

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Технический сервис»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ
АВТОМАТИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Направление подготовки (специальность) 27.03.04 Управление в технических системах

**Профиль образовательной программы Системы и средства автоматизации
технологических процессов**

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Конспект лекций	3
1.1	Лекция № 1 Основные обрабатываемые металлы и сплавы.	3
1.2	Лекция № 2 Основы литейного производства и обработки металлов давлением (ОМД).	12
1.3	Лекция № 3 Технологические особенности сварки сталей.	28
1.4	Лекция № 4 Теоретические и практические основы обработки материалов резанием (ОМР).	41
1.5	Лекция № 5 Механизация и автоматизация технологических процессов обработки металлов.	47
1.6	Лекция № 6 Автоматизация сварочного производства.	52
1.7	Лекция № 7-8 Автоматизация технологических процессов обработки металлов на металлорежущих станках.	59
2.	Методические указания по выполнению лабораторных работ	67
2.1	Лабораторная работа № ЛР-1 Тема «Анализ диаграммы состояния сплавов Fe-Fe ₃ C»	67
2.2	Лабораторная работа № ЛР-2 Тема: «Цветные металлы и сплавы»	76
2.3	Лабораторная работа № ЛР-3 Тема: «Разработка технологического процесса изготовления отливки в песчаной форме»	88
2.4	Лабораторная работа № ЛР-4 Тема: «Разработка технологического процесса изготовления поковки»	96
2.5	Лабораторная работа № ЛР-5 Тема: «Проектирование технологического процесса ручной электродуговой сварки»	103
2.6	Лабораторная работа № ЛР-6 Тема: «Контактная точечная сварка»	113
2.7	Лабораторная работа № ЛР-7 Тема: «Изучение оборудования и технологии сварки в среде углекислого газа»	119
2.8	Лабораторная работа № ЛР-8 Тема: «Вибродуговая наплавка»	129
2.9	Лабораторная работа № ЛР-9 Тема: «Влияние элементов режима резания на тангенциальную оставляющую силы резания и на температуру в зоне резания при точении»	139
2.10	Лабораторная работа № ЛР-10 Тема: «Конструкция и геометрия токарного резца, сверла, зенкера и развертки»	148
2.11	Лабораторная работа № ЛР-11 Тема: «Устройство и кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 1К62»	161
2.12	Лабораторная работа № ЛР-12 Тема: «Разработка технологической карты для механической обработки металлов»	168
2.13	Лабораторная работа № ЛР-13 Тема: «Электронный токарный станок с функциями ЧПУ Smart-turn 7/200 1000»	186
2.14	Лабораторная работа № ЛР-14 Тема: «Разработка технологического процесса изготовления детали на электронном токарном станке Smart-turn 7/200 1000»	198
2.15	Лабораторная работа № ЛР-15 Тема: «Ввод информации на изготовление детали на электронном токарном станке Smart-turn 7/200 1000»	211

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция № 1 (2 часа)

Тема: «Основные обрабатываемые металлы и сплавы.»

1.1.1 Вопросы лекции

1. Железо и его сплавы.
- 2, Диаграмма состояния сплавов системы Fe-C.
3. Цветные металлы и их применение

1.1.2 Краткое содержание вопросов

В технике наиболее широко применяются сплавы на основе железа, а из них – сплавы железа с углеродом. Стали и чугуны составляют 95% используемых в мире конструкционных материалов. Для получения заданных свойств в них вводят легирующие элементы. Сплавы могут обеспечить не только разнообразные, но и лучшие свойства, чем чистое железо.

1. Железо и его сплавы

Чистое железо – металл серебристого цвета, мягкий, благородный. Однако, небольшая доля примесей придает ему склонность к ржавлению. В настоящее время можно получить в значительных объемах железо 99,999% чистоты.

Технические сорта железа (железо Армко) содержат 99,8 – 99,9% Fe, т.е. с примесями до 0,2%, из которых углерода до 0,02%, меди до 0,1% и еще десяток других элементов с малой концентрацией.

Температура плавления железа 1539 °С. При содержании примесей 0,01 – 0,1% железо имеет следующие механические характеристики: твердость НВ 70–80, предел прочности $\sigma_b = 200-250$ МПа, относительное удлинение $\delta = 50\%$. Железо полиморфно и имеет четыре модификации, из которых рассмотрим подробно две основные – α (ОЦК) и γ (ГЦК решетка) (рис. 1).

Fe_α существует ниже 911°С. Период решетки ОЦК 0,287 нм. Плотность $P_\alpha = 7,86$ г/см³. Ниже 768°С (точка Кюри) железо ферромагнитно (магнитно), выше (Fe_β) – оно парамагнитно. В ОЦК решетке имеется 12 свободных мест в середине ребер. Диаметр такого свободного места, так называемой поры, 0,062 нм.

Fe_γ существует при температуре 911 – 1392 °С. Период решетки ГЦК 0,364 нм. Плотность $P_\gamma = 8,0$ г/см³. Пора в центре куба больше, чем в ОЦК. Несмотря на тепловое расширение, объем γ металла меньше, чем объем Fe_α примерно на 1%, т.к. плотность упаковки атомов в ГЦК выше, чем в ОЦК.

Железо со многими элементами образует растворы: с *металлами* – растворы замещения, с *углеродом, азотом и водородом* растворы внедрения.

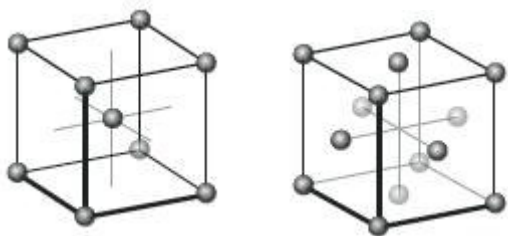


Рис. 1. Элементарные ячейки железа

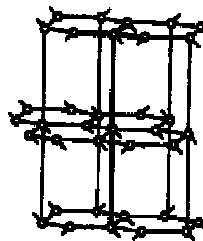


Рис. 2. Ячейка графита

Углерод – неметаллический элемент, полиморфен: существует в двух кристаллических решетках. Соответствующие модификации – графит и алмаз.

Графит (от греч. *grapho* – пишу) – минерал, наиболее устойчивая модификация чистого углерода. Графит получают нагреванием антрацита без доступа воздуха. Твердость по минералогической шкале – 1, плотность $P = 2,2 \text{ г/см}^3$. Графит огнеупорен ($T_{пл} = 3500^\circ\text{C}$), электропроводен, имеет цвет от черного до серого. Кристаллическая решетка – гексагональная слоистая. Межатомные расстояния: в основании решетки – 0,142 нм, между слоями – 0,340 нм (рис. 2).

Алмаз (тюркс. алмас, от греч. *adamas* – несокрушимый), вторая – метастабильная (относительно устойчивая) модификация углерода. Этот самородный минерал очень твердый – твердость по минералогической шкале 10 (наивысшая), плотность $P = 3,5 - 3,6 \text{ г/см}^3$. Цвет: желтоватый, зеленоватый, иногда голубой и черный, а также бесцветный. Ограненные кристаллы – бриллианты.

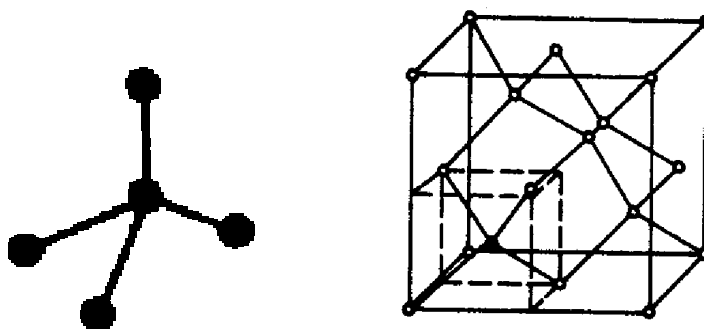


Рис. 3. Элементарная ячейка и объемная решетка алмаза

Непрозрачный алмаз – ценный абразив.

Синтетические алмазы получают при высоких давлении и температуре из графита. Средний размер кристаллов 1-2 мм. Их используют как абразив, материал для паст и порошков, для изготовления фильер.

Исключительно высокая твердость алмаза определяется строением кристаллической решетки, в которой все четыре атома расположены на одинаковом расстоянии от центрального атома. Межатомная связь ковалентная, энергия связи очень большая, решетка неплотнупакованная.

В графите ковалентные силы действуют в основаниях, а между основаниями – слабые силы Ван-дер-Ваальса. При деформации графита в первую очередь разрушаются связи между слоями, чем и объясняется его низкая твердость.

Взаимодействие железа и углерода

- Углерод растворяется в железе в жидком и твердом состояниях. В твердом состоянии образует с атомами Fe твердые растворы внедрения **Fe(C)**.
- Углерод и железо могут образовывать химическое соединение **Fe₃C** – карбид железа.
- В высокоуглеродистых соединениях углерод может находиться в чистом виде, в виде графита **Г** (т.е. образуется механическая смесь **Fe(C)+Г**).

1.2. Фазы в системе Fe – C

В системе железо – углерод возможно присутствие следующих фаз: жидкости (Ж), растворов феррита (Ф) и аустенита (А), химического соединения цементита (Ц) и графита (Г).

Жидкость – вещество, в промежуточном состоянии между твердым и газообразным с относительно равномерным распределенными атомами компонентов, имеющих «ближний

порядок» в отличие «дальнего порядка» - атомной связи в кристаллах. В жидкости атомы охвачены повышенной энергией, более подвижны и потому проявляется текучесть.

Феррит (от «феррум»), являющийся твердым раствором внедрения углерода (и других элементов) в α -железе, обозначается Fe_α (C). Различают высокотемпературный и низкотемпературный феррит. Свойства феррита при содержании 0,006% углерода при температуре 20 °С: предел временного сопротивления $\sigma_b = 250-300$ МПа, относительное удлинение $\delta = 50\%$, твердость НВ 80 – 100.

Растворимость углерода в феррите низка, так как в ОЦК решетке поры малы и значительная часть углерода располагается в вакансиях и на дислокациях.

Аустенит (в честь англ. ученого Р. Аустена) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе, обозначается Fe_γ (C). Растворимость углерода в Fe_γ достигает 2,14% - значительно больше, чем в Fe_α , т.к. в отличие от ОЦК решетки в ГЦК решетке в центре имеется сравнительно большая пора диаметром 0,102 нм (диаметр атома графита 0,154 нм). Аустенит пластичен ($\delta = 60\%$), но прочнее при $T = 20$ °С имеет твердость НВ 160 – 200 из-за искажений решетки.

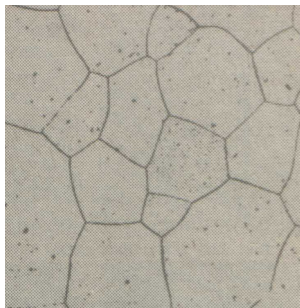


Рис. 4. Микроструктура феррита (полиэдры)

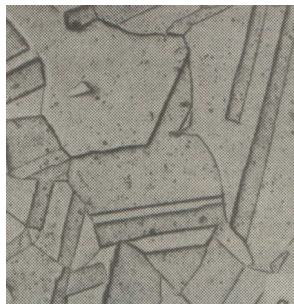


Рис. 5. Микроструктура аустенита

Микроструктура аустенита и феррита – полиэдрические (многогранные) зерна, но в аустените имеются двойники (рис.5).

Главный вывод: Графит и алмаз – химический состав одинаков, но разные решетки и очень разные свойства; аналогично аустенит и феррит – одно и то же по составу, но структура различна и свойства также различны.

Цементит – карбид железа Fe_3C . Атомный состав в %: Fe – 75, C – 25. Массовый состав: 6,67% C, остальное Fe.

Цементит имеет сложную ромбическую решетку, очень твердый (>800 НВ) и хрупкий (имеет почти нулевую пластичность). Температура плавления $T_{пл} = 1260$ °С.

В кристаллах цементита преобладает металлическая связь, поэтому он электропроводен, имеет блеск, белый цвет. В цементите атомы железа могут замещаться атомами металлов, атомы углерода атомами азота и кислорода – получается *легированный* цементит.

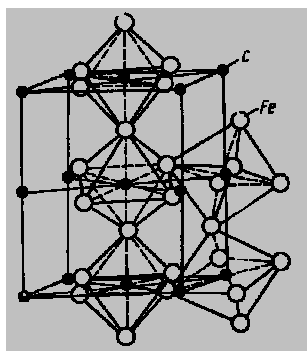


Рис. 6. Элементарная ячейка цементита

Цементит - соединение неустойчивое и при высокой температуре может распадаться на Fe и графит Г. Графит имеет 100% углерода и простую по форме решетку. Аустенит и феррит – малоуглеродистые сплавы (в аустените 2,14% углерода) и имеют сложны

решетки. Цементит имеет около 7% углерода и очень сложную кристаллическую решетку. В этой связи из жидкости при охлаждении, из других фаз (аустенита и феррита) легче образуется цементит (он ближе к ним по строению), чем свободный графит.

2. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Диаграмма состояния по составу компонентов железо-углерод (Fe – C), а по фазовому составу железо-цементит (Fe – Ц или Fe – Fe₃C), поэтому диаграмма имеет двойную шкалу концентраций (рис. 3). Вертикальные шкалы – температурные с критическими точками для железа (A (1539 °C), G (911), N (1392)) и у цементита – точка D (T_{пл}). Принимая за второй компонент цементит (а не углерод) диаграмму называют диаграммой состояния сплавов железо-цементит.

Линия ACD – ликвидус, линия AEFCF – солидус.

На участке AC в интервале температур из жидкости кристаллизуется аустенит, на участке CD – цементит, а в точке C и по всей горизонтали EF – эвтектическая смесь аустенита (A) с цементитом (Ц). Эта часть диаграммы представляет собой диаграмму III рода с эвтектикой и линией ES ограничения растворимости углерода.

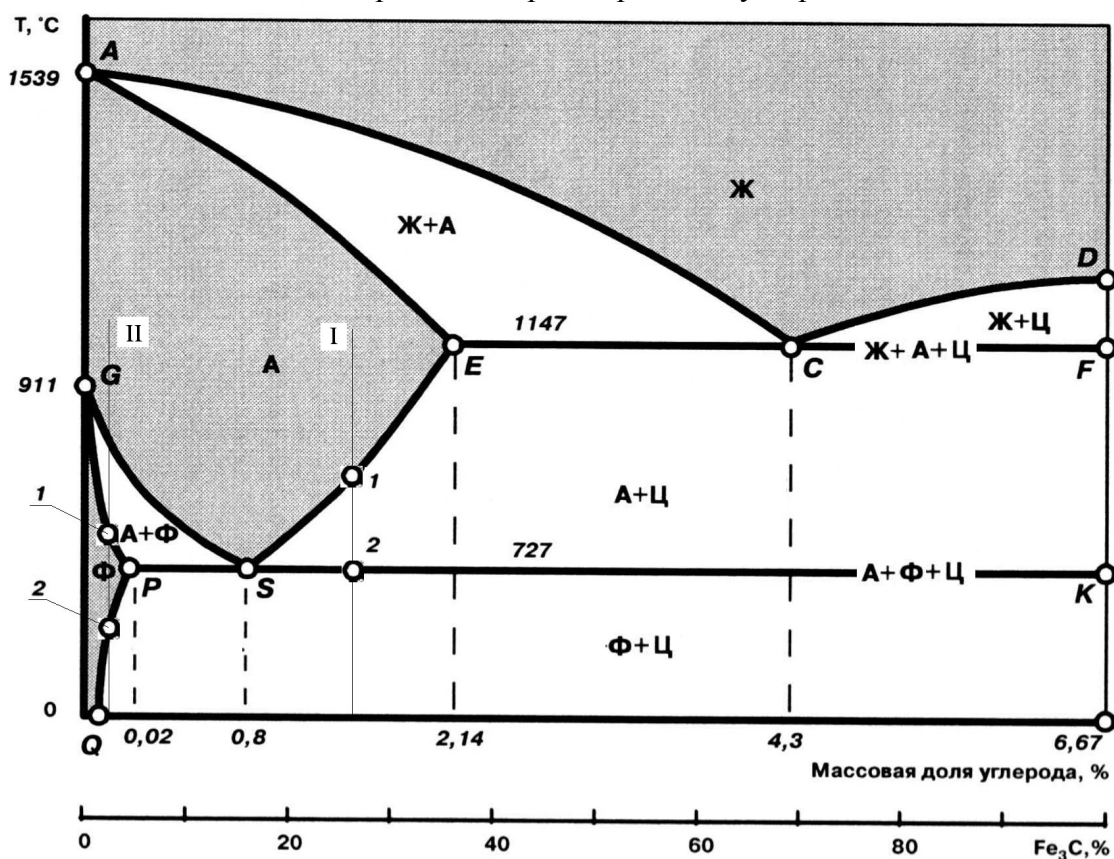


Рис. 7. Фазовая диаграмма состояния сплавов Fe - C

Линии: CD – первичного цементита, образующегося из жидкости,
 ES – вторичного цементита, образующегося из аустенита (A),
 PQ – третичного цементита, образующегося из феррита (Ф).

Особенности превращений:

1. Выделение цементита из-за растворимости углерода (C) в фазах.

Так, для сплава I с 1,5% содержанием углерода (C) при температуре 1147°C насыщение аустенита углеродом не полное (могло быть ≈ 2%), но при охлаждении от точки 1 и ниже

концентрация углерода снижается и на линии PSK составит всего 0,8%. Аналогичный процесс происходит в сплаве II при температурах от точки 2 и ниже для феррита, т.к. при охлаждении концентрация углерода уменьшается до 0,006% (точка Q). Выделяющийся углерод образует цементит для сплава I – вторичный, для сплава II – третичный.

2. *Вторичная кристаллизация (перекристаллизация), вызванная превращением $Fe_\gamma - Fe_\alpha$.*

Чистое железо претерпевает это превращение при 911°C , а сплавы - в интервале температур, соответствующих линиям GS (начало превращения аустенита в феррит) и GP (конец превращения), а также от GS до PS. Кроме того, на линии PSK происходит перлитное превращение (рассмотрено ниже).

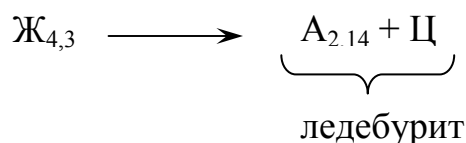
Используя правило рычага, можно установить, что в области диаграммы EFKSE находятся фазы аустенит (A) и цементит (Ц), а в PKLQP – феррит и цементит. Таков фазовый состав железоуглеродистых сплавов на диаграмме состояния.

Количественно распределение фаз на диаграмме (рис. 7) следующее:

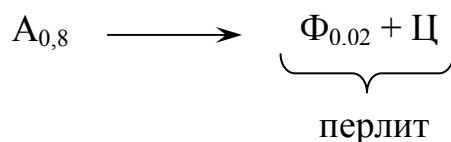
- однофазные области: Ж – выше линии ликвидус ACD,
 А – в пределах AESGA, здесь т. Е соответствует предельной растворимости углерода в аустените,
 Ф – в пределах GPQOG, здесь т. Р и Q соответствуют предельной растворимости углерода в феррите;
- по две фазы имеется во всех остальных областях и на наклонных линиях;
- по три фазы существует только на горизонтальных линиях ECF и PSK.

На этих горизонтальных линиях происходят изотермические превращения:

на линии ECF (1147°C) – *эвтектическое* превращение. Образующаяся эвтектика называется *ледебуритом* (в честь немецкого ученого А. Ледебура);



на линии PSK (727°C) – *эвтектоидное* превращение. Образующийся эвтектоид называется *перлитом* (от перламутрового блеска).



Эвтектика и эвтектоид («похожий на эвтектику») представляют собой **мелкокристаллические смеси двух фаз** (составляющих). Это самостоятельные структурные составляющие, значительно влияющие на свойства сплавов.

Перлит (0,8% C) (рис.6) чаще всего имеет пластинчатое строение и является прочной структурой: $\sigma_b \approx 600 \text{ МПа}$, твердость HB 180 – 220, $\delta \approx 16\%$.

Ледебурит (4,3% C) (рис. 7) при охлаждении претерпевает на линии PSK эвтектоидное превращение находящегося в нем аустенита. При низких температурах ледебурит представляет собой смесь перлита с цементитом. Цементит образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита (цементит на рис.9 светлый, перлит – темный). Такое строение ледебурита служит причиной его большой твердости ($> \text{HB } 600$) и хрупкости (δ до 2%). Присутствие ледебурита в структуре сплавов обуславливает их неспособность к обработке давлением, затрудняет обработку резанием.

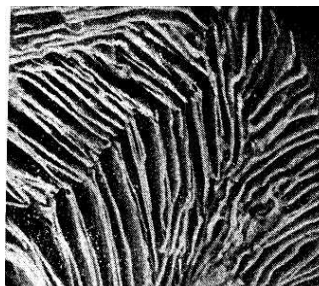


Рис. 8. Перлит (эвтектоид)

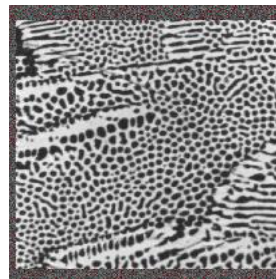


Рис. 9. Ледебурит (эвтектика)

Поскольку структурная диаграмма (рис. 10) довольно сложная, необходимо рассмотреть процессы превращений железоуглеродистых сплавов различного состава.

