,20
<i>Обработка медных гетерогенных сплавов средней твердости, HB 100-140</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$S \leq 0,20$ $S > 0,20$	270 182	0,12	0,25 0,30	0,23
<i>Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_B = 100-200$ МПа, HB ≤ 65; дюралюминия, $\sigma_B = 300-400$ МПа, HB ≤ 100</i>						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$S \leq 0,20$ $S > 0,20$	485 328	0,12	0,25 0,50	0,28

* Без охлаждения.

** С охлаждением.

Примечания:

1. При внутренней обработке (расточивании, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимать скорость резания, равную скорости резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9.

2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.

3. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами из твердого сплава Т15К6 конструкционных сталей и стальных отливок вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4.

4. При фасонном точении глубокого и сложного профиля на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,85

5. При обработке резцами из быстрорежущей стали термообработанных сталей скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,95 – при нормализации, 0,9 – при отжиге, 0,8 – при улучшении.

6. Подача S в мм/об.

Таблица 30.7

Значения коэффициента C_p и показателей степени в формулах силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих												
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x				
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Конструкционная сталь и стальные отливки, $\sigma_b = 750$ МПа	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1,0	0,5	-0,4	
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,90	0,90										355
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,8	0	173	0,7 3	0,6 7	0	-	-	-		-
		Нарезание резьбы	148	-	1,7	0,71	-	-	-	-	-	-	-		-
	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное точение, подрезание и растачивание	200	1,0	0,75	0	-	-	-	-	67	1,2	0,65	0	
		Отрезание и прорезание	247		1,0										
		Фасонное точение	212		0,75										
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	204	0,75	0	-	-	-	-	-	-	-	-		

Окончание табл. 30.7

Серый чугун, HB 190	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	1,0	0,7 5	0	54	0,9	0,7 5	0	46	1,0	0,4	0
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	123		0,85		61	0,6	0,5		24	1,05	0,2	
		Нарезание резьбы	103	-	1,8	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-
Серый чугун, HB 190	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Ковкий чугун, HB 150	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	81		0,75		43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
		Отрезание и прорезание	100		1,0		88				40	1,2	0,65	
Медные гетерогенные сплавы, HB 120	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	55	1,0	0,66									
		Отрезание и прорезание	75	1,0										
Алюминий и силумин	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание, подрезание	40	1,0	0,75	0								
		Отрезание и прорезание	50		1,0	-								

Таблица 30.8

Модель станка	16К20
Параметры станка	
Наибольший размер обработки, мм	Ø 200x200
Значения частот вращения шпинделя, мин.	12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200; 250; 315; 400; 500; 680; 800; 1000; 1250; 1600
Значения продольных и поперечных* подач мм/об для станка мод.16К20, вертикальных подач для станка мод.2Н135 продольных и поперечных для станка мод.6Р82Ш, мм/мин	0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,4; 2,8; 3,2; 4; 4,8; 5,6
Мощность двигателя главного привода, кВт	10
Наибольший допустимый крутящий момент на шпинделе, нм	1300

Примечание: *На станке 16К20 поперечные подачи в 2 раза меньше указанных в таблице.

Контрольные вопросы

1. Какие поверхности деталей машин можно обрабатывать на токарных станках?
2. Какие движения совершают шпиндель, каретка, поперечный и продольный суппорты токарного станка?
3. Виды и назначение токарных резцов.
4. Какие инструменты для получения отверстий?
5. Назначение сверла и развертки.
6. Какие движения совершает шпиндель сверлильного станка?

Лабораторная работа № 31

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить маркировку, свойства, выбор и область применения инструментальных материалов.

Порядок выполнения работы: изучить маркировку, назначение и свойства инструментальных материалов, по заданию преподавателя расшифровать предложенные марки инструментальных материалов и предложить их назначение. Указать необходимую термическую обработку и свойства.

Общие сведения

Инструментальные материалы должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, достаточной прочностью и вязкостью (для инструментов ударного действия).

Режущие кромки могут нагреваться до температуры 500...900°С, поэтому важным свойством является теплостойкость, т. е., способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве (красностойкость).