I сплав содержит углерода до 0,006%. В жидкости в интервале линий AC-AE кристаллизуется аустенит, который при дальнейшем охлаждении в интервале линий GS-GP превращается в феррит ($A \rightarrow \Phi$), что представлено на фрагменте диаграммы точками 1 и 2. Ферритная структура сохраняется вплоть до комнатной температуры (пунктирная линия).

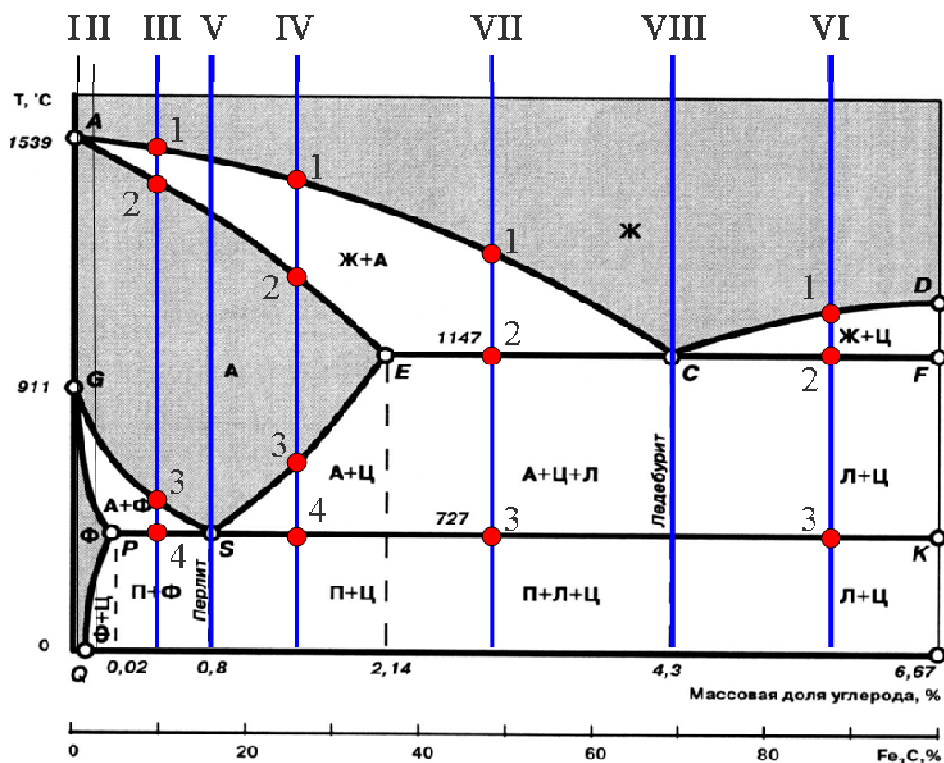


Рис. 10. Структурная диаграмма состояния сплавов Fe - Fe₃C

II сплав с содержанием углерода 0,006 – 0,02%. Сначала процесс идет как в сплаве 1, но при охлаждении феррита от линии PQ из него выделяются избыточный углерод и образуется цементит третичный (процесс описан выше). Конечная структура будет двухфазной: $\Phi + \text{Ц}_{\text{III}}$ (феррит + третичный цементит), причем феррит в виде зерен, цементит в виде прослоек по их границам. Третичный цементит ухудшает технологическую пластичность.

Так как содержание третичного цементита невелико по сравнению с цементитом, выделяющимся при других фазовых превращениях, то о нем и не упоминают при

рассмотрении структур сплавов с содержанием углерода больше 0,02% (для сплавов правее т. Р).

Сплавы с содержанием углерода от 0,02 до 2,14% - стали.

Сплав III с содержанием углерода от 0,02 до 0,8%. Образование кристаллов аустенита происходит в интервале температур 1 – 2. В точке 2 кристаллизация аустенита заканчивается. От точки 2 до точки 3 структурных изменений не происходит, аустенит просто охлаждается. В точке 3 начинается превращение аустенита в феррит. При охлаждении сплава до точки 4 состав остаточного аустенита будет соответствовать эвтектоидному, поэтому произойдет эвтектоидное превращение аустенита в перлит. При комнатной температуре структура сплава состоит из феррита и перлита (рис. 11).

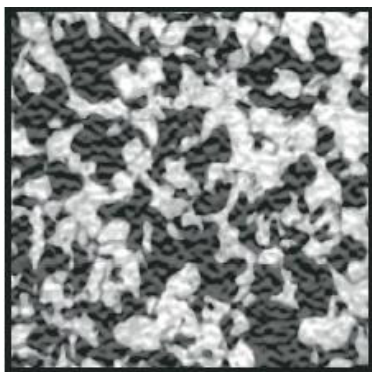


Рис. 11. Сталь доэвтектоидная

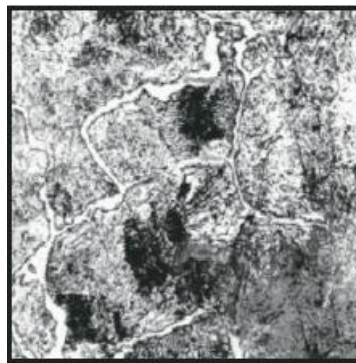


Рис. 12. Сталь заэвтектоидная

Сплав IV с содержанием углерода от 0,8 до 2,14%. До точки 3 превращение в этом сплаве такие же, как и в предыдущем (из жидкости образуется аустенит, который охлаждается без изменения до точки 3). При охлаждении в интервале температур 3 – 4 из кристаллической решетки аустенита выделяется избыточный углерод с образованием вторичного цементита Ц_ц. На линии PSK происходит эвтектоидное превращение, при котором аустенит превращается в перлит. Поэтому при комнатной температуре структура сплава состоит из перлита и вторичного цементита (в виде белой сетки вокруг перлитных зерен), что представлено на рис. 12.

Сплав V с содержанием углерода 0,8%, по составу соответствует точке S. Слева от точки S аустенит частично превращается в феррит, справа от нее аустенит частично превращается в цементит вторичный, а в точке S весь аустенит превращается в перлит (А+Ц).

В сплавах с содержанием углерода более 2,14% при кристаллизации происходит эвтектическое превращение. Такие сплавы называются чугунами.

Сплав VI с содержанием углерода от 4,13 до 6,67%. Кристаллизация начинается с образования цементита. Первичный цементит выделяется из жидкости в интервале температур 1 – 2. В точке 2 состав жидкости соответствует точке С, т.е. жидкость имеет концентрацию углерода, равную 4,3% и происходит эвтектическое превращение этой жидкости в ледебурит. При дальнейшем охлаждении в интервале температур 2 – 3 из аустенита, входящего в эвтектику – ледебурит, выделяется вторичный цементит. В точке 3 происходит перлитное превращение аустенита. Поэтому при комнатной температуре сплав состоит из цементита и ледебурита, представляющего собой смесь перлита и цементита (рис. 13).

Сплав VII с содержанием углерода от 2,14 до 4,13%. Кристаллизация начинается в точке 1 образованием аустенита, в точке 2 жидкость имеет концентрацию углерода, равную 4,3% и происходит эвтектическое превращение жидкости в ледебурит. При дальнейшем охлаждении в интервале 2 – 3 из аустенита, как структурно свободного, так и входящего в эвтектику (ледебурит), выделяется вторичный цементит. В точке 3 происходит перлитное превращение аустенита, содержащего 0,8% углерода. Структура таких сплавов при

комнатной температуре состоит из перлита, ледебурита и вторичного цементита (рис. 14). Вторичный цементит и цементит ледебурита сливаются и практически неразличимы.

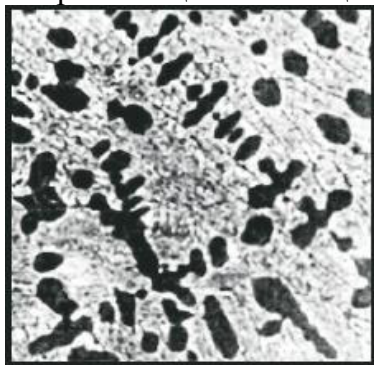


Рис. 13. Чугун доэвтектического

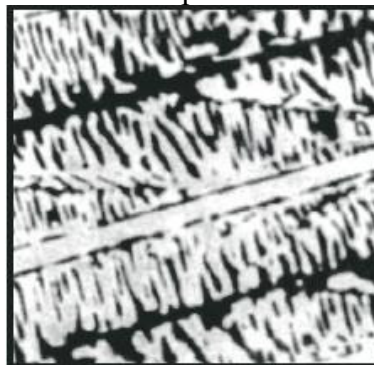


Рис. 14. Чугун заэвтектический

Сплав VIII с содержанием углерода 4,13%. Жидкость в точке С превращается в ледебурит – смесь мелких кристаллов аустенита и цементита. При охлаждении содержание углерода в аустените, входящем в ледебурит понижается и на линии PSK происходит его перлитное превращение.

У всех сплавов, содержащих $< 2,14\%$ углерода – у сталей, в результате первичной кристаллизации получается пластичная структура аустенита, у сплавов с у углеродом $> 2,14\%$ – у чугунов структура хрупкая, т.к. включает ледебурит.

Это различие в структуре при высокой температуре и создает существенное различие в технологических приемах обработки сплавов. Стали подвергают ковке, прокатке и другим видам обработки давлением, а чугуны применяют как литейный материал.

Диаграмма железо – цементит называется равновесной, т.к. получена при медленном охлаждении, обеспечивающем условия для диффузионных превращений. Если вести очень медленное охлаждение, то вместо первичного цементита при более высокой температуре из жидкости выделяется графит – Γ_1 . Выше линии ECF образуется графитная (нецементитная) эвтектика $A + \Gamma_{эвт.}$.

Из аустенита будет выделяться графит вторичный, выше линии PSK образуется графитный эвтектоид. Таким образом, будет получена диаграмма Fe – C.

Диаграмма имеет большое теоретическое и практическое значение. Теория термообработки опирается на критические точки (точки Чернова), которые имеют особые обозначения.

$A_0 = 210^\circ\text{C}$ – граница ферромагнитности Fe_3C ,

$A_1 = 727^\circ\text{C}$ – линия PSK,

$A_2 = 768^\circ\text{C}$ – точка Кюри, граница ферромагнитности железа,

A_3 – граница $\alpha - \gamma$ превращений (GS),

$A_4 = 1392^\circ\text{C}$ – точка N,

$A_{ст}$ – граница цементитного превращения (ES).

При нагреве к букве А добавляют индекс c (например A_{c3}), при охлаждении сплава индекс r (A_{r1}).

3 Цветные металлы их применение.

Цветные металлы: Cu, Al, Mg, Ti, Pb, Zn, Sn обладают ценными свойствами, поэтому широко применяются в промышленности, но из-за дороговизны, когда возможно заменяются другими материалами, например, пластмассами.

Сплавы легких металлов Al, Mg, Ti могут в 2-3 раза облегчить станки и машины, в 10 раз сократить расходы на ремонт.

Цветные металлы применяются:

- в чистом виде,

- в виде сплавов,
- для покрытий других материалов.

Способы покрытия: диффузионный, гальванический, горячий (нанесение тонкого слоя легкоплавких металлов, например, лужение оловом, оцинкование железа и т.д.), термомеханическое покрытие (получение биметаллов совместной горячей прокаткой, например, сталь защищают медью, алюминием - наиболее надежный способ защиты от коррозии).

Относительная стоимость металлов:

Fe – 1
Pb – 2,5
Zn – 3
Al – 6
Cu – 7,5
Mg – 8
Ni – 17
Ti – 90
W – 120
Ag – 500
Au – 11000
Pt – 27000

3.2. Медь и ее сплавы.

Медь используется человеком очень давно – после каменного века, так как встречается в самородном виде. В земной коре ее немного около 1%, но в рудах содержится до 5%. Человек научился обрабатывать самородную медь, а затем бронзу отсюда истоки металлургии,ковки и литья.

По свойствам медь близка к серебру и золоту – полублагородный металл.

Цвет – красновато-розовый, плотность $\gamma = 8,9 \text{ г/см}^3$, пластичный, коррозионностойкий, электро- и теплопроводный, предел прочности $\sigma_b = 220 \text{ МПа}$, твердость НВ 35 (железо имеет НВ 80), пластичность $\delta = 50 - 60\%$. Кристаллическая решетка ГЦК, мономорфна (не меняет формы).

Технологические свойства: хорошо прокатывается (ленты, листы, проволока), хорошо паяется, сваривается.

Марки чистой меди и ее назначение.

Марка	МЭ	МОО	МО		
Сu, %	99,995	99,99	99,95	для проводников тока	
Марка	М1	М2	М3	М4	для деформируемых
Сu, %	99,9	99,7	99,5	99,0	сплавов

Наличие примесей снижает пластичность, коррозионностойкость, электро- и теплопроводность.

Применяются также медные сплавы: латуни и бронзы. Сплавы меди с цинком (Cu – Zn) называются латунями, сплавы меди с любым другим металлом – бронзами.

1.2 Лекция № 2 (2 часа)

Тема: «Основы литейного производства и обработки металлов давлением (ОМД)»

1.2.1 Вопросы лекции

1. Способы получения сталей и чугунов
2. Специальные способы литья.
3. Производственные процессы ОМД

1.2.2 Краткое содержание вопросов

Материалы для производства металлов

К исходным материалам для производства металлов относят *руды, флюсы и топливо*.

Руды – горные породы, содержащие химические соединения металлов (оксиды, силикаты, карбонаты), а также примесную пустую породу.

В зависимости от содержания добываемого материала бывают *богатые и бедные* руды. Для разных материалов градация на бедные и богатые руды осуществляется по-разному, например, для железа руда считается богатой, если она содержит металла от 45-50% и более, для меди 5% и более, для молибдена - от 0,02% . Бедные руды обогащают, удаляя пустую породу, получают *концентрат* (содержащий более 60% металла).

Флюсы – материал, загружаемый в плавильную печь для получения *шлака* – легкоплавкого соединения с пустой породой и золой топлива. Шлак не только позволяет удалить пустой материал при плавке, но и защищает металл от печных газов и воздуха. За счет изменения состава, шлаки позволяют получать металл требуемого химического состава.

В условиях высоких температур шлаки в плавильной печи могут взаимодействовать с футеровкой печи (кладкой внутренних пространств печи). Футеровка может быть кислой, основной и нейтральной. Поэтому при плавке в печах с кислой футеровкой используют кислые флюсы (кварцевый песок, состоящий из SiO_2), а в печах с основной футеровкой – основные флюсы (известняк CaCO_3).

Топливо: кокс, мазут, природный и колошниковый (доменный) газ.

Требования, предъявляемые к основному твердому топливу:

- механическая прочность, чтобы выдерживать массу шихтовых материалов;
- кусковатость (размер кусков 25 – 60 мм);
- зольность (в коксе 8-12% золы);
- содержание серы (в коксе 0,5 – 1,8%).

Кокс – продукт сухой перегонки каменного угля определенных сортов. Для коксования используют смесь углей, которая размягчается при высокой температуре ($T = 1000^\circ\text{C}$ без доступа воздуха) с выделением газов, затем спекается в пористую массу, которая потом растрескивается и распадается на куски.

Огнеупорные материалы применяют для покрытия внутренних поверхностей металлургических печей, разливочных ковшей, дымовых труб и т.д.

Эти материалы должны выдерживать резкие перепады температур, механические нагрузки при высоких температурах и химическое воздействие шлака и печных газов. Огнеупорные материалы применяют в виде кирпичей, порошков и растворов как заполнителей швов при кладке печей.

По химическому составу огнеупорные материалы подразделяются на *кислые, основные и нейтральные*.

К кислым огнеупорным материалам относят кварцевый песок, в котором содержится не менее 95% кремнезема SiO_2 (кварц). Он служит для изготовления динасового кирпича, огнеупорность которого равна $1690-1720^\circ\text{C}$.

К основным материалам относят магнезит и магнезитовый порошок.

Магнезитовый порошок содержит 80 – 85% MgO , из него изготавливают магнезитовый кирпич, огнеупорность которого больше 2000°C , однако он очень дорогой и мало

термостоек. Магнезит, содержащий 35% MgO и 50% CaO (известь), служит для изготовления доломитового кирпича, огнеупорность которого 1800 – 1900 °С.

К нейтральным огнеупорным материалам относят каолинит и графит.

Из каолинита, содержащего 30 – 40% Al₂O₃, 50 – 60% SiO₂, изготавливают шамотный кирпич, огнеупорность которого 1580 – 1730 °С. Шамотный кирпич самый дешевый огнеупор, применяется для футеровки доменных печей, воздухонагревателей, ковшей и т.д. Углеродистый кирпич и блоки, содержащие до 92% углерода, применяют для кладки лещади домны, электролизных ванн, тиглей.

Подготовка материала к плавке.

Основная масса руды (примерно 95%) проходит стадию предварительной подготовки к плавке, включающую в себя дробление, сортировку, обогащение и окускование.

Сначала руду дробят на конусных и щековых дробилках, а после этого сортируют. Пригодными для плавки считают куски размером 40 – 100 мм. Основным методом обогащения руд является метод магнитной сепарации, сущность которого заключается в том, что в магнитном поле происходит отделение магнитной части руды (содержащей железо) от немагнитной.

Слишком мелкая руда – довольно плотный материал, препятствующий движению газов, что затрудняет плавку. Поэтому проводится окускование мелкой породы. Различают два способа окускования: *агломерация* и *окатывание*.

Агломерация заключается в спекании шихты, состоящей из железной руды (40 – 45%), известняка (15 – 20%) и мелкого кокса (4 – 6 %). Спекают руду на агломерационных машинах при температуре 1300 – 1500 °С. В процессе спекания удаляются примеси (сера, мышьяк); происходит офлюсовывание руды, в результате получается пористый кусковой материал – *агломерат*.

Окатывание применяется для обработки тонко измельченных концентратов. Смесь тонко измельченных концентратов, флюса, топлива увлажняется и обрабатывается во вращающихся барабанах. Получаются шарики-окатыши диаметром 20 – 30 мм. Окатыши сушат при температуре 200 – 400 °С и обжигают при температурах 1200 – 1350 °С, поэтому они становятся прочными и пористыми.

1 Способы получения сталей и чугунов

Производство чугуна

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – в доменных печах. Сущность процесса заключается в восстановлении оксидов железа, составляющих руду оксидом углерода, водородом, твердым углеродом, выделяющимися при сгорании топлива в печи.

Доменная печь и ее работа.

Современные доменные печи (рис.1) имеют общую высоту до 80 м, полезный объем до 5600 м³. Рабочее пространство печи состоит из колошника, шахты, распара, заплечиков и горна. Материалы подаются к печи двумя скиповыми подъемниками с опрокидывающимися ковшами, доставляющими агломерат, кокс и флюс в определенном соотношении (шихту), к засыпному устройству (порция шихты называется колошей). Засыпное устройство состоит из двух поочередно опускающихся конусов. Для равномерного распределения материала на колошнике печи малый конус с цилиндром после каждой засыпки поворачивается на определенный угол.

Доменные печи, как и все шахтные печи, работают по принципу противотока. Сверху опускаются шихтовые материалы, а снизу им навстречу движутся газы, образующиеся в процессе горения топлива. Расширяющаяся книзу коническая шахта облегчает опускание шихты и равномерно распределяет поток газов по сечению печи.

Самая широкая (цилиндрическая) часть доменной печи – распар. Здесь происходит плавление пустой породы и флюсов с образованием шлака, которое заканчивается в заплечиках, имеющих форму сужающегося книзу усеченного конуса. Нижнее основание

запечников имеет меньший диаметр, поскольку сокращается объема материалов вследствие их плавления.

Расположенный ниже запечников горн имеет цилиндрическую форму. В верхней части горна располагаются фурменные отверстия, через которые в печь подается горячий, обогащенный кислородом воздух при температуре $900 - 1200^{\circ}\text{C}$. Здесь происходит горение кокса, а в нижней части горна на лещади скапливаются жидкие чугун и шлак, которые периодически выпускаются через специальные отверстия – летки. Причем чугунная летка расположена на 0,5м выше лещади, а шлаковая летка – на 1,5м. Постоянно остающийся на лещади полуметровый слой жидкого чугуна предохраняет ее от разрушения. Чугунная летка между выпусками чугуна забивается огнеупорной массой.

Протекающие в печи физико-химические процессы очень сложны и многообразны. Условно можно выделить следующие этапы общего процесса выплавки чугуна:

- горение углерода топлива,
- разложение компонентов шихты,
- восстановление железа (Fe) и других металлов из оксидов,
- науглероживание железа,
- шлакообразование

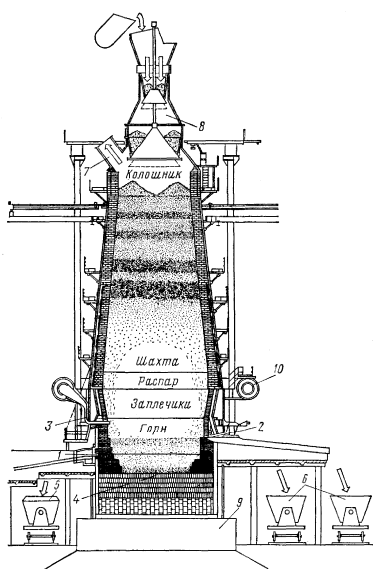


Рис. 1. Схема доменной печи

Горение топлива.

Вблизи фурм углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, нагретого до $T = 900 - 1200^{\circ}\text{C}$, сгорает с выделением тепла: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + Q$. При высоких температурах в присутствии углерода кокса углекислый газ восстанавливается до оксида углерода: с поглощением тепла $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - Q$.

В результате горения кокса температура над фурмами повышается до $1800 - 2000^{\circ}\text{C}$ и образуется газовый поток CO , CO_2 и др. газов (колошниковый газ), который поднимаясь вверх отдает теплоту шихте, а сам охлаждаясь до $300 - 400^{\circ}\text{C}$ у колошника, отводится, очищается и идет в воздухонагреватели.

Восстановление оксидов железа в доменной печи.

Восстановление железа из руды происходит по мере продвижения шихты вниз и повышения температуры - в несколько стадий, от высшего оксида к низшему: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$.

Главную роль в восстановлении оксидов железа играет оксид углерода.

При температуре $\approx 570^{\circ}\text{C}$ оксид железа восстанавливается оксидом углерода и твердым углеродом кокса:



При температуре $T = 750 - 900^\circ\text{C}$ оксид железа восстанавливается интенсивнее (увеличивается концентрация CO в газах и повышается температура):



Из руды, находящейся в нижней зоне шахты образуется твердое губчатое железо. Шихта опускается и достигает зоны, где $T = 1000 - 1100^\circ\text{C}$. При этом твердое железо, взаимодействуя с оксидом углерода, коксом, сажаемым углеродом, интенсивно науглероживается (т.к. твердое железо при высоких температурах растворяет углерод – образуется аустенит Fe(C)). Кроме того, образуется цементит, который хорошо растворяется в γ -железе:



Насыщенное углеродом железо имеет более низкую температуру плавления и на уровне распара – заплечиков оно расплавляется. Протекая по кускам кокса, железоуглеродистый сплав еще больше насыщается углеродом (до 4 – 4,4%), а также марганцем, кремнием, фосфором и др. веществами, которые восстанавливаются из руды; серой, содержащейся в коксе.

Таким образом, в результате восстановления оксидов железа, части оксидов марганца и кремния, фосфатов и сернистых соединений, растворения в железе C, Mn, Si, P, S, образуется **чугун**.

В результате сплавления оксидов пустой породы, флюсов и золы в нижней части печи образуется шлак. Шлак образуется постепенно, его состав по мере стекания меняется. В горне он скапливается на поверхности чугуна и выпускается через летки каждые час-полтора. Чугун выпускается через 3 – 4 часа, в более мощных печах выпуск чугуна через два часа, а в некоторых практически беспрерывно.

Продукты доменной плавки: переплавный чугун, литейный чугун, ферросплавы, побочные продукты.

Переплавный чугун – исходный продукт для получения стали. На долю переплавного чугуна приходится 80% всего выплавляемого чугуна.

Литейный чугун используется для переплавки на машиностроительных заводах в фасонные отливки (поступает в виде отливок-чушек по 45 – 50 кг).

Ферросплавы – сплавы железа с кремнием, марганцем и др. металлами, применяемые для раскисления и легирования стали: ферросилиций содержит 9 – 13% Si и до 3% Mn; ферромарганец – 70-75% Mn, до 2% Si; зеркальный чугун – 10-25% Mn, до 2% Si.

Побочные продукты: шлаки, колошниковый газ. Из шлака изготавливают шлаковату, шлакоблоки, цемент, щебень и др. Колошниковый газ служит топливом для нагрева воздуха в кауперах – воздушнонагревателях.

Производство и разливка стали

Исходным материалом для производства стали является переплавный чугун и стальной лом (скрап). Сущность металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы при плавке.

Например, состав переплавного чугуна и низкоуглеродистой стали следующие, %

Материал	C	Si	Mn	P	S
Переплавный чугун	4,2	1,0	до 1,75	0,2	до 0,07
Сталь низкоуглеродистая	0,2	0,15	0,5	0,05	0,055

Переплавка чугуна в сталь происходит в два этапа:

I этап – окислительный, II – раскислительный.

В процессе плавки кислород атмосферы или дутья окисляет примеси. Кремний (Si), марганец (Mn), фосфор (P), сера (S) образуют оксиды и другие соединения (SiO_2 , MnO , CaS и т.п.), которые нерастворимы или малорастворимы в металле и частично удаляются в шлак. Углерод взаимодействуя с кислородом образует оксид углерода: $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$, который удаляется в атмосферу печи.

Полностью окислить примеси не удастся – с их уменьшением начинает окисляться железо: $\text{Fe} + \text{O} \rightarrow \text{FeO}$. Оксиды железа, растворяясь в железе, обогащают его кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением (ковки, прокатки), так как при деформации в горячем состоянии в ней образуются трещины.

Поэтому для уменьшения содержания кислорода в стали предусмотрен II этап переплавки – раскисление. При этом в сталь вводят элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа: ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий. Они образуют, взаимодействуя с кислородом стали, нерастворимые оксиды, частично всплывающие в шлак.

Основными способами производства стали являются кислородно-конверторный, мартеновский и в электропечах.

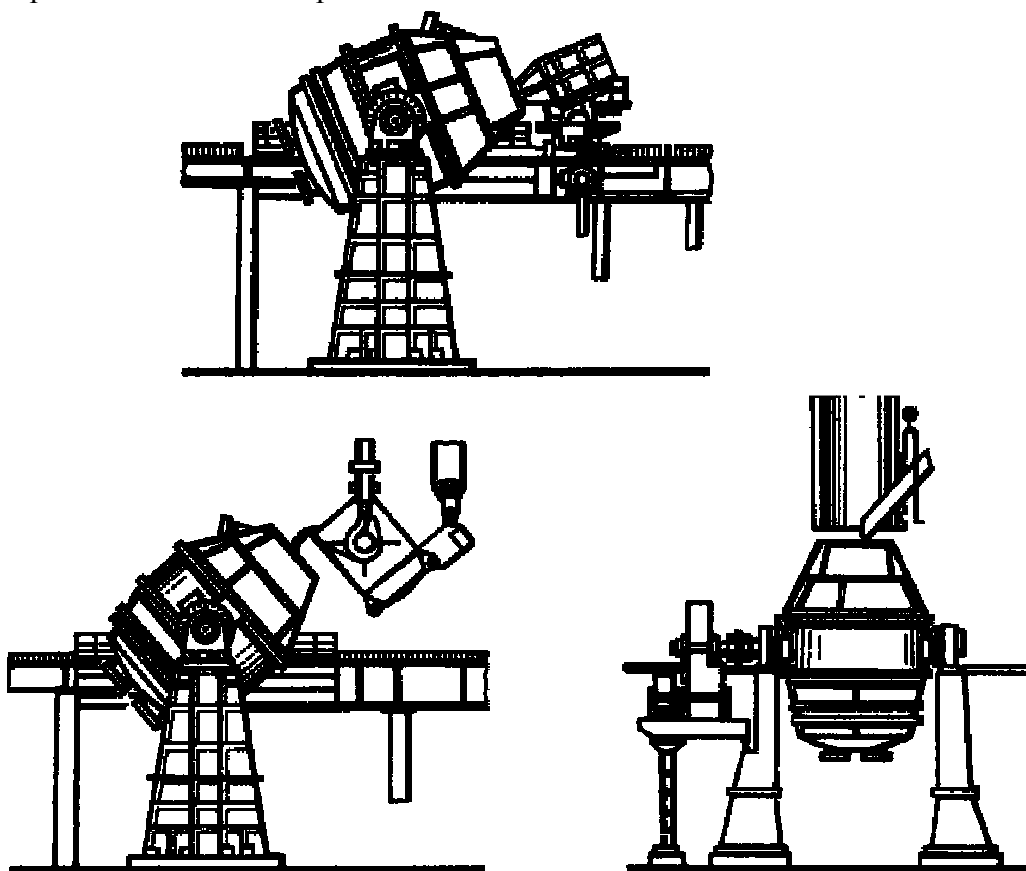


Рис. 2. Кислородный конвертор и схема загрузки

Кислородно-конверторный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через фурму.

Конвертор – сосуд грушевидной формы на 130 – 350 т жидкого металла, который может поворачиваться вокруг горизонтальной оси на 360° . Кислород подается в конвертор под давлением 0,9 – 1,4 МПа (рис.2).

Процесс протекает следующим образом. Конвертор наклоняют и загружают скрапом, заливают из ковша чугун при температуре $1250 - 1400^\circ\text{C}$, ставят конвертор вертикально, опускают фурму, и подавая кислород, начинают продувку. Одновременно с этим загружают шлакообразующие материалы (известь (CaO), железную руду, боксит). Струи кислорода, проникая в металл, вызывают его перемешивание со шлаком, циркуляцию.

Примеси чугуна интенсивно окисляются. В зоне под фурмой температура поднимается до 2400 °С.

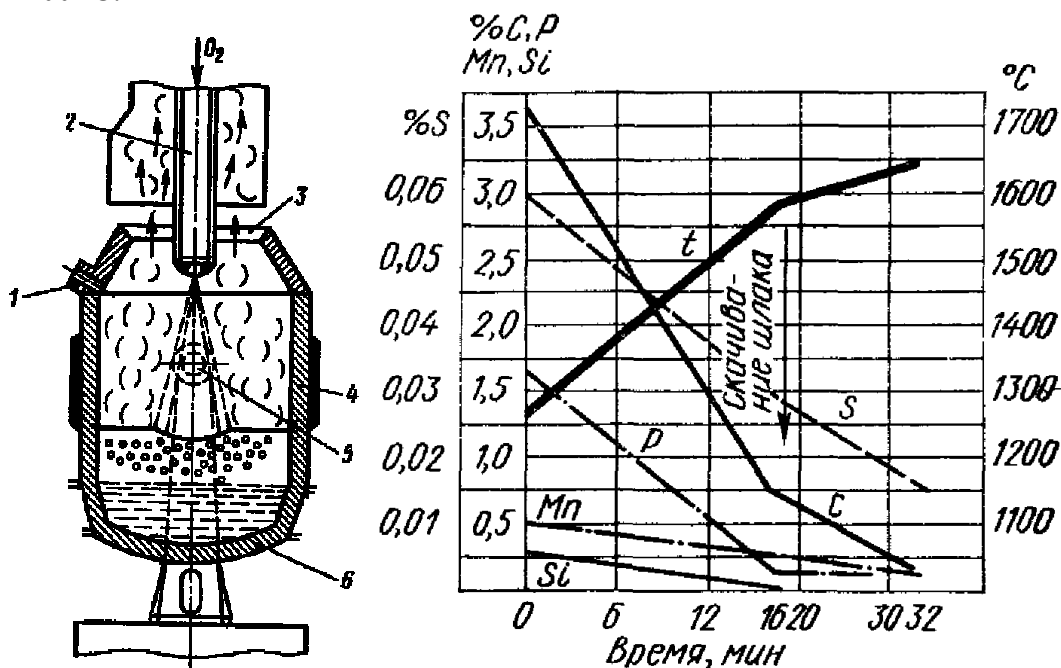


Рис. 3. Диаграмма выгорания примесей

По закону действующих масс в первую очередь окисляется тот металл, которого больше в расплаве, т.е. железо: $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$. Составляющие примеси чугуна окисляются газообразным кислородом, растворяющимся в металле и шлаке при продувке: $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$, $2\text{Mn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}$, $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$.

Присутствие шлаков с большим содержанием извести (CaO) и закиси железа (FeO) при интенсивном перемешивании металла и шлака обеспечивает удаление из металла фосфора: $2\text{P} + 5\text{FeO} + 4\text{CaO} \rightarrow (\text{CaO})_4 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{Fe}$, а также серы: $\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{CaS} + \text{FeO}$. Все эти реакции протекают в конверторе с кислородным дутьем одновременно. Скорость протекания этих процессов можно представить, изучив диаграмму выгорания примесей (рис. 3).

После 15-16 минутной продувки поднимают фурму, наклоняют конвертор, берут пробу металла на экспресс-анализ и скачивают большую часть шлака; это занимает 7 – 8 минут; за это время экспресс-анализом определяются основные параметры стали и конвертор вновь ставят в вертикальное положение, опускают фурму и вторично продувают кислородом несколько минут в зависимости от данных анализа и заданной марки стали.

Получение стали завершается ее раскислением. В качестве раскислителей используют ферромарганец, ферросилиций и алюминий, часть которых иногда вводят за несколько минут до разливки. Завершается раскисление обычно в разливочном ковше.

Мартеновский процесс

Французы Э. Мартен и его сын Пьер Мартен в 1865 г. разработали мартеновский процесс выплавки стали, который был основным способом получения стали в России в период 1910 – 1970 гг.

Мартеновская печь – пламенная отражательная регенеративная печь (рис.4). В нее подается воздух, который смешивается с топливом (природный газ или мазут); температура факела пламени достигает 2000 °С. Продукты горения и тепло отражаются от свода и равномерно нагревают ванну. Футеровка может быть основной или кислой.

Выпускное отверстие, расположенное в задней стенке, перед плавкой забивают огнеупорной глиной. В печь загружают шихту (холодные материалы: скрап, руду, известь). Их подают в мульдах – стальных ящиках с помощью завалочных машин через

завалочные окна. Заслонки над окнами опускают и вводят в печь газ и воздух для прогрева шихты. После этого из миксера (хранилища жидкого чугуна) в ковшах подвозят чугун и с помощью мостового крана по специальному желобу заливают его в печь.

В зависимости от соотношения материала в шихте различают:

- скрап-рудный процесс – жидкого чугуна 55-75%, остальное (меньше половины) скрап, руда;
- скрап-процесс – основная часть шихты скрап (больше половины), передельного чугуна 25 – 45%.
- Скрап-процесс применяется на металлургических заводах, где нет доменных печей. Шире применяется скрап-рудный процесс в основной печи. Флюсом служит (в обоих процессах) известняк CaCO_3 (8 – 12% от массы металла). В процессе плавки примеси чугуна окисляются за счет оксидов железа руды и скрапа:
 - $3\text{Si} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{SiO}_2$,
 - $3\text{Mn} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{MnO}$,
 - $6\text{P} + 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 10\text{Fe} + 3\text{P}_2\text{O}_5$,
 - $3\text{C} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}$.
- Сера удаляется в результате взаимодействия сернистого железа с известью
- $\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{FeO} + \text{CaS}$.

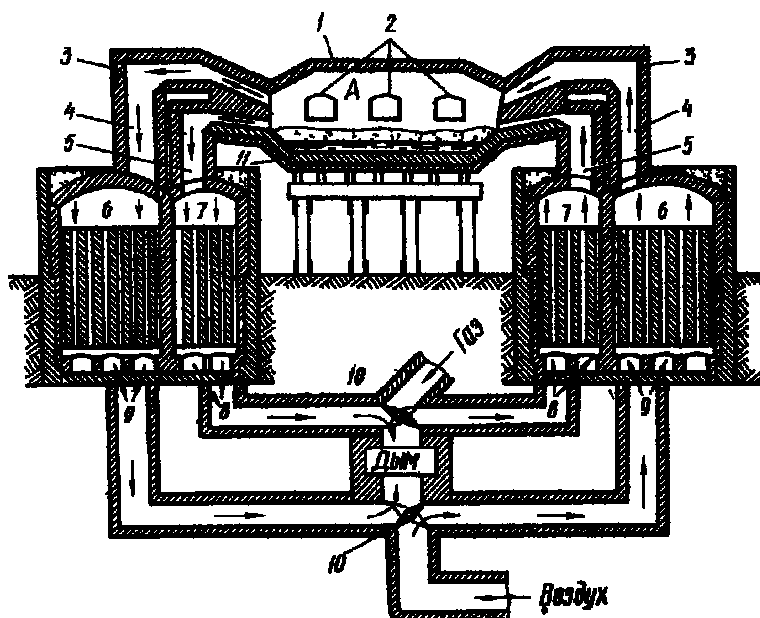


Рис. 4 Схема мартеновской печи

Оксиды (SiO_2 , MnO , P_2O_5 , сульфид CaS , а также CaO из извести) образуют шлак.

Для интенсификации процесса плавления и окисления ванну продувают кислородом – это в 2-3 раза сокращает длительность процесса, уменьшает расход топлива и железной руды.

При продувке кислородом или при подаче руды наступает период кипения.

Углерод, содержащийся в металле, интенсивно соединяется с кислородом, образуя оксид углерода ($2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$). Кроме того, оксид железа, вступая в реакцию с углеродом, отдает свой кислород ($\text{C} + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$), также образуя оксид углерода. При отключенной подаче воздуха и топлива, давление в ванне падает и CO выделяясь, вызывает кипение расплава.

Эта реакция является главной в мартеновской плавке, так как при этом обезуглероживается металл, из него частично удаляются газы и неметаллические включения, увеличивается поверхность соприкосновения со шлаком, что облегчает удаление фосфора и серы.

После расплавления шихты регулярно отбирают пробы для анализа состава металла и шлака. При достижении заданного содержания углерода и минимального содержания фосфора и серы процесс кипения прекращают. Далее приступают к раскислению металла: в печи – ферромарганцем, ферросилицием, алюминием, в ковше – алюминием и ферросилицием.

Производство стали в электропечах

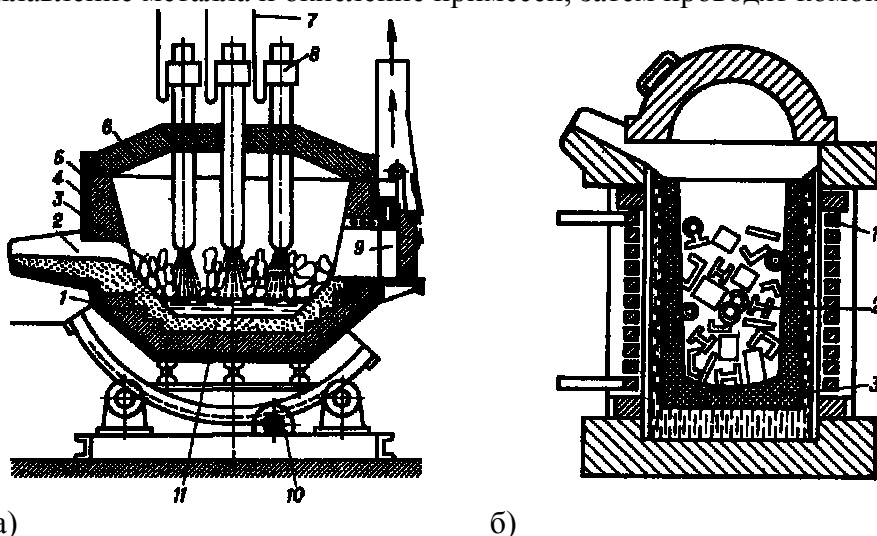
Преимущества: - быстрый нагрев и поддержание заданной температуры;
- атмосфера может быть нейтральной, окислительной или восстановительной;
- возможно создание вакуума.

Это позволяет получить сталь и сплавы высокого качества, специальные стали (высоколегированные, инструментальные, нержавеющие).

Для выплавки стали применяют дуговые и индукционные электрические печи (рис. 5).

Дуговые печи обеспечивают использование тепла электрической дуги, образующейся между графитовыми электродами и металлической ванной. Дуговые печи для плавки стали имеют вместимость 0,5 – 400 т. При помощи специального механизма печь можно наклонять под углом 40 – 45° в сторону выпускного отверстия для слива металла.

После загрузки шихтовых материалов электроды опускают и подключают к источнику тока. Используется трехфазный ток напряжением 180 – 600В и силой тока 1 – 10кА. Между шихтой и электродами образуется дуга с температурой до 3000 °С. Происходит плавление металла и окисление примесей, затем проводят комбинированное раскисление.



а) б)
Рис. 5. Электропечи: а – дуговая; б – индукционная

Индукционные печи представляют собой тигель из огнеупорного материала, окруженный медной трубчатой спиралью (индуктором), через которую пропускают переменный ток высокой частоты (500 – 2000 кГц), образующий магнитный поток, который в металлической шихте наводит мощные вихревые токи. Вихревые токи обеспечивают нагрев и плавление металла. Кроме того, под действием электромагнитных сил металл в тигле циркулирует, что ускоряет химические реакции и способствует получению однородного металла. Вместимость индукционных печей до 5 т, в редких случаях 25-30т. Также используется плавка в вакууме, позволяющая получать сплавы с минимальным содержанием газов и легирование любыми элементами.

2 Специальные способы литья.

Выплавленную в печи сталь выпускают в сталеразливочный ковш – стальной сварной ковш, выложенный огнеупорным материалом. В дне ковша имеется керамический стакан с выпускным отверстием, которое закрыто пробкой. Объем ковша равен объему плавильной печи (5 – 250 т, бывают до 450 т).

Сталь разливают либо в изложницы, либо на установке непрерывной разливки стали (УНРС).

Изложницы – чугунные формы для получения слитков различного сечения. Для прокатки 10 – 12 т (иногда до 25т), для поковок 250 – 300т. Легированные стали иногда разливают в слитки массой в несколько сот кг (500 кг – 7т).

Для разливки спокойной стали применяют изложницы расширяющиеся кверху. Для разливки кипящей стали – расширяющиеся книзу.