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435)

Инструментальные углеродистые стали в соответствии с ГОСТ 1435–90 маркируют буквой «У» и числом, указывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента. Для изготовления инструмента применяют качественные стали марок У7–У13 и высококачественные стали марок У7А–У13А. В составе последних понижено содержание вредных примесей – серы и фосфора.

Стали У7...У13А – обладают высокой твердостью, хорошо шлифуются, дешевы и недефицитны.

Из сталей марок У7, У8А изготавливают инструмент для работы по дереву и инструмент ударного действия, когда требуется повышенная вязкость – пуансоны, зубила, штампы, молотки.

Стали марок У9...У12 обладают более высокой твердостью и износостойкостью – используются для изготовления сверл, метчиков, фрез.

Сталь У13 обладает максимальной твердостью, используется для изготовления напильников, граверного инструмента.

Для снижения твердости и создания благоприятной структуры, все инструментальные стали до изготовления инструмента подвергаются отжигу.

Для заэвтектоидных сталей проводят сфероидизирующий отжиг, в результате которого цементит вторичный приобретает зернистую форму. Регулируя скорость охлаждения можно получить любой размер зерен.

Окончательная термическая обработка – закалка с последующим отпуском.

Для доэвтектоидных сталей (содержание углерода 0,3...0,8%) проводят полную закалку, а для заэвтектоидных (содержание углерода >0,8%) – неполную. Структура закаленных доэвтектоидных сталей – мартенсит, заэвтектоидных мартенсит + карбиды.

Температура отпуска выбирается в зависимости от твердости, необходимой для инструмента.

Для инструментов ударного действия, требующих повышенной вязкости, из сталей У7, У8 отпуск проводят при температуре 280...300°C, что обеспечивает твердость HRC 56...58 и достаточную вязкость.

Для напильников, метчиков, плашек отпуск проводят при температуре 150...200°C, при этом обеспечивается получение максимальной твердости – HRC 62...64.

Основными недостатками углеродистых инструментальных сталей является их невысокая прокаливаемость (5...10 мм), низкая теплостойкость (до 200°C), то есть инструменты могут работать только при невысоких скоростях резания ($v_p \sim 200$ м/мин).

Легированные инструментальные стали

Легированные инструментальные стали, применяемые для изготовления режущего инструмента, содержат 0,9...1,4 % углерода. Его содержание указывается цифрой в десятых долях процента в начале марки стали. Если цифра в начале марки стали, отсутствует, то количество углерода $\approx 1\%$. В качестве легирующих элементов добавляют хром (Х), вольфрам (В), ванадий (Ф), марганец (Г), кремний (С), ниобий (Б), молибден (М), титан (Т), кобальт (К), маркируя их буквами, приведенными в скобках. Содержание легирующего элемента в целых долях процента указывается после соответствующей буквы. Если цифра отсутствует, то массовая доля элемента не превышает 1,5%. Исключение составляет маркировка азота (А), его количество указы-

вается в десятых долях процента. Общее содержание легирующих элементов обычно не превышает 10%.

Высокая твердость и износостойкость легированных сталей в основном определяются высоким содержанием углерода. Легирование используется для повышения закаливаемости и прокаливаемости, сохранения мелкого зерна, повышения прочности и вязкости.

Термическая обработка включает закалку и отпуск.

Закалку проводят с температур 800...1000°C в масло непрерывным или ступенчатую охлаждением. В последнем случае уменьшается возможность коробления и образования закалочных трещин.

Отпуск проводят низкотемпературный, при температуре 150...200°C, что обеспечивает твердость HRC 61...66. Иногда, для увеличения вязкости, температуру отпуска увеличивают до 300°C, но при этом наблюдается снижение твердости HRC 55...60.

Для деревообрабатывающего инструмента из сталей 6ХС и 9ХФ рекомендуется изотермическая закалка, значительно улучшающая вязкость.

Повышенное содержание кремния (сталь 9ХС) способствует увеличению прокаливаемости до 40 мм и повышению устойчивости мартенсита при отпуске. Недостатками сталей, содержащих кремний, являются чувствительность их к обезуглероживанию при термообработке, плохая обрабатываемость резанием и деформированием из-за упрочнения феррита кремнием.