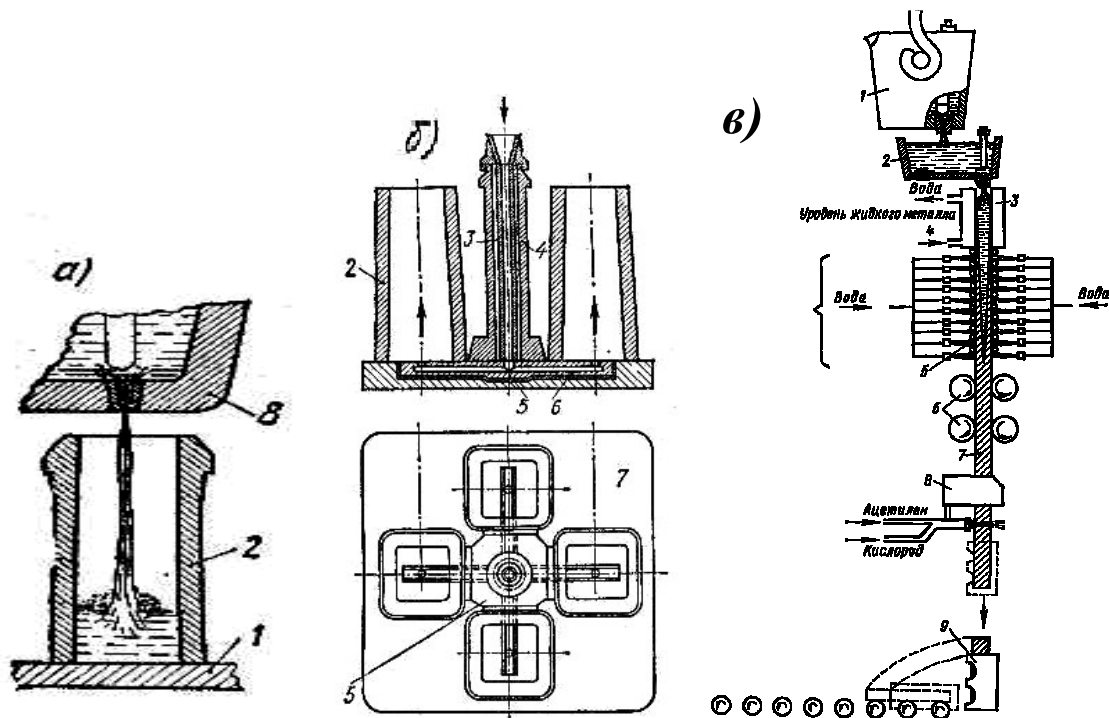


Рис. 6. Схемы разливки стали:
а – верхней; б – сифонной; в – непрерывной.

Непрерывная разливка стали на УНРС

Сталь из разливочного ковша через промежуточный ковш непрерывной и равномерной струей заливается в кристаллизатор, стенки которого интенсивно охлаждаются проточной водой. Благодаря этому сталь быстро формирует прочные и плотные стенки слитка. Из кристаллизатора слиток непрерывно вытягивается валками с определенной скоростью, соответствующей скорости кристаллизации слитка. Ниже кристаллизатора до выхода из валков слиток подвергается вторичному охлаждению брызгами, при этом заканчивается его затверждение. После выхода из валков от непрерывно опускающегося слитка кислородно-газовой горелкой отрезают куски необходимой длины и отвозят в нужном направлении.

3 Производственные процессы ОМД

Основы прокатного производства.

Сущность процесса прокатки.

Прокатка - процесс, при котором слиток или заготовка захватывается вращающимися валками и обжимается ими до меньшего сечения.

Процесс захвата обеспечивается трением, возникающим по контактным поверхностям валков с заготовкой. При этом (рис.73) со стороны каждого валка на металл действуют две силы нормальная N и тангенциальная (сила трения) T , горизонтальная составляющая которой T_x втягивает заготовку в зазор.

Из механики известно, что сила трения $T = N \cdot f$, где f – коэффициент трения.

Для осуществления процесса прокатки необходимо определенное соотношение этих сил. Спроектировав силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками:

$$2T_x > 2N_x,$$

$$T \cdot \cos \alpha > N \cdot \sin \alpha,$$

$$N \cdot f \cdot \cos \alpha > N \cdot \sin \alpha,$$

$$f > \operatorname{tg} \alpha,$$

где α – угол захвата заготовки.

Таким образом, для осуществления захвата заготовки валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и металлом заготовки был больше тангенса угла захвата. $\alpha_{\max} = 24 - 30^\circ$ для блюмов и крупных заготовок, $\alpha = 2 - 10^\circ$ при холодной прокатке листов.

Процесс деформирования металла характеризуется *зоной деформации* (заштрихованная площадь ААВВА, умноженная на ширину захвата b), *степенью деформации* и другими показателями.

Для оценки степени деформации металла используют абсолютное (Δh) или относительное ($\epsilon = \Delta h/h_0$) обжатие, а также следующие показатели:

$$\text{Коэффициент обжатия } \gamma = \frac{h_1}{h_0} < 1,$$

$$\text{Коэффициент уширения } \beta = \frac{b_1}{b_0} \geq 1,$$

$$\text{Вытяжка } \lambda = \frac{\ell_1}{\ell_0} = \frac{F_0}{F_1}. \text{ Обычно при прокатке вытяжка за проход } \lambda = 1,1 - 1,6, \lambda_{\max} = 3.$$

При прокатке наблюдается всестороннее неравномерное сжатие - схемы главных напряжений O_1 . Схемы главных деформаций:

D_2 – с двумя деформациями растяжения – типичная схема;

D_1 – с одной деформацией растяжения – когда не меняется ширина заготовки;

D_3 – при прокатке широких полос.

Продукция прокатного производства.

Прокат – готовые изделия или заготовки для последующей обработки ковкой, штамповкой, резанием и т.д.

Сортамент стального проката – совокупность профилей проката (поперечных сечений) и их размеров.

◇ Листовая сталь:

- толстолистовая (h от 4 до 160 мм),

- тонколистовая (h до 4 мм)

По назначению: автотракторная, трансформаторная, кровельное железо, жест и др.

◇ Сортовая сталь:

- простой геометрической формы (шестигранник, круг, овал, квадрат, треугольник),

- фасонный прокат (уголок, швеллер, двутавр, рельс и др.);

◇ Трубы:

- бесшовные ($D = 30 - 650$ мм),

- сварные ($D = 5 - 2500$ мм, стенка 0,5 – 16 мм).

◇ Специальные виды проката: кольца, вагонные колеса, шары, периодические профили.

Оборудование прокатного производства.

Основа оборудования – прокатные станы. На схеме (рис. 74, д) показаны рабочая клеть с валками 1, шпиндели 2, шестеренная клеть 3, муфта 4 и электродвигатель 5.

Классификация станов: по числу валков, по назначению, (для получения полупродукта, готовой продукции, станы специального назначения).

Полупродукт получают из слитков на мощных обжимных станах:

блумы – заготовки квадратного сечения (стороны квадрата 150 – 450мм);

слябы – заготовки прямоугольного сечения высотой 75 – 600 мм и шириной от 400 – 2500 мм. Из них получают листовой прокат.

Валки для прокатки листов имеют гладкую цилиндрическую поверхность. Для производства сложных профилей применяют калиброванные или сортовые валки.

Калибр – это просвет, образованный углублениями обоих валков совместно с зазором.

Калибр называется закрытым, когда линия разъема валков находится вне пределов калибра.

При прокатке фасонных изделий заготовка проходит ряд калибров, постепенно приближающих ее сечение к заданному.

1.4. виды прокатки.

◇ *Продольная* – заготовка перемещается перпендикулярно к осям валков, которые вращаются в противоположных направлениях. Это основной вид прокатки.

◇ *Поперечная* – валки с параллельными осями вращаются в одном направлении. Заготовка вращается и перемещается вдоль оси валков. Радиус заготовки за пол-оборота ее уменьшается на Δr , возникающие при этом напряжения в наружных слоях направлены тангенциально, а в середине заготовки – радиально. Это может вызвать появление отверстия. Так получают зубчатые колеса, звездочки.

◇ *Поперечно-винтовая (косая)* – валки вращаются в одном направлении, а оси их расположены под некоторым углом. Металл в центре заготовки разрыхляется, что обеспечивает получение бесшовных труб. Оправка, установленная в зоне образования отверстия, выравнивает поверхность и придает отверстию правильную форму.

Волочение, прессование, ковка и штамповка.

Волочение металла – процесс протягивания прокатанных или прессованных заготовок через отверстие в волоке.

При этом поперечное сечение заготовки уменьшается, длина увеличивается. Заготовка не нагревается, поэтому вытяжка за проход составляет $\lambda = 1,25 - 1,45$.

Продукция из стали и цветных металлов:

- проволока диаметром от 0,002 до 10 мм,
- профили: круг, овал, сегмент и др.,
- калиброванные прутки диаметром от 3 до 150 мм,
- холоднотянутые трубы диаметром до 200 мм длиной до 8 м.

Инструмент для волочения – волока:

с одним глазком – фильера, с несколькими – волочильная доска.

Материал для волок: инструментальные стали, твердые сплавы, технические алмазы.

Конструкция волок: цельные, составные, роликовые.

При волочении материал испытывает двустороннее сжатие с односторонним растяжением (схема O_2) и деформируется по схеме D_1 – с одной деформацией растяжения.

Оборудование – волочильные станы: цепной, гидравлический, барабанный.

Прессование металла.

Прессование – процесс выдавливания металла из замкнутой полости, контейнера через отверстие. Прессованием получают: фасонные профили, прутки, трубы.

Заготовки – литые или прокатанные, нагретые или холодные. Металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию (схема O_1) и потому получает высокую пластичность. Коэффициент вытяжки $\lambda = F_0/F_1 = 8 - 50$. Возможно использование труднодеформируемых сталей и сплавов на гидравлических прессах с усилием до 250 МН (25000 т).

Инструмент для прессования изготавливают из высококачественных инструментальных сталей жаропрочных сплавов: 4ХН4В, 5ХНМ, 38ХМЮА и др.

Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных. Недостатки: неравномерность механических свойств изделий по сечению и длине, значительные потери на отходы.

Ковка.

Ковка – процесс, при котором за счет многократного динамического воздействия на молоте или статического воздействия на прессе из нагретой заготовки получают поковку заданной формы и размеров.

Мелкие поковки массой до 500 кг и средние (50 – 400 кг) в единичном и мелкосерийном производстве экономически выгоднее получать ковкой с применением универсального инструмента. Ковка эффективна в ремонтном производстве и незаменима при изготовлении крупных поковок. Ковкой и штамповкой получают и очень мелкие детали часов, швейных машин.

При ковке металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию (схема O_1) и деформируется с одной деформацией сжатия и двумя деформациями растяжения (схема D_2). Степень деформации (уков или уковка) для прокатанных заготовок $Y = 1,1 - 1,5$, для стальных слитков $Y = 3 - 5$.

Виды ковки: ручная и машинная.

Кузнечный инструмент.

Основные операции ковки: осадка, высадка, протяжка (вытяжка), раскатка колец, протяжка цилиндра на оправке, гибка, скручивание, рубка (отрубка).

Пробивка отверстий с одной стороны за один или несколько ударов в *тонких заготовках* пробойником или прошивнем диаметром до 30 мм.

Прошивка – получение полостей в поковках сложной формы и отверстий в толстых заготовках (полым прошивнем или сплошным прошивнем диаметром до 400 мм).

Оборудование:

Пневматические молоты с массой падающих частей (мощностью N) до 1000 кг для мелких поковок.

Паровоздушные молоты для изготовления поковок средней массы имеют мощность N от 1 до 8 т.

Гидравлические ковочные прессы для ковки слитков массой до 500 т работают с усилием до 200 МН.

Штамповка.

Горячая объемная штамповка

Штамп – рабочий инструмент, состоящий обычно из двух частей, образующих в собранном виде полость – ручей (рис. 76).

Заготовка для объемно штамповки имеет соизмеримые размеры (лист имеет один размер резко отличающийся).

Объемная штамповка характеризуется теми же схемами напряженного состояния и главных деформаций, что и ковка – O_1 и D_2 . Рабочее усилие значительно больше, чем при ковке, производительность выше в 50 – 100 раз.

Кроме того, штамповка обеспечивает высокое качество поверхности, большую однородность металла, но необходим дорогой специальный штамп.

Холодная штамповка

Холодная объемная штамповка.

Виды: выдавливание, высадка, формовка.

Выдавливание – процесс, схожий с прессованием, но заготовка – прокат, а не слиток и получают детали или полуфабрикат, а не профили как при прессовании.

Холодная формовка применяется для изготовления сложных по форме небольших деталей высотой до 25 мм с площадью до 5000 мм².

Холодная листовая штамповка.

Такой обработкой получают из листа, полосы или ленты изделия в автомобильной, часовой промышленности и т.п.

Материалы: Низкоуглеродистая сталь, пластичные легированные стали, медь, латунь, алюминий его сплавы, магниевые сплавы, титан, кожа, оргстекло, текстолит и др.

Толщина стенок изделия приблизительно такая же как и у заготовки. Материал испытывает два сжимающих и одно напряжение растяжения (схема O_2), а деформируется по двухосной схеме D_3 .

Цинк растворяется в меди и повышает ее прочность, но латуни хорошо обрабатываются резанием. Однородный α -твердый раствор замещения при 20° – концентрация цинка до 39%, при 902° – концентрация цинка до 32% (рис. 47, а). Латунь однофазная – деформируемый сплав. Однофазные латуни при 30% цинка имеют максимальную пластичность ($\delta = 60\%$).

Находят применение также латуни из смеси $\alpha + \beta$ кристаллов - двухфазная латунь (литейный сплав) – при содержании цинка от 39% до 45%.

В интервале 46 – 51 % цинка в меди образуется β -твердый раствор на базе электронного соединения CuZn (соединение относительно малой пластичности при 46% цинка $\delta = 7\%$, $\sigma_B = 40$ МПа).

Медноцинковые латуни в соответствии с ГОСТ 17711 – 80 выпускают марок: Л96, Л90 (томпак) Л85, Л80, Л75, Л70 (патронные), Л68 ... Л59. В марке указано процентное содержание меди, цинк остальное. Томпак (франц. – медь) – имеет цвет золота, используется для ювелирных работ. Это простые (двойные) сплавы.

Многокомпонентные (специальные) сплавы применяются в зависимости от назначения.

Вводятся компоненты, которые обозначаются следующими буквами:

А – алюминий, Б – бериллий, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель, Х – хром, О – олово, С – свинец, Ф – фосфор, Ц – цинк, Ж – железо.

Например: ЛА 77-2 – алюминиевый упрочняющий (77% Cu, 2% Al, остальное Zn), ЛО 70 – 1 – оловянистая латунь.

В таблице 9 указаны марки, механические свойства и назначение некоторых многокомпонентных компонентов.

В марках литейных латуней указывается содержание цинка и количество каждого легирующего элемента непосредственно за соответствующей буквой, например, ЛЦ40Мц3А.

Бронзы.

Применяют бронзы: алюминиевые, оловянистые (оловянные), бериллиевые (самые прочные), никелевые, свинцовистые, кремнистые.

Бронзы прочнее, устойчивее против коррозии, чем чистая медь, поэтому еще в древности из них изготавливали оружие, инструмент, сосуды, украшения. Они имеют хорошие литейные свойства – очень малая усадка ($< 1\%$ для оловянистой бронзы, у чугунов и латуней $\approx 1\%$, у сталей $> 2\%$), поэтому очень сложные отливки как и художественное литье изготавливают из бронз.

Маркировка включает в себя буквы Бр, условное обозначение компонентов и их количество в % (содержание меди не указывается):

деформируемые БрОЦ 4-3 (Sn $\approx 4\%$, Zn $\approx 3\%$, остальное медь – оловянная бронза), БрБ 2 (Be $\approx 2\%$ - бериллиевая бронза);

литейные БрОЦС – оловянная, БРС30 – свинцовистая.

Олово растворяется в меди до 14%.

В литой бронзе включения твердого эвтектоида обеспечивает высокую стойкость против истирания. Поэтому бронза с 10% олова – лучший антифрикционный материал (БрОСН – 10 – 2 – 3).

Кроме того в бронзу вводят: цинк – для удешевления, заменителями олова являются также Al, Fe, Mn (дешевле, но бронзы хуже); свинец – для улучшения обрабатываемости резанием, фосфор – для раскисления.

Назначение некоторых бронз представлено в таблице П5 (стр. 45), например, свинцовистая бронза БрС30 – высококачественный материал (30% Pb).

Медно-никелевые сплавы (Cu – Ni).

МНЦ 20-20 (Ni и Zn по 20%, остальное медь)

МНЦ 15-20 (Ni + Co \approx 15%, Zn 20%)

МН 20

МН 19 (Ni + Co \approx 15%)

МНЖМц (Ni 30%, Fe 0.8%, Mn 1%)

Нейзильбер (похожий на серебро)

Мельхиор – столовые приборы, медицинский инструмент

Монель–металл (68% Ni, 28% Cu, Mn+Fe = 4%) обладает высокой коррозионной стойкостью, прочностью, хорошо обрабатывается; применяется для изготовления монет, изделий для медицины, химической, нефтяной, судостроительной промышленности.

3.3. Алюминий и его сплавы.

Алюминий относится к группе материалов с малой плотностью, которые широко применяются в авиации, ракетной и космической технике, в автомобилестроении и транспортном машиностроении.

Алюминий – металл серебристо-белого цвета. В России в прошлые века его называли глиний, так как он входит в состав глины. Предположение о наличии металла в глине высказали в 1808 г. англичанин Дэви, он и назвал его алюминием, а получил впервые датчанин Эрстед, 1825 г.

Небольшая плотность $\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$, низкая температура плавления $T_{\text{пл}}=660 \text{ }^{\circ}\text{C}$, высокая пластичность и малая прочность: отожженный прокатанный алюминий высокой чистоты имеет следующие свойства $\sigma_{\text{в}} = 58 \text{ МПа}$, НВ 25, $\delta = 40\%$.

Алюминий как и медь имеет ГЦК решетку, не имеет аллотропических модификаций (мономорфен), обладает высокой тепло- и электропроводностью (65% от электропроводности меди). При равных значениях электропроводности провод из алюминия легче медного.

Чистый алюминий применяется в быту (посуда), цистерны молочные, рефлекторы и т.д.

Постоянные примеси (Fe, Si, Mn, Ti, Cu, Zn) понижают физико-химические характеристики и пластичность алюминия.

Маркировка алюминия:

Группа	Особой	Высокой	Технической чистоты
Алюминий, %	99,999	99,995...99,95	99,85...99,0
Марка	A999	A995 A99 A97 A95	A85 A8 A7 A6 A5 A6

То есть в марке указывается число стоящее после запятой – тысячные, сотые, десятые проценты содержания алюминия.

Алюминий выпускается в виде чушек, слитков, из которых получают: листы, профили, прутки, проволоку.

Классификация алюминиевых сплавов.

- по технологии изготовления: деформируемые, литейные, спеченные;

- по способности к термической обработке: упрочняемые, неупрочняемые.

Алюминий можно сильно упрочнить легированием за счет образования твердых растворов и интерметаллидов. Дело в том, что многие элементы с алюминием образуют твердые растворы ограниченной переменной растворимости и промежуточные фазы. Это дает возможность подвергать сплавы упрочняющей термообработке. Она состоит из закалки на пересыщенный твердый раствор и старения.

Наибольшей пластичностью (соответственно наименьшей прочностью) обладают сплавы с содержанием компонента меньше предела растворимости при высокой температуре.

Следовательно, такой сплав хорошо обрабатывается давлением при горячей обработке. Наличие эвтектики резко уменьшает пластичность. Уже при небольшом содержании эвтектики такая обработка неосуществима.

Наилучшая жидкотекучесть у чистых металлов и эвтектике. Вместе с тем в литейных сплавах эвтектики должно быть $< 15-20\%$, так как ухудшаются механические и технологические свойства.

К **деформируемым** сплавам относятся:

Дуралюмины: $Al - Cu - Mg - Mn$. Марки: Д1, Д16, Д19.

Высокопрочные сплавы (В): $Al - Cu - Mg - Zn$.

Жаропрочные: $Al - Cu - Mg - Si$ с добавками Fe, Ni, Ti, Zn.

Литейные сплавы:

Силумины: $Al - Si$,

Повышенной прочности: $Al - Mg$.

Термическая обработка дюралюминия (сплава $Al - Cu$).

Введение в сплав других легирующих элементов вместо меди или дополнительно не вносит принципиальных изменений в структурные превращения.

Максимальная растворимость меди составляет $5,7\%$ при $548^\circ C$. Любой сплав с содержанием меди более $0,2\%$ после нагрева и быстрого охлаждения можно перевести в однофазный пересыщенный раствор. В таком неустойчивом растворе происходят изменения, приводящие к выделению соединения $CuAl_2$ и снижению содержания меди до $0,2\%$ - количества, соответствующего равновесной системе. Этот процесс называется старением.

Процесс, происходящий при комнатной температуре, называется естественным старением, при повышенной температуре – искусственным.

Вывод: Термическая обработка алюминиевых сплавов состоит из закалки и старения.

Кривая упрочнения при естественном старении сплава ($Al + 4\% Cu$) показывает, что сразу после закалки предел прочности несколько выше, чем в отожженном состоянии ($250 MPa$ против 200).

Вначале наблюдается весьма слабое повышение прочности. Это период (2-3 ч) имеет важное технологическое значение (в это период можно проводить гибку, отбортовку закаленных деталей, расклепку заклепок). Затем способность пластически деформироваться резко уменьшается – эти операции становятся неосуществимыми. Прочность (при $20^\circ C$) становится максимальной через 4-5 суток.

С повышением температуры процесс старения ускоряется, однако максимальный предел прочности получается тем ниже, чем выше температура, а при $T > 150^\circ C$ наблюдаются разупрочненные сплавы.

При закалке цветных сплавов как и при закалке стали получается нестабильный пересыщенный твердый раствор с включениями другой фазы (химические соединения или элементы). Различие состоит в том, что твердый раствор при закалке стали имеет твердость максимальную, а твердые растворы цветных сплавов – минимальную.