Повышенное содержание марганца (стали ХВГ, 9ХВСГ) способствует увеличению количества остаточного аустенита, что уменьшает деформацию инструмента при закалке. Это особенно важно для инструмента, имеющего большую длину при малом диаметре, например, протяжек.

Хром увеличивает прокаливаемость и твердость после закалки.

Теплостойкость легированных сталей достигает 300-350°C, что позволяет проверить обработку резанием со скоростями до 25 м/мин.

Быстрорежущие стали

Быстрорежущие стали маркируют буквой «Р» (rapid – быстрый) и числом, показывающим среднее содержание W, а также последующими буквами и цифрами, указывающими другие легирующие элементы и их количество, как в стандартной маркировке легированных сталей. В марках быстрорежущих сталей как правило не указывают углерод и хром (их массовая доля $\approx 1\%$ и $\approx 4\%$ соответственно), а

также молибден и ванадий если количество каждого из них не превышает 1 %.

Стали получили свое название за свойства. Вследствие высокой теплостойкости (550...650°C), изготовленные из них инструменты могут работать с достаточно высокими скоростями резания.

Твердость стали после закалки и трехкратного отпуска составляет 64...65 HRC. Структура стали после термообработки состоит из мартенсита отпуска и карбидов.

Основными видами режущих инструментов из быстрорежущей стали являются резцы, сверла, долбяки, протяжки, метчики машинные, ножи для резки бумаги. Часто из быстрорежущей стали изготавливают только рабочую часть инструмента.

Скорость резания инструментом из быстрорежущих сталей достигает 100 м/мин.

Твердые сплавы

В соответствии с ГОСТ 3882–74 выпускают три группы твердых сплавов: вольфрамовая (однокарбидная), титановольфрамовая (двухкарбидная), и титанотанталовольфрамовая (трехкарбидная).

Твердость и прочность твердых сплавов зависят от количества связующей фазы (кобальта) и величины зерен карбидов. Чем крупнее зерна карбидов, тем выше прочность. Твердые сплавы отличаются большой износостойкостью и теплостойкостью.

Сплавы вольфрамовой группы (WC–Co) имеют наибольшую прочность, но более низкую твердость, чем сплавы других групп. Они теплостойки до 800 °C. Их применяют в режущем инструменте для обработки чугунов, сталей, цветных сплавов и неметаллических материалов. Повышенная износостойкость и сопротивляемость ударам сплавов группы ВК определяет их применение в горном инструменте и для изготовления штампов, пуансонов, матриц, фильер и т. д. Наиболее распространенными сплавами группы ВК являются сплавы марок ВК3, ВК6, ВК8, ВК20, где число показывает содержание кобальта в процентах, остальное – карбиды вольфрама WC.

Сплавы группы ТК (WC + TiC + Co) например Т30К6, Т14К8 – первое число показывает содержание карбидов титана в процентах, второе – содержание кобальта в процентах. Сплавы этой группы лучше противостоят изнашиванию, обладают большей твердостью, тепло- и жаростойкостью, стойкостью к коррозии, но меньшей теплопроводностью и большей хрупкостью. Используются на средних и высоких скоростях резания.

Третью группу образуют сплавы системы (WC–TiC–TaC–Co), например ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 – первое число показывает содержание карбидов титана и тантала в процентах, второе – содержание кобальта в процентах. В этих сплавах структура карбидной основы представляет собой твердый раствор (Ti, Ta, W)C, и избыток WC. Сплавы этой группы отличаются от предыдущей большей прочностью, лучшей сопротивляемостью вибрациям и выкрашиванию. Они применяются в наиболее тяжелых условиях резания – при черновой обработке стальных поковок, отливок, а также труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Сплавы с малым количеством кобальта обладают повышенной твердостью и износостойкостью, но минимальной прочностью. Поэтому их используют для чистового точения (BK3, T30K4, TT8K6).

Сплавы с повышенным содержанием кобальта используют для чернового точения (BK8, T14K8, TT7K12).

Сплав BK20 используют для штампов, что повышает их износостойкость.

Износостойкость инструментов из твердых сплавов превышает износостойкость инструментов из быстрорежущих сталей в 10...20 раз и сохраняется до температур 800...1000°C.