В процессе естественного старения происходят подготовительные процессы к выделению 2-го компонента – интерметаллоида.

I стадия: в пересыщенном твердом растворе атомы меди (расположенные в случайных местах) собираются в определенных местах кристаллической решетки в зоны повышенной концентрации – в кристалле возникают зоны Гинье-Престона (доскообразные пластины толщиной до $1 nm$ и диаметром до $10 nm$).

В этих зонах параметр решетки иной, чем в местах обеденных медью. Это создает большие напряжения в кристалле – пластическую деформацию, которая дробит блоки мозаики, что приводит к повышению твердости сплава.

II стадия: дальнейшее развитие процесса старения заключается в увеличении зон Гинье-Престона (в 3-4 раза увеличиваются линейные размеры) и повышении содержания меди в них до стехиометрического соотношения. Этот процесс называется зонным старением.

Повышение температуры приводит к выделению промежуточной, а затем и окончательной стабильной фазы (CuAl_2), кроме того зоны Гинье-Пристона рассасываются и прочность получается ниже.

В простых сплавах Al-Cu с 3-5% меди (или в таких же сплавах с небольшим содержанием магния Mg – дюралюмин) процесс зонного старения протекает при комнатных температурах и приводит к максимальному упрочнению.

Дюралюминий – наиболее распространенный из алюминиевых сплавов, применяемых в деформированном виде и упрочняемых при термической обработке. Дюралюминий – первый промышленный сплав на основе алюминия. Название расшифровывается как «твердый сплав». (*dur* – твердый *франц.*)

Например Al $\sigma_{\text{в}} = 58$ МПа, дюралюминий $\sigma_{\text{в}} > 350$ МПа.

Состав дюралюминия: Cu, Mg, Mn, Si, Fe.

Дюралюминий имеет незначительную коррозионную стойкость. Поэтому часто его плакируют чистым алюминием – покрывают поверхность термомеханическим способом при прокатке, прессовании. Толщина слоя – 4-8% от S листа, $d_{\text{проволоки}}$.

Литейные алюминиевые сплавы.

В качестве литейных алюминиевых сплавов применяются сплавы с Cu, Zn, Mg, но наибольшее распространение получили силумины. Силумины – сплавы с большим содержанием кремния.

Высококремнистые сплавы слабо упрочняются в результате закалки и старения. Механические свойства можно повысить модифицированием (рис. 53). Сплавы Al – Si имеют эвтектическую концентрацию 11,6%. Силумины с 12 – 13% кремния будут заэвтектическими. Его структура (рис. 54,а): грубая игольчатая эвтектика Al + Si и крупные иглы Si. Модифицирование сплава натрием ($\approx 1\%$) сдвигает эвтектическую концентрацию до 14%. Тогда силумин с 12-13% кремния станет доэвтектическим. Структура его измельчается, так как снижается эвтектическая температура, и будет состоять из мелкозернистой эвтектики (темное поле) и первичных кристаллов Al (белые зерна на рис. 54, а). Механические свойства повышаются.

Маркировка сплавов: АЛ... - алюминиевый, литейный, порядковый номер в ГОСТе.

АЛ 2 – нормальный силумин (10 – 13% Si, $\approx 1\%$, Na).

АЛ 8 – магналий (до 11,5% Mg) – высокопрочный сплав.

АЛ 11 – цинковистый силумин (10-14% Zn, Si $\approx 7\%$, Mg $\approx 0.2\%$) с повышенными литейными свойствами – для сложных отливок.

3.3 Антифрикционные сплавы.

Антифрикционные сплавы предназначены для изготовления деталей трущихся поверхностей машин и механизмов (подшипник – вал или ось).

Требования к материалу:

- минимальный износ вала;
- минимальный собственный износ;
- способность удерживать смазку;
- низкий коэффициент трения.

Этот комплекс свойств могут обеспечивать сплавы, состоящие из относительно мягкой основы, в которой распределена вторая достаточно твердая фаза. Пластичная, вязкая основа сильнее изнашивается, а вал в основном лежит на твердых опорных включениях, в изнашивающих местах пластической основы удерживается смазка.

Если основа слишком мягкая - материал вкладыша будет выдавливаться валом, наволакиваться. Количество твердых включений не должно быть слишком велико, так как подшипник будет плохо прирабатываться.

Для подшипников применимы многофазные сплавы: баббиты, медные, цинковые, алюминиевые сплавы, антифрикционные чугуны, металлокерамические подшипниковые сплавы.

Баббиты – антифрикционные сплавы на основе олова (Sn) или свинца (Pb). Температура плавления $T_{пл} = 350 - 450^{\circ}\text{C}$, имеют хорошую прирабатываемость.

Лучшими антифрикционными свойствами обладают баббиты Б83 (Sn \approx 83%), Б89, которые применяются только в особо ответственных узлах, в машинах большой мощности.

Олово слишком мягко, чтобы получить нужный сплав, в него вводят упрочняющие элементы – сурьму (Sb) и медь (Cu).

Сурьма до 7,5% растворяется в олове и дает более прочный α -твердый раствор, (мягкая основа темного цвета). При большей концентрации образуется химическое соединение SbSn с высокой твердостью (светлые зерна).

Медь почти не растворяется в олове и дает химическое соединение Cu_6Sn_5 .

Свинцовооловянистые баббиты.

	Sn	Sb	Cu		Pb, остальное
Б16	16%	16	2		66
Б6	6%	15	3	2% Cd	74
БТ	10%	15	1	0,2% Te	74
БН	10%	14	2	1% Ni	72

Теллур повышает пластичность, кадмий никель, мышьяк – твердость прочность основы.

Свинцовооловянистые баббиты имеют более высокий коэффициент трения, менее износостойки и хрупки по сравнению с Б83. БТ и БН применяются для подшипников ДВС, в том числе тракторов и автомобилей, Б16 – в электродвигателях, паровых турбин; Б6 – для нефтяных двигателей, металлообрабатывающих станков.

Антифрикционные бронзы и чугуны.

Из сплавов на основе меди наилучшими антифрикционными свойствами обладают свинцовистые бронзы БрС30 (и оловянистая, содержащая до 10% Sn).

Свинец растворяется в меди при температуре больше 950°C , при охлаждении сплава кристаллизуется медь в виде дендритов и при температуре меньше 326°C затвердевает свинец – мягкие поля. Поскольку и прочность и твердость такой бронзы невысоки ее используют в качестве наплавки вкладышей (на стальных лентах или трубах).

Биметаллические подшипники с таким материалом дешевы, легко заменяемы.

Антифрикционные чугуны высокоизносостойки, но имеют повышенный коэффициент трения. Применяются в тихоходных узлах трения. В серых чугунах роль мягкой составляющей выполняют включения графита.

1.3 Лекция № 3 (2 часа)

Тема: «Технологические особенности сварки сталей»

1.3.1 Вопросы лекции

1. Технологические особенности сварки сталей
2. Сварка чугуна.
3. Наплавка. Пайка.

1.3.2 Краткое содержание вопросов

Свариваемость сталей

Группы сталей по свариваемости:

- 1 Хорошо сваривающиеся – обеспечивающие все необходимые свойства сварного соединения обычными способами сварки.
- 2 Удовлетворительно – то же, усложненной технологией.
- 3 Ограниченно – качественное соединение можно получить особым, возможно одним способом (например, лазерной сваркой с max концентрацией энергии).

4 Плохо сваривающиеся – когда никакой из известных способов не дает качественного соединения.

Низкоуглеродистые стали ($C < 0.25\%$) обладают хорошей свариваемостью.

Среднеуглеродистые:

при $C = 0,25 - 0,30\%$ - удовлетворительная свариваемость;

при $C = 0,30 - 0,45\%$ - ограниченная.

Высокоуглеродистые:

($C > 0.45$, по другим источникам $C > 0,5$ или $0,6\%$) характеризуются плохой свариваемостью из-за образования горячих трещин (ГТ) по шву и холодных в ЗТВ.

Склонность к образованию ГТ определяет химический состав сталей, в значительной мере - содержание углерода и серы. Отрицательное влияние серы проявляется резче с увеличением концентрации углерода. Предполагают, что при этом расширяется ТИХ вследствие образования легкоплавкой ($T_{пл} = 975^\circ\text{C}$) эвтектики $\text{Fe} + \text{FeS} + \text{Fe}_3\text{C}$. Поэтому ограничивают содержание S и понижают концентрацию C в сварочной проволоке, принимают меры по снижению доли основного металла в металле шва.

Увеличение содержания Mn позволяет уменьшать склонность шва к образованию кристаллизационных трещин, что отражено на рисунке 95. На этом рисунке поле диаграммы выше данной линии соответствует наличию, а ниже – отсутствию трещин.

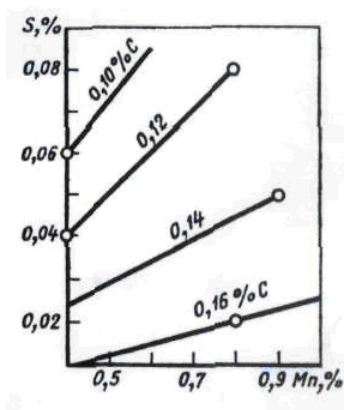


Рис.95. Влияние серы, марганца и углерода на образование трещин

Применение подогрева, а также изменение формы проплавления Ψ снижает сварочные напряжения и меняет характер развития деформаций при кристаллизации, уменьшая вероятность образования ГТ (рис. 96 и 97).

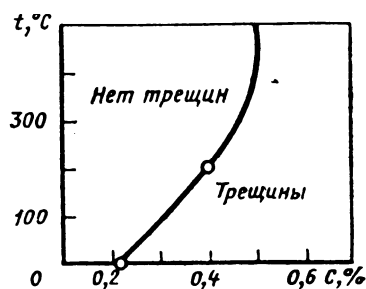


Рис.96. Влияние содержания углерода и температуры подгрева на образование трещин

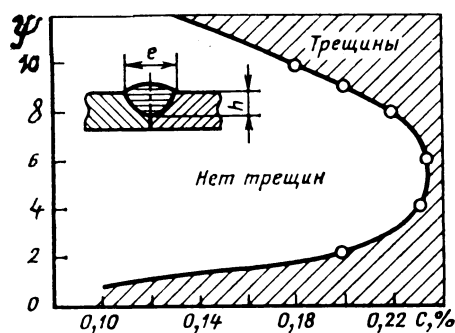


Рис.97. Влияние содержания углерода и формы проплавления шва на образование трещин

Склонность сталей к образованию холодных трещин связана в основном с их закаливаемостью, а она возрастает с увеличением доли углерода и повышением легированности.

Шов низкоуглеродистой или низколегированной стали, выполненный электродами с защитным покрытием в отличие от крупнозернистого металла слитка имеет мелкозернистую структуру и равномерное распределение зерен Φ и Π , что свидетельствует о замедленном охлаждении пластичного металла. Микроанализ не выявляет наличия нитридов и кислорода.

Микроструктура шва среднеуглеродистых сталей отличается повышенным количеством и более крупным зерном перлита. Встречаются участки перегретой стали, иногда с крупными, расположенными под углом $60-90^\circ$ друг к другу «видманштеттовыми» кристаллами. Такая сталь имеет пониженные механические свойства, особенно пластичность и вязкость.

1. Технологические особенности сварки сталей

Сварка низкоуглеродистых сталей

2.1. Характеристика сталей

Углеродистая сталь широко применяется в машинах, оборудовании, строительных сооружениях. Температурная область применения от -40 до 425°C .

Механические и технологические свойства сталей в значительной степени зависят от их раскисленности.

Кипящие стали – раскислены только Mn , содержание Si меньше $0,05\%$.

Для них характерна повышенная неравномерность распределения S и P и хрупкость.

Спокойные стали получены полным раскислением Si , Mn , Al . Азот и кислород в них связаны Al . Дисперсность Φ - Π -ой структуры повышена, повышена ударная вязкость. Прочность сталей закономерно возрастает с увеличением содержания углерода (см. таблицу).

В сварных соединениях из малоуглеродистых сталей Φ - Π -я структура металлического шва и ЗТВ на отдельных участках может отличаться соотношением составляющих, дисперсностью и характером строения.

Феррит.

В зависимости от размера исходного зерна аустенита и условий охлаждения образуется:
 полиэдрический – при медленном охлаждении;
 игольчатый – при быстром охлаждении;
 видманшеттовый – из крупнозернистого аустенита при относительно быстром охлаждении.

Перлит.

При различной $V_{охл.}$ образуется собственно перлит, сорбит, троостит.

Таблица. Химический состав и прочность некоторых низкоуглеродистых сталей

Марка стали	Пределы содержания химических элементов, %			G_B , МПа
	C	Mn	Si	
Ст 3 кп	0,14 – 0,22	0,30 – 0,60	до 0,05	360-460
Ст 3 сп	0,14 – 0,22	0,40 – 0,65	0,15 – 0,30	380-490
Ст 3 Гпс	0,14 – 0,22	0,80 – 1,10	до 0,15	380-500
10	0,07 – 0,14	0,35 – 0,65	0,17 – 0,37	370
20	0,17 – 0,24	0,35-0,65	0,17 – 0,37	410

Технология сварки

Основные требования к сварным соединениям – обеспечение равнопрочности с основным металлом, и отсутствие дефектов. При соблюдении определенных условий низкоуглеродистые стали могут быть сварены всеми видами сварки. Кристаллизационные трещины возможны лишь при неблагоприятной форме провара (угловые швы), тогда рекомендуется подогрев. При сварке толстостенных конструкций (T от -10 до $-20^\circ C$) возможна закалка. Поэтому необходим подогрев.

В зависимости от условий применяют электроды с покрытием различного типа, но стержень всегда из малоуглеродистой сварочной проволоки Св – 08; Св – 08А; Св – 08ГА. Тип электрода: Э42, Э46 при сварке кипящих и полуспокойных сталей.

Э42А, Э46А – при сварке спокойных сталей.

Электроды с кислым покрытием (вид покрытия – А).

Марки: СМ- 5; ОММ – 5; ЦМ – 7. Род тока – любой.

Металл шва – полуспокойная сталь с повышенной (в сравнении с исходной) концентрацией O_2 и N_2 ; несколько повышенное содержание Si и Mn. Кремний предотвращает окисление углерода и тем самым – образование пор.

Электроды с кислым покрытием используются только для сварки низкоуглеродистых сталей кипящих и полуспокойных плавок.

Электроды с основным покрытием (вид п.Б).

Марки: УОНИ – 13/45; СМ – 11; ЦУ – 1; УОНИ – 13/55.

Ток постоянный, полярность обратная.

Металл шва хорошо раскислен, содержание водорода низкое, Mn много - низкая чувствительность к S; металл прочен и пластичен.

Применяется для сварки и низко -, и высокоуглеродистых сталей, рекомендуется для особо ответственных, жестких конструкций, толстостенных изделий .

Возможно образование пор:

- при наличии окалины на свариваемых кромках;
- сварка увлажненными электродами;
- сварка на длинной дуге – повышенное растворение азота в каплях.

Электроды с рутиловым покрытием (вид покрытия – Р)

Марки: АНО – 5; АНО – 6; МР – 3; ОЗС- 4 и другие.

Ток постоянный и переменный.

Содержание азота - среднее, кислорода – повышенное.

По механическим показателям металл занимает промежуточное положение в сравнении с металлом швов, полученных электродами с кислым и основным покрытием. При работе на повышенном токе наблюдается образование пор.

Отсыревшие электроды рекомендуется прокалывать при $T=180-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа и использовать через сутки.

Электроды с целлюлозным покрытием (вид покрытия Ц).

Марки: ВСЦ – 2; ВСЦ – 4; ВСЦ- 4А; ОМА- 2.

Обеспечивают преимущественно газовую защиту сварочной ванны.

Металл шва по химическому составу соответствует полуспокойной стали, содержащей $O_2 = 0,04-0,10$; $N_2=0,01-0,02\%$.

Рекомендуются для сварки тонкого металла, первого слоя шва без подкладки.

Сварка средне - и высокоуглеродистых сталей

Среднеуглеродистые стали

Стали, содержащие углерода от 0,25 до 0,30% – конструкционные 25 и 30 и общего назначения Ст4 (С до 0,27%)-свариваются удовлетворительно; стали 35,40 и Ст5 (С до 0,37%)- ограниченно.

Электроды: Э42 А, Э46А или Э50А.

Диаметр электрода $d_э=4-5\text{ мм}$. Ток пониженный, постоянный обратной полярности (меньше проплавление). В шве содержание углерода 0,10-0,15%С, для обеспечения равнопрочности он легируется Si и Mn (за счет покрытия).

Хорошее качество сварки обеспечивает комплекс мер:

1. Подготовка к сварке: очистка, обработка кромок (при S от 5мм), закрепление прихватками.
2. Соблюдение режимов сварки
3. Применение специальных технологических приемов.

Многослойная сварка

При $S>15\text{ мм}$. Горкой, каскадом или блоками (рис. 98)

При сварке «горкой» наплавляют первый слой длиной до 300 мм от середины разделки кромок, второй слой – от середины по шву и далее по разделке, аналогично выполняется и третий (длиннее предыдущего на 200-300 мм) и т.д.

Для уменьшения тепловложения, например, при сварке коррозионностойких сталей, разделку заполняют узкими валиками; если перегрев стали допустим, то можно прокладывать широкие слои.

Стали 25 и Ст4 при S до 15мм – сваривают без подогрева. С большими показателями (С,% и S)- предварительный и сопутствующий подогрев до 120-150°C.

Дополнительные особенности:

- дугу зажигать только по линии шва;
- не допускать пересечения швов, незаваренных кратеров;
- прокладывать отжигающий валик;
- замедлять $V_{охл}$ (обмотка стыка асбестом).

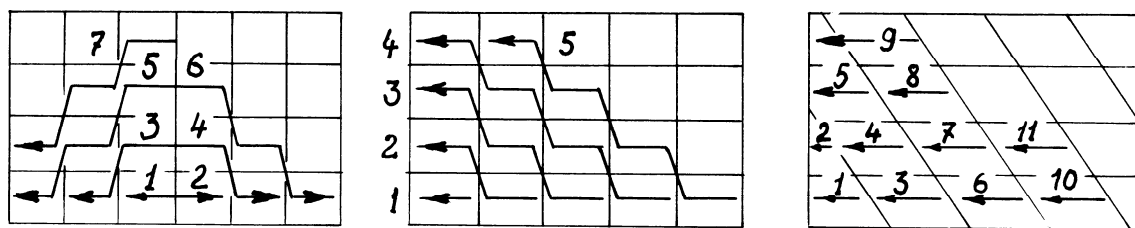


Рис.98. Многослойная сварка горкой, каскадом и блоками

Сварка высокоуглеродистых сталей

Стали 45, 50, 60, литейные с содержанием углерода до 0,7% и Ст6 (0,38 – 0,49 С%) свариваются плохо

При сварке следует придерживаться правил, предусмотренных для среднеуглеродистых сталей. Обязателен предварительный и сопутствующий подогрев до более высокой температуры – 350 – 400 °С и последующая термическая обработка.

Хорошие результаты дает сварка узкими короткими валиками с охлаждением каждого слоя.

Сварка легированных сталей

Характеристика сталей.

Низколегированные – до 2,5% легирующих элементов;

Среднелегированные – 2,5 – 10 %;

Высоколегированные – от 10 до 50%.

Считают легирующими: марганец при концентрации более 1% , кремний, при концентрации более 0,8%.

Таблица. Рекомендуемые для сварки электроды

Марка стали	σ_b , МПа	Электроды	
		тип	марка
09Г2С 10Г2 10ХСНД 14Г2	450	Э46А	УОНИ – 13 /45, СМ - 11
		Э50А	УОНИ – 13/55, АНО – 11, К- 5А
15ХСНД 16ГС, 17ГС 16ГФР	650	Э55	УОНИ - 13/55 У

Низколегированные стали имеют прочность после нормализации или заковки от 450 до 650 МПа (см. таблицу). Это в основном строительные стали.

Особенности сварки низколегированных сталей.

Стали 09Г2С, 10Г2 и другие сваривают практически как низкоуглеродистые. Они не закаляются и не склонны к перегреву.

Стали 15ХСНД, 16ГС и другие с содержанием углерода до 0,18% имеют склонность к образованию закалочных структур и перегреву в ЗТВ. Сваривают электродом d до 4-5 мм, в несколько слоев; при $S > 15$ мм «блоками», «каскадом» или «горкой».

Имеется особая группа высокопрочных сталей, отнесенных к низколегированным конструкционным: 14Х2ГМ; 14Х2ГМРБ; 14ХМНДФР, с содержанием легирующих элементов 3 – 5% и прочностью $\sigma_b = 650 – 850$ МПа.

Высокопрочные стали обладают удовлетворительной свариваемостью. Низкое содержание углерода приводит к образованию при охлаждении БЕЙНИТА или РЕЕЧНОГО МАРТЕНСИТА, т.к. распад аустенита идет при $T > 350^\circ\text{C}$ – напряжения низкие, ХТ образуются редко. Рекомендуются для сварки электроды типа Э70 марки АНП-2 с основным покрытием.

Требования к подготовке, сборке, технике сварки ужесточены:

- тщательная подготовка и очистка кромок шириной от 20мм;
- надрезы, царапины зачистить шлифовальным кругом на глубину 0,2-0,3мм;
- установка выводных планок в конце и в начале стыкового соединения;
- предварительный подогрев толстых ($S > 20\text{мм}$) изделий до $60-100^\circ\text{C}$, при отрицательных температурах подогрев до $100-120^\circ\text{C}$.

Сварка среднелегированных сталей.