Алмаз как материал для изготовления инструментов

80 % добываемых природных алмазов и все синтетические алмазы используются в качестве инструментальных материалов.

Основное количество алмазов используется в виде алмазного порошка для изготовления алмазно-абразивного инструмента – шлифовальных кругов, притиров, хофов, надфилей и др., для обработки особо твердых металлов и горных пород. Большое значение имеют заточные круги для твердосплавного инструмента, это увеличивает производительность труда и срок службы инструмента. Повышение стойкости твердосплавного инструмента обеспечивается высокой чистотой (отсутствие зазубрин, мелких трещин) лезвия инструмента.

Алмазный инструмент изготавливается в виде алмазосодержащих кругов с бакелитовой или металлической связкой.

Также изготавливают алмазные резцы (для обработки корпусов часов), фильеры (для волочения проволоки из высокотвердых и драгоценных металлов) и др.

Абразивные инструменты и их маркировка

Все абразивные инструменты имеют свою маркировку. В маркировке абразивного инструмента указывается природа абразивного материала, размер его зерен (зернистость) и зерновой состав (содер-

жание основной фракции), твердость инструмента, природа и свойства связки, класс точности и класс неуравновешенности круга.

Так, например, маркировка абразивного круга может быть:

25А 16 П СМ2 8 К8 Б 3,

где

25А – шлифовальный материал-электрокорунд белый,

16 – зернистость (160-200 мкм.),

П – зерновой состав (содержание основной фракции 55%),

СМ2 – твердость круга,

8 – номер структуры,

К8 – связка керамическая,

Б – класс точности,

3 – класс неуравновешенности круга.

Кроме этого на абразивном круге указывается обозначение его формы, размеры и максимальная окружная скорость (скорость резания) в метрах в секунду

В качестве шлифовальных материалов применяются:

- на основе кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 - нормальный электрокорунд (марки **13А, 14А и 15А**), электрокорунд белый (**23А, 24А, 25А**), хромистый электрокорунд (**33А и 34А**), монокорунд (**43А, 44А**);
- на основе карбида кремния SiC- карбид кремния черный (**53С, 54С, 55С**) и карбид кремния зеленый (**63С, 64С**);
- природный алмаз (**А1, А2, А3, А5, А8**);
- синтетический алмаз (**АС2, АС4, АС6, АС15, АС20**).

В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы делятся на четыре группы: шлифзерно (2000-160 мкм), шлифпорошки (125-40 мкм), микрошлифпорошки (63-14 мкм) и тонкие микропорошки (10-3 мкм). В номере зернистости размер зерен основной фракции указывается в сотых долях миллиметра.

Содержание основной фракции обозначается буквенными индексами: **В** (высокое), **П** (пониженное), **Н** (низкое) и **Д** (допустимое).

Твердость абразивного инструмента зависит от прочности связки и характеризует способность связки удерживать зерна шлифовального материала. Установлены семь степеней твердости инструментов: весьма мягкие (**ВМ1, ВМ2**), мягкие (**М1, М2, М3**), среднемягкие (**СМ1, СМ2**), средние (**С1, С2**), среднетвердые (**СТ1, СТ2, СТ3**), твердые (**Т1, Т2**), весьма твердые (**ВТ**) и чрезвычайно твердые (**ЧТ**).

Номер структуры круга показывает объемное содержание шлифовального материала. С увеличением номера от 1 до 16 содержание шлифовального материала уменьшается, а объем пор увеличивается.

Связки абразивных инструментов могут быть: керамические (*К1-К10*), бакелитовые (*Б, Б1-Б4*), вулканитовые (*В, В1-В5*), металлические (*М1, МК, МВ1*), глифталевые (*Г*) и другие.

Шлифовальные круги изготавливаются трех классов точности (*АА, А и Б*) и четырех классов неуравновешенности (*1, 2, 3 и 4*).

При шлифовании вращательное главное движение резания всегда придается режущему инструменту – шлифовальному кругу. Скорость его является скоростью резания, измеряемой, в отличие от всех других видов обработки резанием, в метрах в секунду. По форме обрабатываемой поверхности шлифование может быть плоским или круглым.

Практическая часть

Получить у преподавателя карточку с марками инструментальных материалов.

Расшифровать маркировку и объяснить назначение каждого из материалов.

Контрольные вопросы

1. Когда применяются инструментальные углеродистые стали?
2. Как маркируются инструментальные углеродистые стали и какие виды ТО применяются для получения требуемой твердости?
3. Маркировка легированных инструментальных сталей и применяемые виды ТО для получения требуемой твердости.
4. Как маркируются быстрорежущие стали и применяемые виды ТО?
5. Как маркируются твердые сплавы и до каких температур сохраняется их износостойкость?
6. Как маркируются абразивные инструменты и область применения?

Литература

1. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов / под общ. ред. А.М.Дальского. – Москва: Машиностроение, 1985. - 448 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя / Косилова А.Г. [и др.] ; под ред А.Г.Косиловой. - 1 том, 1986. - 655 с., 2 том, 1985. - 495 с.

3. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / Панов А.А. [и др.] ; под ред. А.А.Панова. – Москва: Машиностроение, 1988. - 736 с.

4. Нефедов Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущий инструмент / Н.А. Нефедов, К.А. Осипов – Москва: Машиностроение, 1990. - 444 с.

5. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник. / В.И.Баранов [и др.] ; под ред В.И.Баранова – Москва: Машиностроение, 1996. - 399 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ	4
Лабораторная работа № 1. Изучение свойств формовочных смесей и изготовление литейных форм из песчано-глинистых материалов	8
Лабораторная работа № 2. Изучение литейных свойств металлов..	19
Лабораторная работа № 3. Получение изделий методом центробежного литья	28
Лабораторная работа № 4. Получение изделий методами литья по выплавляемым моделям и выжигаемым тонкостенным моделям	35
Лабораторная работа № 5. Получение изделий методом литья в кокиль и по газифицируемым моделям	41
Лабораторная работа № 6. Изучение технологии изготовления стержней.....	50
Лабораторная работа № 7. Изучение огнестойкости стержневых смесей	55
Лабораторная работа № 8. Разработка технологического процесса изготовления отливки	59
Лабораторная работа № 9. Термическая обработка отливок	92
Лабораторная работа № 10. Изучение вырубki листового материала	99
Лабораторная работа № 11. Изучение вытяжки листового материала	106
Лабораторная работа № 12. Изучение формообразования поковки и свободной ковки	113
Лабораторная работа № 13. Разработка технологии получения поковок горячей объемной штамповкой	129
Лабораторная работа № 14. Сварка металлов. Изучение технологии ручной дуговой сварки (РДС).....	147
Лабораторная работа № 15. Изучение технологии полуавтоматической дуговой сварки в углекислом газе (CO ₂)	164
Лабораторная работа № 16. Изучение процесса точечной сварки	173
Лабораторная работа № 17. Изучение термической резки и газовой сварки	181

Лабораторная работа № 18. Изучение сварочных деформаций и напряжений	194
Лабораторная работа № 19. Микроструктура сварного соединения	199
Лабораторная работа № 20. Изучение процесса газопламенной наплавки	207
Лабораторная работа № 21. Изучение процесса сварки пластмасс	215
Лабораторная работа № 22. Технология пайки металлов и сплавов	228
Лабораторная работа № 23. Изготовление деталей из композиционных материалов со слоистыми и тканевыми наполнителями.....	237
Лабораторная работа № 24. Технология изготовления резиновых изделий	245
Лабораторная работа № 25. Общие сведения об обработке металлов резанием.....	248
Лабораторная работа № 26. Технология изготовления деталей на токарных станках.....	258
Лабораторная работа № 27. Технология изготовления деталей на сверлильных станках.....	264
Лабораторная работа № 28. Технология изготовления деталей на фрезерных станках	270
Лабораторная работа № 29. Технология изготовления деталей на шлифовальных станках	277
Лабораторная работа № 30. Определение режима резания лезвийным инструментом.....	285
Лабораторная работа № 31. Технологические особенности применения различных инструментальных материалов	305

Степанкин Игорь Николаевич

**ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 07 02 «Производство изделий
на основе трехмерных технологий»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 30.03.21.

Рег. № 37Е.
<http://www.gstu.by>