Стали типа 25ХГСА; 30Х2Н2М машиностроительные нормализованные или закаленные $G_v = 900-1300\text{МПа}$.

Сварка их затруднена вследствие склонности к образованию закалочных структур.

Повышенное содержание углерода снижает T^0 мартенситного превращения, способствует образованию малопластичного игольчатого мартенсита. Кроме того, с увеличением содержания углерода увеличивается объем мартенсита.

Наличие легирующих элементов формирует у места сплавления высокотемпературную химическую микронеоднородность (ВХМН), что вызывает склонность к образованию трещин. Таким образом, стали склонны к образованию и ГТ, и ХТ.

Во избежание образования ХТ:

- в деталях должны быть предусмотрены плавные конструктивные переходы, закругления;
- замедляют $V_{охл}$ сварного соединения за счет подогрева;
- применяют сборочные приспособления, обеспечивающие свободную усадку швов.

Подогрев для сталей типа 30ХГСА (при $S > 3\text{мм}$ и $T = 5-15^\circ\text{C}$) до $200-300^\circ\text{C}$.

Сразу после сварки - высокий отпуск. Разупрочнение ЗТВ требует выполнения общей закалки изделия.

Сварку ведут электродами с основным покрытием. Тип электрода Э85 (марка УОИИ-13/85); Э100 (ВИ-10-6); Э125 (НИАТ-3М) и другие.

.Высоколегированные стали

Высоколегированные - это стали специального назначения: нержавеющие, жаропрочные, кислотостойкие и так далее.

Особенности: они обладают повышенным (до 1,5 раза) коэффициентом линейного расширения и пониженным (до 2 раз) коэффициентом теплопроводности в сравнении с низколегированными сталями. Большинство из них склонно к образованию трещин (и горячих, и холодных). Кроме того, при сварке поверхность их нужно предохранять от брызг металла и шлака (иначе – корродирование и концентрация напряжений). С этой целью на поверхность наносят кремнийорганический лак, грунт типа ВЛ – 02.

Важная отличительная особенность. Электроды должны иметь стержни и покрытия, обеспечивающие получение наплавленного металла, близкого по составу к основному.

Легирующие элементы введены в металл электрода. Тип электрода указывает на состав металла шва; например, свариваемая сталь 12Х13, тип электрода Э12Х13, марка УОНИ – 10Х13; сталь 15Х11 ВМФ, тип электрода Э12Х11НМВФ, марка КТИ – 10. Ток постоянный, полярность обратная.

2 Сварка чугуна.

Способы сварки чугуна

В зависимости от конструктивных и технологических требований, предъявляемых к изделиям сваривают их дуговой, газовой, термитной сваркой или заливкой жидким чугуном. Технологические процессы могут быть выполнены сваркой, низкотемпературной пайко-сваркой (без расплавления основного металла), с образованием ванны большого размера; вручную или механизированным способом.

По температурному состоянию свариваемого изделия:

1. Горячая сварка – с предварительным нагревом до 650°C ;
2. Полугорячая сварка с полным или местным подогревом до температуры 300°C ;
3. Холодная сварка – без подогрева изделия.

Эксплуатационное назначение изделия, требования к обрабатываемости определяют выбор присадочного материала.

В зависимости от массы и габаритов восстанавливаемых изделий рекомендуются следующие способы и технологические особенности сварки:

1. Мелкие детали (тракторов, автомобилей, машин и оборудования) - газовая сварка с общим предварительным нагревом и применением чугунной присадки
2. Детали средних габаритов и массы (от 100 до 1000 кг):
 - общий подогрев, дуговая сварка с применением чугунной присадки;
 - холодная дуговая сварка стальными электродами с постановкой стальных шпилек;
 - при наличии обрабатываемых скользящих поверхностей – сварка железоникелевыми электродами.
3. Крупные изделия (станины, рамы, корпуса) – холодная сварка стальными электродами с постановкой шпилек и вваркой в шов поперечных стальных связей, при небольших разрушениях применяют железоникелевые или медно-железные электроды; при заварке пробоин в стенках применяют стальные заплаты (рис.99) с отбортованными краями (для облегчения усадки).

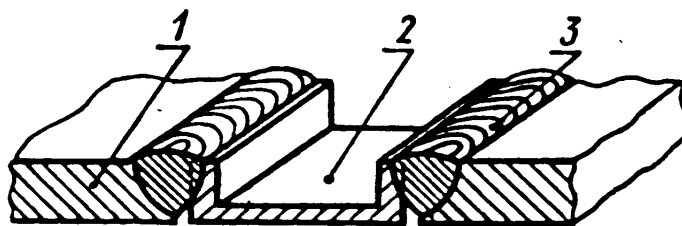


Рис.99.Схема заварки пробоины:
1-деталь; 2- стальная вставка;
3-шов

Горячая сварка чугуна

Область применения:

- обрабатываемые рабочие и нерабочие поверхности;
- сквозные дефекты деталей;
- крупные дефекты.

Способы сварки:

- ручная дуговая чугунами электродами;
- механизированная дуговая порошковыми проволоками;
- полуавтоматическая порошковой проволокой с использованием керамических стержней;
- газовая с чугунной присадкой;

Ручная дуговая сварка чугунами электродами

Применяется для исправления крупных дефектов.

Подготовка – зачистка и разделка полости.

Формовка. Чугун жидкотекуч, а масса сварочной ванны может составлять несколько килограммов. Для предотвращения вытекания металла и придания наплавленному металлу нужной формы формуют завариваемую полость с помощью графитных пластин и формовочной массы, а при больших размерах дефектов - в опоках формовочными смесями.

Нагрев. Общий равномерный нагрев - при расположении дефекта в жестком контуре, а также во избежание возникновения напряжений. Местный нагрев – рекомендуется, если дефект в нежестком контуре и допустимо некоторое коробление изделия. Мелкие детали подогревают до 200-500, крупногабаритные – до 650 °С.

Сварка. Большая сварочная ванна (площадью до 50-60 кв. см.) обеспечивает удаление из расплава газов и неметаллических включений.

Электроды чугунные диаметром от 8 до 16 мм марок ОМЧ, ВЧ-3, МЧ-1 (стержни марок А и Б), при силе тока от 600 до 1800 А. Источники тока: ВДМ-1601, ВДУ-1201, ТДФ-1601 и другие. Можно заваривать дефекты угольными электродами диаметром 8-12 мм, ток переменный или постоянный (прямая полярность) от 180 до 600 А. Присадочный материал - стержни марок А и Б, флюс – бура или смесь буры и соды (по 50%).

Охлаждение. Медленное охлаждение (например, вместе с печью или под слоем мелкого древесного угля) исключает возникновение больших остаточных напряжений и трещин, а также появление структур отбела и закалки.

Газовая сварка

Для исправления дефектов небольших и средних размеров (пл. до 100 кв. см) с применением присадочных чугунных прутков: А и Б или I и II, дающих ферритную структуру наплавленного металла.

Прутки марок I и А используются для сварки крупногабаритных отливок с общим подогревом до 500-700 °С, а марок II и Б – для деталей сложного профиля с тонкими стенками и местным подогревом до 300-400 °С (полугорячая сварка).

Местный нагрев осуществляется в горнах (на коксовом угле), пламенными горелками, паяльными лампами. Общий нагрев – в коксовых горнах, нагревательных ямных печах (единичные работы); в сдвоенных камерных печах, печах с выдвижным подом (мелкосерийное производство).

Сварка производится нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. Излишек ацетилена вызывает пористость. Окисляющее пламя и медленная сварка – образуют много оксидов, шлаковых включений.

Можно применить газы-заменители ацетилена, специальные горелки типа ГЗУ или универсальные Г2 и Г3 с наконечниками на один номер больше, чем при ацетилено-кислородной сварке. Расход газа 60-70 л/ч пропан-бутана или 100-120 л/ч ацетилена на 1 мм толщины изделия.

При использовании газов-заменителей в 2-3 раза увеличивается расход кислорода, требуется высокая квалификация сварщика (зоны пламени выражены нечетко).

При горячей газовой сварке обязательно применение флюсов. Флюсы предотвращают окисление кромок твердого металла, извлекают оксиды и неметаллические включения из ванны, способствуют образованию шлакового защитного слоя на поверхности ванны.

Флюсы улучшают также смачивание поверхности основного металла жидким расплавом.

Флюсы:

1. бура техническая плавленая, прокаленная ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$);
2. бура и двууглекислый натрий (по 50%).

Холодная сварка чугуна

Холодную сварку применяют, когда трудно или экономически нецелесообразно выполнять горячую сварку с подогревом. Сварку ведут различными электродами:

чугунными, из никелевого аустенитного чугуна; стальными со специальным покрытием или без него; медными (из монель - металла); комбинированными.

Сварка чугунными электродами

Применяется для исправления дефектов чугунного литья прутками марок А и Б на постоянном или переменном токе. Металл шва по химическому составу близок к основному металлу. Однако по шву и в ЗТВ металл «отбеливается», что затрудняет последующую механическую обработку.

Электроды из специальных никелевых чугунов дают хорошо обрабатываемый металл. При этом сваривают (заваривают) в несколько слоев с возвратно-поступательным движением электрода. Основной недостаток - низкая стойкость металла шва против трещин.

Сварка стальными электродами с постановкой шпилек

Применяется для разгрузки металла шва от напряжений или повышения прочности (сварные соединения в крупногабаритных изделиях, работающих под нагрузкой).

Подготовка. Кромки разделяют под углом в 45 градусов (при S больше 6 мм), просверливают глухие отверстия, нарезают (без масла) в них резьбу и ввертывают стальные (с низким содержанием углерода) шпильки (рис. 100). В разделку устанавливают шпильки в один (S меньше 10 - 12 мм) или два ряда (S больше 12 мм) в шахматном порядке с расстоянием между рядами $\ell_0 = (3-4)d_{ш}$. Рядом с разделкой устанавливают шпильки меньшего диаметра; шаг от 5 до 20 мм. Подготовленные кромки очищают и устанавливают под сварку.

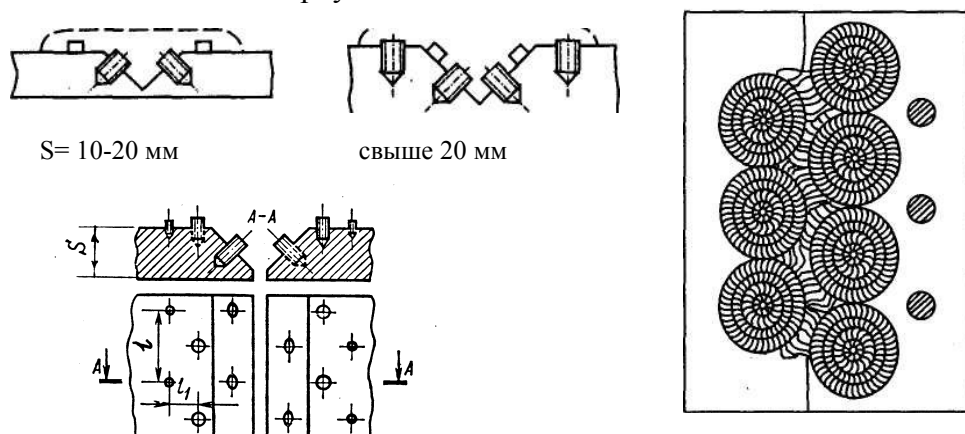


Рис.100.Схема установки и обварки стальных шпилек

Диаметр шпилек $d_{ш}$ и их размещение. Диаметр $d_{ш}$ при толщине свариваемых кромок до 10 мм не должен превышать 6 мм, при больших толщинах (до 30 мм и более) $d_{ш} = 10 - 16$ мм.

Шаг в ряду шпилек $\ell = 40 - 80$ мм, расстояние до ребра кромки $(1,5 - 2,0)d_{ш}$. Глубина ввертывания $1,5 d_{ш}$, высота выступающей части от 0,5 до $1,0 d_{ш}$.

Формирование шва. Сначала обваривают шпильки кольцевыми валиками, затем накладывают круговые валики второго слоя и заполняют далее разделку короткими участками по 60 – 150 мм, чтобы не разогреть сильно изделие.

Сварка электродами на медно-никелевой основе

Применяется:

- когда наплавленный металл должен хорошо обрабатываться;
- от сварного соединения не требуется большой прочности;
- дефект после разделки имеет глубину до 15 – 20 мм и площадь наплавки металла до 30 см^2 (с наполнителем – до 50 см^2).

Электроды на Cu – Ni основе МНЧ – 2 обеспечивают получение плотного наплавленного металла, имеющего твердость HB 140 – 160. В зоне сплавления образуется узкая полоска повышенной твердости, не ухудшающая обрабатываемость. Получается чистая и ровная

поверхность при толщине снимаемой стружки до 4 мм. Электроды МНЧ -2 имеют медно-никелевый 3 – 6 мм стержень и специальное покрытие.

Электроды d3 мм применяют при заварке небольших дефектов и для укладки первого слоя при многослойной наварке.

Электроды d=4 – 5 мм - при заварке дефектов средних размеров; для первых (изолированных) слоев при многослойной наплавке стальными электродами.

Электроды d=6 мм - для заварки дефектов средних и крупных размеров в качестве наполнителя по слоям, выполненным медно-стальными (стальными) электродами. Ток постоянный, полярность обратная.

$I = (25 - 30) d_3$.

Порядок укладки валиков:

-проложить валик длиной до 60 – 70 мм, очистить его от шлака, зачистить металлической щеткой, проковать легкими ударами, дать остыть;

-проложить параллельно второй валик с перекрытием первого на треть ширины; очистить, зачистить, проковать для снижения напряжений, остудить;

-заполнить указанным способом весь дефект с учетом припуска на обработку высотой 3 – 4 мм.

Газовая сварка.

Применяется в тех случаях, когда не затруднена деформация, например, приварка отбитых частей.

Чтобы обеспечить замедленное охлаждение сварного соединения мощность пламени должна быть максимально возможной.

Допускается подготовку кромок выполнять расплавлением их горелкой, жидкий чугун при этом быстро удалять скребком или присадочным прутом при обильном введении флюса. Этот способ разделки кромок обеспечивает снижение скорости охлаждения соединения и удаление проникших в пористый чугун жиров, примесей.

В остальном режимы и техника сварки такие же, как при горячей сварке чугуна. Флюсы и присадочные материалы те же.

3. Наплавка Пайка

Наплавка

Наплавка-процесс нанесения слоя расплавленного металла на поверхность детали.

Основная схема: химические связи формируются благодаря наличию ванны жидких металлов – наплавляемого и основного (частично оплавленной детали)

Применимы все способы сварки.

Вторая схема: расплавляется наплавляемый металл, а поверхность детали нагревается до температуры смачивания.

Цель наплавки – повышение механических и физических свойств металла в определённом месте изделия или восстановление изношенной поверхности детали, а так же получение особого поверхностного слоя новой детали.

Материалы наплавочные: литые керамические и порошковые твёрдые сплавы содержащие карбиды Mn, Cr, W, Ti и др.

Толщина наплавленного слоя от 0,2 до 2 мм, иногда до 10 мм.

Проплавление основного металла и перемешивание его с наплавленным металлом должно быть минимальным для сохранения механических свойств наплавляемого слоя.

Способы наплавки различны. Чаще – электродуговые.

Ручная дуговая наплавка металлическими электродами.

Простой способ. Можно наплавлять детали любой формы. Наплавку ведут короткой дугой на минимальном токе.

Применяют:

-обычные покрытые электроды;

- специальные, покрытые для наплавки;
- угольные электроды для наплавки порошковых смесей (восстанавливают ножи грейдеров, лапки культиваторов и т.п.)

Автоматическая дуговая наплавка под флюсом

С целью снижения доли основного металла m (при обычных режимах с электродной проволокой $m=0.45-0.65$) применяют многоэлектродную наплавку – несколько электродных проволок плавятся блуждающей дугой. При этом получают $m=0.2-0.3$.

Применение тонкой широкой ленты или поперечных колебаний электродной проволоки даёт $m=0,08-0,15$.

Порошковая проволока ПП-АН120 типа 18ХГ1М с флюсом АН-60 применяется для наплавки катков и натяжных колес гусеничных машин. Порошковая лента - для наплавки высокохромистого износостойкого сплава «Сормайт» на детали, работающие в условиях интенсивного абразивного изнашивания (лапки культиватора).

Дуговая наплавка в газовой среде

Вибродуговая наплавка

Вибродуговая наплавка (рис.101) выполняется в инертных или активных газах (CO_2) для восстановления изношенных валов, осей. Присадочной проволокой $\varnothing 1,5-2,0$ мм в специальном электролите (водный 3-4% раствор кальцинированной соды Na_2CO_3).

Сущность процесса: возникает электрический разряд в электролите, тепло оплавляет конец вибрирующей проволоки. Расплавляемый металл в момент касания детали электродом переносится принудительно на деталь.

Изделие не нагревается (хотя ванночка металла есть), поэтому можно наплавлять термически обработанные детали.

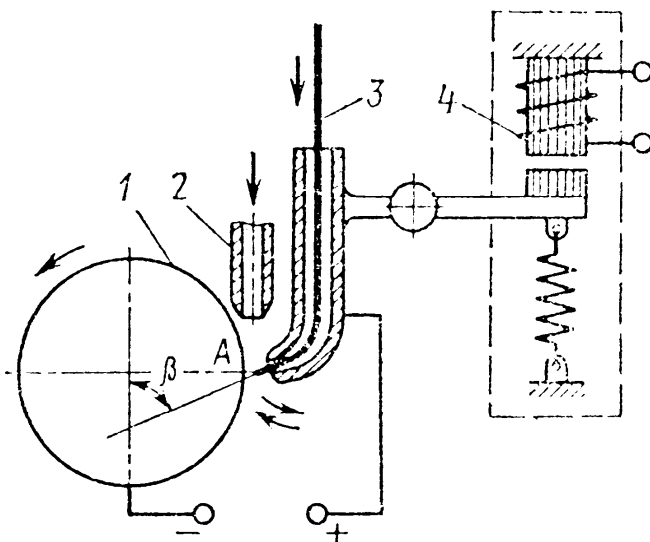


Рис.101.Схема вибродуговой наплавки:

1-изделие; 2-сопло подачи жидкости; 3-проволока-электрод; 4-вибратор

Напыление покрытий

Нагревание мелких частиц напыляемого материала и перенос их на поверхность изделия-подложки.

Покрытия: защитные, упрочняющие, декоративные.

Материал: металлы, керамика, полимеры.

Подложки: металл, стекло, ткани.

Пайка.

Пайка – технологический процесс соединения заготовок без расплавления их кромок путём смачивания сопрягаемых поверхностей расплавленным припоем с его последующей кристаллизацией.

Для хорошего смачивания соединяемых кромок и заполнения зазора между ними заготовки нагревают до температуры близкой к температуре плавления. Неразъемность соединения обеспечивается за счет взаимного растворения и диффузии припоя и основного материала. Заметим, что паяное неразъемное соединение можно распаять.

Такие соединения выполняются в основном внахлестку и встык.

Паять можно:

- цветные металлы и сплавы;
- чугуны серые и ковкие;
- углеродистые и легированные стали;
- твердые сплавы;
- стекло;
- керамику;
- разнородные материалы (из перечисленных).

Современные технологические процессы пайки позволяют получать соединения равнопрочные с основным металлом при статических нагрузках, пригодные для эксплуатации в различных условиях, в том числе при температуре выше 1000° С. Пайка экономичнее сварки, мало меняет химический состав и механические свойства изделий, вызывает меньшие остаточные деформации, но по прочности уступает сварке.

Качественное соединение можно получить при строгом соблюдении технологического процесса, правильном выборе припоя и флюса. Необходимое условие – тщательная очистка соединяемых поверхностей – достигается иногда механической очисткой, чаще – травлением и обезжириванием.

По температуре плавления припоя выделяют две группы процессов пайки:

Пайка низкотемпературная - мягкими припоями (Т пл. до 500° С) и пайка высокотемпературная (твердыми припоями, Т плавления выше 500° С).

Припой мягкие.

Оловянно–свинцовые: ПОС-90, ПОС-40, ПОС-30 (90-30% Sn, остальное Pb). Применяются для пайки посуды.

Оловянно-свинцово –сурьмяные - для пайки электрических проводников

Индиевые - пайка стекла, кварца, керамики.

Цинковые – пайка алюминия и сплавов.

Твердые припой (Т плавления до 1200° С).

Медные (МО... МЗ с содержанием Cu от 100 до 99,5%) для пайки сталей, керамики, тугоплавких материалов.

Медно–цинковые :ПМЦ- 42, ПМЦ –52 (52% Cu), латунь, Л68 с температурой плавления больше 1000 °С; для пайки стали.

Серебряные: ПСр 72, ПСр 92 (92,5% Ag ; 7% Cu ; 0,5% Li) для пайки Cu, Ni, Ti, W и сплавов полупроводников при высоких требованиях к прочности, стойкости к вибрациям.

Медные припои с 4-9% фосфора используют для пайки меди и ее сплавов как самофлюсующиеся, т. е. без применения флюсов.

Флюсы бывают твердые, пастообразные и жидкие.

Флюсы для низкотемпературной пайки.

Канифольные (чистая канифоль или раствор в спирте) для пайки медных сплавов, при добавке некоторых органических веществ – можно паять и медные сплавы, и оцинкованное, никелированное железо.

Галогенидные:

хлористый аммоний NH_4Cl ,

хлористый цинк ZnCl_2 .

Для пайки почти всех черных и цветных металлов.

Флюсы для высокотемпературной пайки.

Бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и борная кислота H_2BO_3 в различных сочетаниях для пайки чугуна, сталей углеродистых и медных сплавов медно – цинковыми и серебряными припоями.

Источники нагрева

Паяльник. Применяется для соединения проводников легкоплавкими оловянно-свинцовыми припоями.

Горелки газосварочные или плазменные.

Печи: электросопротивления, с индукционным нагревом, газопламенные и газовые.

Печи с расплавами солей или припоя. Температура ванны около 800°C .

На очищенные соединяемые поверхности наносят флюс, в зазоре или около размещают припой, скрепляют заготовки и погружают их в ванну.

Соляная ванна предохраняет от окисления.

1.4 Лекция № 4 (2 часа)

Тема: «Теоретические и практические основы обработки материалов резанием (ОМР)»

1.4.1 Вопросы лекции

1. Способы обработки металлов резанием.
2. Геометрические параметры режущей части резца. Материалы для изготовления режущих инструментов.
3. Явления возникающие в процессе резания металлов

1.4.2 Краткое содержание вопросов

Изучение этой темы начинается с ознакомления студентов с различными способами обработки резанием, какие движения в различных металлорежущих станках являются главными, какие - вспомогательными, и присущие этим движениям характеристики.

Необходимо досконально разобрать элементы резца и углы резца. Для правильного определения элементов резца (граней, режущих кромок и углов), поверхности на обрабатываемой детали и координатные плоскости.

При изучении материалов, применяемых для изготовления резцов, особое внимание следует обратить на марки быстрорежущих сталей и твердых сплавов, их состав, особенно на минералокерамические сплавы, которые имеют весьма высокую стойкость в работе и дешева в изготовлении. Важно также знать, при каких условиях применение того или иного материала режущей части резца дает наибольший экономический эффект.

Далее следует разобраться в понятии износа и стойкости режущего инструмента, виды износа и периоды стойкости.

Следует изучить силы, действующие на резец, обратив особое внимание на вертикальную составляющую P_7 —силу резания, а также на крутящий момент на шпинделе станка и мощность, затрачиваемую на резание. Особое внимание нужно уделить уяснению как влияют отдельные факторы режима резания и качество обрабатываемого материала на силу резания, а также какие существуют пути снижения силы резания без снижения производительности станка.

Изучить влияние различных показателей на скорость резания, особое внимание обратив на новые конструкции резцов. Скоростное и силовое резание, или высокопроизводительное резание - это резервы повышения производительности, поэтому следует внимательно познакомиться с факторами, оказывающими влияние на них, а также на то, каким образом можно добиться увеличения скорости резания при той же площади сечения срезаемого слоя.

1. Способы обработки металлов резанием.

Одним из важнейших факторов повышения производительности труда в машиностроении является систематическое снижение величины припусков на механическую обработку. Этому способствует применение штамповки вместо свободнойковки, периодического проката, литья под давлением, литья по выплавляемым моделям и других более совершенных методов изготовления заготовок, позволяющих выполнить их размеры и форму, максимально приближающимися к готовой детали. Это не только снижает объем механической обработки, но в ряде случаев дает возможность почти полного исключения последующей обработки резанием.

Основными методами обработки материалов резанием являются точение (рис. 1, а), сверление (рис. 1, б), фрезерование (рис. 1, в), строгание (рис. 1, г) и шлифование (рис. 1, д). Из них наиболее распространенным и изученным методом с точки зрения теории резания металлов является точение. Процесс точения имеет много общего со всеми другими методами механической обработки металлов, поэтому правильное понимание этого процесса облегчает изучение всех других методов обработки резанием, что и дает основание осветить точение более подробно.

2. Геометрические параметры режущей части резца. Материалы для изготовления режущих инструментов.

Рассмотрение углов режущих инструментов наиболее часто производят в статической системе координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки резца, ориентированной по направлению скорости главного движения резания. Углы рассматриваются в главной и вспомогательных секущих плоскостях и в плане.

При точении на детали различают необработанную поверхность 1, обрабатываемую поверхность 2 и обработанную поверхность 3. Обрабатываемой поверхностью называют поверхность, с которой снимается стружка. Обработанной поверхностью называется поверхность, полученная после снятия стружки.

Для определения углов резца устанавливают исходные плоскости: основную плоскость - 4; плоскость резания - 5.

Основной плоскостью называется плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения v . увеличить шероховатость обработанной поверхности

3.2.2 Материалы для изготовления режущих инструментов.

Режущие кромки инструментов в процессе работы находятся под действием больших давлений и, кроме того, нагреваются до высоких температур в результате деформирования обрабатываемого материала и наличия сил резания.

Поэтому инструментальные материалы должны обладать высокой твердостью (HRC 60. . 65), значительной теплостойкостью и износостойкостью, высокой механической прочностью и вязкостью.

Режущие инструменты целиком или частично изготавливают из инструментальных сталей и твердых сплавов.

Инструментальные стали разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие. Углеродистые стали бывают качественные и высококачественные. Высококачественные стали, обычно получаемые в электропечах, более чистые по химическому составу, т. е. содержат меньшее количество вредных примесей — серы и фосфора.

Для обозначения марки высококачественной стали вводится буква А. В марках инструментальных углеродистых сталей без буквы А серы и фосфора должно содержаться не более 0,03 и 0,035 %, а в марках с буквой А — не более 0,02 и 0,03 % каждого элемента соответственно. Буква У в марке стали обозначает, что эта сталь углеродистая; цифра в марке обозначает содержание в стали углерода в десятых долях процента.

Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления слесарно-монтажных и ручных режущих инструментов, работающих при малых скоростях резания. Зубила, отвертки, ножницы изготавливают из стали марок У7 и У7А; пробойники, ножи, ножницы, пуансоны, кернеры, пилы, ножовки - из стали марок У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А; слесарные метчики и напильники - из стали марок У11, УНА, У12, У12А, У13, У13А.

Инструменты из углеродистой стали подвергают термической обработке, которая состоит в закалке (нагреве до температуры 750. . 840 °С и быстром охлаждении в воде или масле) и последующем отпуске (при температуре около 200 °С), что обеспечивает необходимую твердость и достаточную пластичность материала инструмента. Инструменты из углеродистой инструментальной стали тщательно шлифуют и доводят до получения высокой остроты кромок, поэтому их успешно применяют там, где необходимо получить высокое качество обработанной поверхности при малых скоростях резания.

Легированные инструментальные стали, применяемые для изготовления режущих инструментов, можно разделить на хромистые, хромокремнистые, вольфрамовые и хромовольфрамомарганцовистые. Наиболее распространены следующие марки таких сталей: Х, 9ХС, В1 и ХВГ.

Из стали марки Х изготавливают метчики, плашки; из стали марки 9ХС

- сверла, развертки, фрезы, метчики и плашки. Сталь марки В1 рекомендуется для изготовления мелких сверл, метчиков, разверток, а сталь ХВГ — для изготовления протяжек, длинных метчиков и разверток.

Быстрорежущие (высоколегированные) стали применяют для изготовления различных инструментов (чаще фрез, сверл, зенкеров). Изготовленные из таких сталей режущие инструменты обладают высокой теплостойкостью и могут работать с более высокими скоростями резания и сечениями среза, чем инструменты из углеродистых и низколегированных инструментальных сталей. Важнейшие компоненты быстрорежущих сталей — вольфрам (9. . 18 %), а также хром и ванадий. Различают быстрорежущие стали нормальной и повышенной производительности. Наиболее распространены быстрорежущие стали нормальной производительности марок P18 (вольфрама -18%) и P9 (вольфрама -9%).

Инструменты из быстрорежущей стали подвергают закалке с нагревом до температуры 1270. . 1290 °С (для P18) и 1230. . 1250 °С (для P9) с последующим охлаждением в масле, трех-четырёхкратному отпуску при температуре 560. . 580 °С с выдержкой при этой температуре в течение 1 ч и охлаждению на воздухе. После такой термической обработки инструмент из быстрорежущей стали имеет высокую твердость (HRC 62. . 65).

Кроме вольфрама, быстрорежущие стали легируют молибденом, ванадием и кобальтом. Молибден действует, подобно вольфраму, но способствует появлению хрупкости в стали. Поэтому его содержание ограничивают 5 %. Введение ванадия повышает твердость стали, но уменьшает ее теплопроводность и ухудшает ее обрабатываемость шлифованием (появляются прижоги). Кобальт повышает износостойкость и теплопроводность стали. Вольфрамомолибденовую сталь P6M5 применяют взамен стали P18.

Группа быстрорежущих сталей повышенной производительности характеризуется введением в их состав ванадия и кобальта. Эти стали (P18K5Ф2, P10K5Ф5, P9KЮ, P14Ф4 и др.) обеспечивают повышение стойкости инструмента в 2. . 4 раза по сравнению со сталью P18. Применяют эту группу сталей для обработки нержавеющей и жаропрочных сплавов.

Твердые сплавы подразделяют на металлокерамические и минералокерамические и выпускают в виде различных пластинок, применяемых для оснащения режущих кромок инструментов. Инструменты, оснащенные пластинками из твердых сплавов, допускают особенно высокие скорости резания, так как их теплостойкость значительно выше, чем у инструментов из быстрорежущих, а тем более углеродистых сталей. Кроме того, твердые сплавы обладают большой сопротивляемостью истиранию.

Металлокерамические твердые сплавы разделяют на вольфрамовые (однокарбидные), вольфрамотитановые (двух карбидные),

вольфрамотитанотанталовые (трехкарбидные). Вольфрамовые сплавы (группы ВК) состоят из карбидов вольфрама WC и цементирующей связки — кобальта. Вольфрамотитановые сплавы (группа ТК) состоят из карбида вольфрама WC, карбида титана TiC и кобальта. Вольфрамотитанотанталовые сплавы (группы ТТК) состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта.

По марке твердого сплава можно судить о химическом составе сплава. Буква К с последующей цифрой обозначает содержание кобальта в процентах. Так, в сплаве ВК6 содержится 6 % кобальта, остальное (94 %) — карбиды вольфрама. Содержание карбидов титана в сплаве группы ТК дано цифрой после буквы Т. Например, в сплаве Т5К10 имеется 5 % карбидов титана, 10 % кобальта, остальное (85 %)

— карбиды вольфрама. В группе вольфрамотитанотанталовых сплавов (ТТК) после второй буквы Т дается суммарное содержание карбидов титана и карбидов тантала в процентах. Так, в сплаве ТТ7К15 содержится 7 % карбидов титана и тантала, 15 % кобальта, остальное (78 %) — карбиды вольфрама.

Сплавы группы ВК применяют при обработке деталей из чугуна. При обработке стальных деталей следует применять сплавы группы ТК и ТТК. Сплавы группы ТТК по прочности и стойкости занимают промежуточное положение между быстрорежущей сталью и твердым сплавом Т5КЮ.

С увеличением содержания кобальта сплавы становятся менее хрупкими, их прочность при изгибе увеличивается. Поэтому сплавы с большим содержанием кобальта применяют при черновой обработке, с меньшим — при чистовой.

Минералокерамические твердые сплавы — относительно новый инструментальный материал. Минералокерамика представляет собой окись алюминия Al_2O_3 , подвергнутую специальной термической обработке и выпускаемую в форме пластинок белого цвета разнообразных профилей и размеров.

Минералокерамика превосходит металл окерамические твердые сплавы по твердости и теплостойкости, но значительно уступает им в отношении вязкости и теплопроводности. Резцы с минералокерамическими пластинками применяют на чистовых операциях, т. е. при работе с высокими скоростями резания (свыше 200 м/мин), при подачах до 0,15 . . 0,6 мм/об при обработке стали и до 0,3 . . 0,8 мм/об при обработке чугуна.

В последние годы в качестве инструментального материала начинают применять керамико-металлические сплавы — *керметы*, состоящие из окиси алюминия Al_2O_3 и карбидов вольфрама, титана и молибдена. Пластины керметов марок ВОК-60, ВОК-63 и ВЗ имеют черный цвет; их выпускают в виде многогранных и круглых пластинок. Керметы примерно в два раза прочнее минералокерамики, но менее износостойки. Керметы применяют для чистовой обработки деталей.

Для чистового и тонкого точения (реже фрезерования) применяют также гексанит Р и синтетические поликристаллические алмазы типа «карбонадо». Гексанит получают из гексагонального графитоподобного нитрида бора с помощью ударных волн. Затем частицы гексанита спекают в условиях сверхвысоких давлений в компактные поликристаллические изделия — гексанит Р — массой 0,3...1,5 карата. Поликристаллы гексанита Р закрепляют на стальной державке припоем. Резцы из гексанита Р применяют для обработки закаленных и жаропрочных сталей, твердых сплавов. Резцы, оснащенные алмазами карбонадо, используют для обработки стеклопластиков, пластмасс, твердых сплавов, высококремнистых алюминиевых сплавов, цветных металлов, титановых сплавов и некоторых видов керамики. Применение инструмента из гексанита Р и карбонадо позволяет заменить операцию круглого шлифования точением.

Наиболее высокой теплостойкостью (высокими режущими свойствами) обладают металло- и минералокерамические твердые сплавы.

Значительную часть металлорежущего инструмента изготавливают составной — рабочая часть из инструментального материала (быстрорежущая сталь, металло- и минералокерамика), крепежная из конструкционных сталей (стали 45, 50, 40Х и др.; в случае тяжелогруженных корпусов — сталь У10 или 9ХС). Рабочую часть инструмента из быстрорежущей части соединяют с крепежной сваркой. Металло-керамические твердые

сплавы соединяют с крепежной частью пайкой или механическим путем. Инструменты из углеродистых и легированных инструментальных сталей изготавливают целиком из одного материала. Вспомогательный инструмент (оправки, переходные втулки и др.) делают из конструкционных сталей.

3. Явления возникающие в процессе резания металлов

Рассматриваем основные элементы режима резания, их определения, обозначения и размерности. Различные способы обработки резанием, а также вопросы стружкообразования, деформации металла в процессе резания и образования нароста весьма наглядно показаны на слайдах лекции и на сайте.

Для понимания физико-механических процессов, «отекающих при резании металлов, необходимо хорошо изучить явления, протекающие при стружкообразовании, Познакомиться с видами стружек, а также с деформацией металла в срезаемом слое.

Образование нароста на резце в процессе чистовой обработки пластических материалов является нежелательным явлением. Следует хорошо уяснить, почему именно при чистовой обработке нарост отрицательно влияет на качество обрабатываемой поверхности и какая его роль при черновой обработке, а также как влияют на образование нароста скорость резания и другие факторы.

Большое влияние на износ и стойкость инструмента, а также на качество обрабатываемой поверхности оказывает теплота, возникающая в процессе резания металлов. Следует хорошо разобраться в результате каких процессов, протекающих при резании, возникает теплота, Как она распределяется между стружкой, обрабатываемой заготовкой и резцом и каким образом перераспределяется это тепло между стружкой, заготовкой и резцом При изменении скорости резания, а также какие применяются смазочно-охлаждающие жидкости и способы подвода жидкости в зону резания с целью повышения стойкости режущего инструмента.

Следует изучить силы, действующие на резец, обратив особое внимание на вертикальную составляющую P_T —силу резания, а также на крутящий момент на шпинделе станка и мощность, затрачиваемую на резание. Особое внимание нужно уделить уяснению как влияют отдельные факторы режима резания и качество обрабатываемого материала на силу резания, а также какие существуют пути снижения силы резания без снижения производительности станка.

Изучить влияние различных показателей на скорость резания, особое внимание обратив на новые конструкции резцов. Скоростное и силовое резание, или высокопроизводительное резание - это резервы повышения производительности, поэтому следует внимательно познакомиться с факторами, оказывающими влияние на них, а также на то, каким образом можно добиться увеличения скорости резания при той же площади сечения срезаемого слоя.

1.5 Лекция № 5 (2 часа)

Тема: «Механизация и автоматизация технологических процессов обработки металлов»

1.5.1 Вопросы лекции

1. Механизация технологического процесса
2. Виды механизации (автоматизации)
3. Обобщенная характеристика состояния механизации (автоматизации) технологических процессов

1.5.2 Краткое содержание вопросов

Технологические операции и состоящие из них системы, в первую очередь, технологические процессы, могут быть выполнены за счет энергии только людей или при совместном использовании энергии людей и энергии неживой природы, получаемой в результате действия сил тяжести, электрических, магнитных и ядерных сил и т.д., либо при использовании только энергии неживой природы.

1. Механизация технологического процесса

При установлении понятий «механизация технологического процесса» и «автоматизация технологического процесса» определяющим признаком является обязательное применение энергии неживой природы в процессе изменения состояния или положения в пространстве предмета труда, независимо от участия людей, но при сохранении за людьми управления (частичном или полном исключении людей из управления) процессом.

При механизации (автоматизации) технологического процесса происходит: изменение или замена средств технологического оснащения с выполнением требований безопасности труда;

изменение, обычно сокращение, объемов труда людей.

Поэтому при анализе и оценке механизации или автоматизации технологического процесса рассматривают каждый компонент:

механизацию (автоматизацию) средств технологического оснащения,

механизацию (автоматизацию) живого труда.

При установлении понятий «механизация живого труда» и «автоматизация живого труда» определяющим признаком является обязательное частичное или полное освобождение людей от выполнения процесса изменения состояния или положения в пространстве предмета труда в результате использования энергии неживой природы при сохранении (исключении) участия людей в управлении процессом.

Пример 1. Ручное пропиливание шпоночного паза во втулке заменено долблением паза на станке.

В результате применения на некоторых переходах электрической энергии произошла частичная механизация процесса, в том числе механизация живого труда, поскольку ручная работа на части переходов оказалась исключенной.

Процессом долбления на станке управляет человек в виде периодических воздействий.

Пример 2. Ручное сверление отверстия с помощью коловорота заменено сверлением электродрелью.

Вследствие применения электрической энергии произошла механизация процесса обработки отверстия, при этом управление оставлено за человеком. Механизации живого труда не произошло, поскольку, несмотря на применение электрической энергии, не произошло исключения человека из процесса сверления.

Операция сверления с применением энергии неживой природы и энергии человека характеризуется механизированно-ручным методом ее выполнения (см. последующие разъяснения).

В зависимости от потребностей производства и поставленных технологических задач состояние механизации (автоматизации) технологического процесса или операции может изменяться в трех направлениях, поскольку доля неперекрытого машинного времени в штучном времени относительно начального положения может возрастать, оставаться неизменной, уменьшаться.

При каждом из трех возможных изменений состояний механизации могут быть достигнуты рост производительности труда, повышение качества продукции, улучшение условий производства и т.д.

«Качество механизации (автоматизации) технологического процесса» и «Состояние механизации (автоматизации) технологического процесса».

По аналогии с предметами производства механизация (автоматизация) технологического процесса обладает определенным качеством. Например, механизация может в два раза повысить ритм технологической операции, полностью освободить человека от трудоемких работ и т.д.

Под качеством продукции понимают совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением (см. ГОСТ 15467-70). Качество механизации (автоматизации) процесса определяет ее пригодность удовлетворять определенные требования к выполнению технологического процесса.

По мере развития средств технологического оснащения возникла необходимость рассмотрения механизации (автоматизации) процессов в некоторые моменты времени и введения понятия «состояние механизации (автоматизации) технологического процесса». Напомним, что техническим состоянием изделия называется совокупность свойств изделия, подверженная изменению в процессе производства или эксплуатации и характеризующаяся в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией (см. ГОСТ 19919-74).

«Ручной метод выполнения технологического процесса»

При ручном методе технологические операции и процессы выполняют люди без применения средств технологического оснащения и, следовательно, без использования энергии неживой природы или животных. Например, навинчивание («наживление») гаек или переноска деталей вручную, визуальный контроль невооруженным глазом.

«Кооперированно-ручной метод выполнения технологического процесса»

При кооперированно-ручном методе технологические операции и процессы выполняют люди с применением средств технологического оснащения, приводимых в действие энергией людей или животных. Например, сверление деталей коловоротом, нарезание резьбы метчиком вручную, перевозка деталей на ручной тележке, перевозка деталей с помощью лошадей, шитье на ручной или ножной швейной машине.

«Механизированно-ручной (автоматизированно-ручной) метод выполнения технологического процесса»

При механизированно-ручном методе технологические операции и процессы выполняют при одновременном использовании энергии людей и неживой природы, например, операция сверления электродрелью или фрезерования заготовок деталей, закрепленных в приспособлении на столе станка, подаваемом вручную.

При этом управление выполняют люди.

Если применяется автоматизированно-ручной метод, то технологические операции и процессы выполняют при одновременном использовании энергии людей и неживой природы и частичном участии людей в управлении, например, совмещение ручных приемов базирования и закрепления заготовок деталей на загрузочной позиции станка-

полуавтомата с обработкой без участия людей на других его позициях ранее установленных заготовок.

«Механизированный (автоматизированный) метод выполнения технологического процесса»

При механизированном (автоматизированном) методе технологические процессы и операции выполняют при использовании энергии неживой природы с сохранением (частичным сохранением) людьми функций управления.

Примером применения механизированного метода может служить операция точения на станке заготовки детали при ее вращении и подаче резца с помощью электрической энергии, с сохранением управления человеком.

Примером применения автоматизированного метода является выполнение операции точения дисков турбин, устанавливаемых на станок с числовым программным управлением (ЧПУ) при помощи механизированных подъемников в закрепляемых в пневмопатронах, обработка происходит без участия людей, которые выполняют часть функций наблюдения и управления.

«Автоматический метод выполнения технологического процесса»

При автоматическом методе технологические процессы или операции полностью, включая управление, выполняются без участия людей. Например, операция шлифования деталей типа втулки методом «на проход» на бесцентрошлифовальном станке, оснащенный автоматическим загрузочным устройством и автоподналадчиком, периодически возобновляющим режущие свойства инструмента и выставляющим его после правки в требуемое рабочее положение.

2. Виды механизации (автоматизации)

Примеры различных видов механизации технологического процесса, состоящего из четырех операций, приведены на черт. 1.

Условные обозначения методов выполнения операций:

Черт. 1. Примеры видов механизации технологического процесса

Время ручного исполнения операции отмечено незаштрихованными прямоугольниками, время механизированного - заштрихованными. Пояснения к этой схеме приведены далее при рассмотрении термина «Определитель комплексности механизации (автоматизации) технологических процессов».

«Первичная механизация (автоматизация) технологических процессов»

Первичную механизацию (автоматизацию) подразделяют на два вида, при которых: объектом механизации (автоматизации) является операция, выполняемая только человеком, например, операция навинчивания («наживления») гайки на болт вручную;

объектом механизации (автоматизации) является операция, выполняемая средствами технологического оснащения, приводимыми в действие человеком или животным, например, операция сверления человеком отверстий с помощью коловорота.

Первичная механизация (автоматизация) распространяется, в основном, на слесарные, монтажные и сборочные операции и процессы.

«Вторичная механизация (автоматизация) технологических процессов»

Объектом вторичной механизации (автоматизации) являются ранее механизированные (автоматизированные) технологические операции или процессы.

Многократное проведение вторичной механизации (автоматизации) вызвано развитием производства.

Вторичная механизация (автоматизация) распространяется в основном на заготовительные и обрабатывающие технологические операции и процессы.

«Штучное время и его составные части при механизации (автоматизации)»

Штучное время представляет одну из главных временных характеристик технологических операций. По функциональному (служебному) назначению штучное время $T^{\text{шт}}$, в общем случае, состоит из следующих частей:

основное технологическое время,
вспомогательное время,
время технического и организационного обслуживания,
время на отдых и естественные потребности,
дополнительное время, связанное с изготовлением партий изделий.

При механизации (автоматизации) операции штучное время подразделяют в соответствии с пп. 21 - 27 настоящего стандарта и хронограммами (черт. 2).

«Система характеристик механизации (автоматизации) технологического процесса»

Объективно достоверную оценку состояния механизации (автоматизации) технологического процесса обеспечивает система характеристик (черт. 3), представляющая взаимосвязанное единство двух подсистем:

подсистемы качественных характеристик;

подсистемы количественных характеристик.

«Степень механизации (автоматизации) технологических процессов»

В соответствии с ГОСТ 14.309-74 установлены следующие ступени применимости механизации и автоматизации технологических процессов:

- 1 - единичная технологическая операция;
- 2 - технологический процесс, рассматриваемый как совокупность операций;
- 3 - совокупность технологических процессов, выполняемых на производственном участке, линии или отделении;
- 4 - совокупность технологических процессов, выполняемых в пределах цеха;
- 5 - совокупность технологических процессов, выполняемых в группе технологически однородных цехов;
- 6 - совокупность технологических процессов, выполняемых в пределах предприятия;
- 7 - совокупность технологических процессов, выполняемых в пределах производственных фирм или научно-производственных объединений;
- 8 - совокупность технологических процессов, выполняемых в пределах территориально-экономического региона;
- 9 - совокупность технологических процессов, выполняемых в пределах отрасли промышленности;
- 10 - совокупность технологических процессов, выполняемых на уровне промышленности всей страны.

«Определитель комплексности механизации (автоматизации) технологических процессов»

В зависимости от вида механизации (автоматизации) технологических процессов различают единичные и комплексные механизированные (автоматизированные) технологические процессы или их системы.

Единичным механизированным (автоматизированным) является технологический процесс, в котором механизирована (автоматизирована) одна операция.

Если в технологическом процессе механизированы (автоматизированы) две и более входящих в них операций, то он является комплексным механизированным (автоматизированным).

Наличие комплексности устанавливается соблюдением неравенства

$$K^{M(A)} > 1, \text{ где}$$

$K^{M(A)}$ - число участвующих в механизации (автоматизации) первичных составных частей данной технологической системы.

Так, если из четырех операций технологического процесса механизированы две, три или все четыре операции - такой процесс называется комплексным механизированным.

Виды механизации технологического процесса, состоящего из четырех операций, приведены на черт. 1. При этом рассмотрены основные виды единичной и комплексной механизации по числу механизированных операций технологического процесса и по полноте использования в них энергии неживой природы.

«Категория механизации (автоматизации) технологических процессов»

В соответствии с ГОСТ 14.309-74 устанавливаются следующие категории механизации и автоматизации технологических процессов в зависимости от диапазона изменений временного уровня механизации СТО (см. п. 43 настоящего стандарта), приведенные в таблице.

Номер категории	Наименование категории	Диапазон изменений временного уровня механизации (автоматизации) СТО
0	Нулевая	0 - при отсутствии механизации (автоматизации) процесса
1	Низшая	Св. 0,00 до 0,25
2	Малая	» 0,25 » 0,45
3	Средняя	» 0,45 » 0,60
4	Большая	» 0,60 » 0,75
5	Повышенная	» 0,75 » 0,90
6	Высокая	» 0,90 » 0,99
7	Завершенная	1,00

Для расчета границ категорий выбран показатель d_n , так как он охватывает весь диапазон изменений уровня механизации (автоматизации) от 0 до 1. Показатель временного уровня механизации живого труда d_t (см. п. 42 настоящего стандарта) вследствие влияния многостаночного обслуживания обычно не превышает 0,5, а энергетические уровни механизации W_t и W_n (см. пп. 44 и 45 настоящего стандарта) в современных условиях находятся в пределах от 0,7 до 1,0.

3. Обобщенная характеристика состояния механизации (автоматизации) технологических процессов

Обобщенная характеристика состояния механизации (автоматизации) любой совокупности технологических процессов содержит сведения об их ступени, комплексности и категории механизации (автоматизации). При описании основных видов механизации и автоматизации применяют следующие условные обозначения:

М - единичная механизация;

А - единичная автоматизация;

КМ - комплексная (неполная или полная) механизация;

КА - комплексная (неполная или полная) автоматизация;

М (А) - единичная механизация и автоматизация, одновременно применяемые на технологическом объекте;

КМ (А) - комплексная (неполная или полная) механизация и автоматизация, одновременно применяемые на технологическом объекте.

Обобщенную характеристику состояния механизации (автоматизации) составляют по следующему алгоритму:

устанавливают номер ступени механизации или автоматизации в зависимости от объекта исследования, например, если оценивается состояние технологических процессов в цехе, то номер ступени 4;

по числу первичных частей рассматриваемого объекта, участвующих в его механизации (автоматизации), определяют ее комплексность, например, если из пяти участков цеха на двух участках технологические процессы механизированы, то в этом цехе совокупность технологических процессов комплексно механизирована, что записывается в виде КМ;

определяют значение величины d_n по формуле, приведенной далее (см. п. 43 настоящего стандарта) и находят категорию механизации, соответствующую найденному значению величины, например, d_n равна 0,78 и находится в границах 0,75 - 0,90, т.е. принадлежит к категории 5;

записывают обобщенную характеристику состояния механизации в цехе 4КМ5.

«Показатели состояния механизации (автоматизации)»*

* В расчетных формулах при обозначениях машинного времени допускается применение индекса «М» для механизации и индекса «А» для автоматизации, например, , или .

Аналитическое описание рассматриваемых показателей, применительно к оценке состояния механизации (автоматизации) технологической операции, имеет следующий вид:

Основные показатели

Хронограмма исходного состояния

где i - объемы полезной работы (кВт ? ч), выполненные машиной и человеком в течение штучного времени;

- объем полезной работы (кВт ? ч), выполненный машиной в течение неперекрытого машинного времени.

Дополнительные показатели

Дополнительные показатели состоят из двух групп: показателей состояния механизации (автоматизации) технологического процесса и показателей изменения ее состояния. Первая группа показателей относится к некоторому моменту времени, вторая - к интервалу времени.

Показатели состояния

где i - число i -тых первичных частей, например, рабочих, труд которых механизирован или автоматизирован;

aN_i - общее число i -тых первичных частей, например, рабочих, участвующих в выполнении исследуемых технологических процессов.

После проведения механизации (автоматизации) технологической операция хронограмма отражает новую структуру штучного времени, как это представлено на следующем рисунке (у штучного времени и составляющих его частей появляется индекс 2).

Хронограмма второго состояния

Все показатели состояния механизации (автоматизации) после проведения усовершенствования вычисляют по формулам, рассмотренным для первоначального состояния, с заменой величин с индексом «1» на величины с индексом «2».

Показатели изменения состояния:

где W^P и $W^{M(A)}$ - полезные мощности (кВт), развиваемые человеком и машиной.

Кроме дополнительных показателей, установленных настоящим стандартом, при анализе качества механизации или автоматизации могут применяться следующие дополнительные показатели:

1.6 Лекция № 6 (2 часа)

Тема: «Автоматизация сварочного производства»

1.6.1 Вопросы лекции

1. Основные понятия и определения теории автоматического управления в сварочном процессе.
2. Элементы автоматики сварочных процессов.
3. Анализ условий автоматизации сварочных процессов.

1.6.2 Краткое содержание вопросов

Ведущая роль в развитии экономики принадлежит машиностроению, призванному обеспечить все отрасли необходимыми машинами, аппаратами, приборами. Развитие научно-технического прогресса требует непрерывного совершенствования выпускаемых изделий с целью повышения их технико-эксплуатационных характеристик. В свою очередь, это связано с усложнением конструкций, причем темпы усложнения настолько велики, что часто намного превышают темпы развития технологии производства. Это сопровождается повышением металлоемкости и массы конструкций, как правило, увеличивается продолжительность производственных циклов, растет трудоемкость изготовления и себестоимость. Поэтому перед машиностроителями стоит задача повышать технический уровень производства на базе новейших достижений науки и техники с целью увеличения технико-экономических показателей изделий и снижения производственных затрат.

Решить поставленные задачи можно лишь применяя более совершенные методы проектирования конструкций, с неперенной отработкой их высокой технологичности, а в производстве - разрабатывая и используя наиболее прогрессивные технологии и оборудование, внедряя передовые формы организации труда. Развитие техники вызывает необходимость предъявления повышенных требований и к материалам. Все это создает предпосылки качественных изменений всего современного машиностроительного производства.

1 Основные понятия и определения теории автоматического управления в сварочном процессе.

Современное машиностроение, в том числе сварочное производство, характеризуется рядом общих особенностей, одновременно являющихся и направлениями его развития.

Первой характерной особенностью является существенное изменение номенклатуры (перечня) используемых конструкционных материалов. Нужно отметить, что развитие современной техники, возможность совершенствования конструкций, повышения их технических характеристик в значительной степени определяются прогрессивностью применяемых материалов. Одновременно это является одним из важнейших путей снижения металлоемкости конструкций. Для большинства отраслей машиностроения по-прежнему основным конструкционным материалом остается сталь. Однако вместо традиционных низкоуглеродистых сталей в номенклатуре применяемых материалов все более широкое использование находят низко- и среднелегированные конструкционные стали с пределом текучести 500-800 МПа, а также высокопрочные стали с пределом текучести 900-2000 МПа. Их применение позволяет резко повысить работоспособность изделий, их эксплуатационную надежность и одновременно уменьшить массу. Также непрерывно растут объем и номенклатура используемых легких сплавов на основе алюминия, титана, магния. Особенно большие изменения в номенклатуре применяемых материалов наблюдаются в таких сложных отраслях, как авиастроение, судостроение, химическое машиностроение и др.

Второй характерной особенностью современного машиностроения является изменение содержания самого производства. Использование новых материалов потребовало значительных изменений в технологии изготовления конструкций. При соединении деталей и узлов из новых материалов резко повысилась роль сварки. Использование сварочных процессов создает условия для проектирования более эффективных конструкций машин и значительной экономии, увеличивает их надежность и долговечность. Сварные конструкции обладают рядом производственно-технологических достоинств, обеспечивающих их высокие технико-эксплуатационные

показатели, что обеспечивает им, в свою очередь, широкое распространение в промышленности. К числу основных особенностей можно отнести следующие:

- Органическая связь отдельных элементов (деталей, узлов, агрегатов) друг с другом с помощью сварных соединений позволяет обеспечить монолитность конструкции. Это позволяет совмещать преимущества составной конструкции в производстве с достоинствами монолитных в эксплуатации.
- Упрощение конструкции соединений, возможность получения разнообразных конструктивных форм при использовании простых элементов с разными параметрами, полученных с помощью разных технологических процессов, наиболее соответствующих их назначению и экономичности. В результате расширяются возможности выбора более рациональных конструктивных решений и создания высококачественных и надежных изделий.
- Высокие физико-механические свойства сварных соединений, возможность применения в конструкциях разнородных материалов, наиболее соответствующих условиям работы различных элементов. Это позволяет полноценно использовать свойства материалов, уменьшать массу и металлоемкость конструкций.

Высокая технологичность сварных конструкций и упрощение технологии их изготовления являются основой снижения производственных затрат. Это выражается в сокращении сроков освоения производства, снижении трудоемкости и себестоимости выпускаемых изделий.

Использование **сварных соединений** расширяет технические возможности создания более совершенных конструкций, позволяет обеспечить высокие производственные показатели при их изготовлении и улучшить условия труда работающих.

Однако необходимо отметить, что **сварка** является лишь определенным технологическим способом получения неразъемных соединений, а поэтому сама по себе не может являться самостоятельным производством или служить самоцелью какого-либо производственного процесса. Она должна рассматриваться как средство достижения иной цели - получения сварных конструкций определенного назначения. Изготовление же сварных конструкций сложно, имеет свои особенности, включает ряд разных работ: получение заготовок и деталей, отвечающих необходимым требованиям позиции сварки, подготовку их под сварку, сборку, транспортировку, дополнительную доработку, контроль и т.п., - без которых **сварка** не может производиться и которые с ней тесно связаны во многом определяют получение конструкций с заданными свойствами. При этом трудоемкость чисто **сварочных работ**, как правила составляет относительно небольшой удельный объем в общей трудоемкости технологического процесса. Отмеченный комплекс работ в целом и рассматривается как сварочное производство, организуемое обязательно с учетом особенностей той или иной отрасли машиностроения. Такое широкое комплексное рассмотрение **сварочного производства** необходимо в вопросах совершенствования как самих сварных конструкций, так и методов и изготовления. Это отвечает задачам технического прогресса, в частности более эффективному использованию сварочных процессов. Непрерывное усложнение конструкций, как отмечалось, неизменно сопровождается возрастанием трудоемкости их изготовления и себестоимости. Поэтому механизация и автоматизация производства также являются одной из характерных особенностей развития современного производства. Правильное использование средств механизации и автоматизации позволяет сократить производственный цикл, уменьшить трудоемкость изготовления и себестоимость выпускаемой продукции, более эффективно использовать производственные площади и обслуживающий персонал, обеспечить равномерный выпуск продукции высокого, а главное - стабильного качества, что в итоге ведет к повышению ресурсов и эксплуатационной надежности изделий. Поэтому необходимо принимать меры для

повышения уровня механизации и автоматизации сварочного производства в машиностроении, где еще значителен объем сварочных работ, выполняемых вручную, и расходуется 26% производимых **покрытых электродов**.

Дальнейший прогресс возможен только при условии комплексной механизации и автоматизации всего производственного процесса, включая заготовительные, сборочные, транспортные, отделочные, контрольные и вспомогательные операции. Для дальнейшего совершенствования производства сварных конструкций и увеличения доли механизированной сварки необходимо изыскание и создание оборудования и форм организации работ, позволяющих интенсифицировать основные и вспомогательные операции не в произвольно увеличенной степени, а в той мере, в какой они одновременно соответствуют и требованиям научно-технического прогресса, и условиям экономической эффективности использования создаваемых средств при соответственно наивысшем организационно-техническом уровне производства в целом. Одной из особенностей современного машиностроения является комплексная нормализация и специализация элементов производственной системы. Непрерывное усложнение конструкций сопровождается увеличением числа и усложнением составляющих их элементов (деталей, узлов, конструкций). В результате номенклатура **сварных узлов**, изготавливаемых в машиностроении, отличается исключительным многообразием. Наряду с изделиями-малютками, используемыми в приборостроении, приходится встречаться с узлами-гигантами, протяженность сварных соединений которых исчисляется десятками и сотнями метров. При таких обстоятельствах вопросы комплексной нормализации и специализации производства приобретают большое значение. Базой для решения этих вопросов должна служить научно обоснованная классификация Деталей и узлов по их конструктивно-технологическим признакам. В результате классификации производится объединение узлов в группы по их конструктивной и технологической общности и разработка обобщенных типовых технологических процессов на базе однотипной оснастки, создаваемой из нормализованных и унифицированных элементов - агрегатов, легко перенастраиваемого оборудования и автоматизированных методов производства. К тому же открывающаяся при этом возможность создания групп однотипных конструкций и концентрации их производства обеспечивает повышение уровня специализации производственных подразделений. Отмеченные особенности одновременно являются и направлениями в развитии производства, в том числе и сварочного, машиностроении.

2. Элементы автоматики сварочных процессов.

При рассмотрении сварочных операций различают механизацию и автоматизацию основных и вспомогательных работ. Механизация основных работ, например применительно к дуговой сварке, включает подачу присадочных, защитных и вспомогательных материалов в зону плавления и перемещение сварочного инструмента (или группы инструментов) вдоль линии соединения во время сварки. При автоматизации основных работ (той же дуговой сварки) автоматическое управление выполняет следующие функции: возбуждение дугового процесса с изменением параметров режима от нулевых до заданных значений в начале сварки; стабилизацию параметров режима в течение сварки или заданное их изменение; прекращение дугового процесса при изменении параметров режима от заданных значений до нулевых; корректировку положения сварочного инструмента в процессе сварки в зависимости от случайных отклонений линии соединения свариваемых элементов от расчетного положения; корректировку значений параметров процесса сварки в зависимости от случайных отклонений параметров соединения свариваемых элементов на входе в зону сварки и в зоне сварки, а также параметров получаемого сварного соединения на выходе из зоны сварки (по сравнению с расчетными значениями).

Механизация вспомогательных работ на сварочных станках и установках охватывает загрузку и закрепление заготовок и последующие раскрепление и выгрузку сваренного изделия, перевод сварочного инструмента из исходного положения в точку

начала сварки, отвод инструмента из точки окончания сварки в исходное положение, а также перемещение сварочного инструмента между точками или участками сварки.

Автоматизация вспомогательных работ кроме перечисленных выше включает автоматический переход на сварку после выполнения соответствующих вспомогательных операций.

Необходимо отметить, что, поскольку сварочные операции составляют 15 ... 20% общей трудоемкости производства сварных конструкций, сокращение затрат труда на собственно сварочные операции даже на 50% дает сокращение общей трудоемкости изготовления сварного изделия не более чем на 10%. Только комплексная механизация и автоматизация большинства операций и процессов производства сварных конструкций дают существенный экономический эффект.

Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства предполагает интеграцию как родственных, так и неродственных технологических процессов, совмещенных в едином комплексе электросварочного оборудования [4, 14]. Примерами совмещения родственных процессов могут служить: контактная стыковая сварка и термообработка термоупрочняемых сталей и сплавов; дуговая сварка под флюсом и наплавка; многоэлектродная контактная точечная или шовная сварка и т. д. Примерами интеграции неродственных технологий являются, например: стыковая сварка со срезкой грата; автоматическая ориентация шва относительно горелки; автоматическая сборка, в том числе с подогревом для плотной посадки деталей; сварка и съем готовых изделий; плазменная резка и автоматическая маркировка заготовок; плазменно-механическая обработка тел вращения и др. К перспективным направлениям повышения уровня механизации и автоматизации сварочного оборудования следует отнести переналаживаемое сварочное оборудование с интеграцией родственных и неродственных сварке технологических процессов, построенную на агрегатно-модульном принципе с высокой степенью унификации [2, 9, 11, 14].

Высокий уровень автоматизации эффективен, главным образом, в массовом и крупносерийном производстве, охватывающем лишь 15...25% всей продукции машиностроения [4]. Повышение уровня механизации и автоматизации серийного, мелкосерийного, а в некоторых случаях и единичного производства оказывается возможным благодаря концентрации изготовления сварных конструкций на специализированных производственных единицах, таких как участок, цех, на основе применения групповой технологии, а также повышению производственной гибкости средств механизации и автоматизации.

При высоких требованиях к качеству сварных соединений и служебным свойствам изделия необходимо автоматическое управление параметрами процесса сварки в функции целого ряда факторов, из которых многие определяются случайными отклонениями размеров и положения соединяемых элементов объекта сварки. Такое автоматическое управление наиболее эффективно в том случае, когда для выработки управляющих воздействий используется ЭВМ, осуществляющая одновременный контроль большого количества переменных и учет сложных и разнообразных связей между ними.

3. Анализ условий автоматизации сварочных процессов.

Для реализации автоматизированных multifunctionальных систем управления технологическими процессами, построенных на базе средств вычислительной техники (АСУ ТП), необходимо автоматическое измерение параметров процесса сварки и параметров объекта сварки. Так, для дуговой сварки параметры объекта сварки в общем случае должны измеряться до зоны плавления (положение линии соединения свариваемых элементов, величина зазора между ними или сечение разделки, величина превышения кромок и т. д.), в зоне плавления (глубина проплавления, размеры сварочной ванны, температура и др.) и после зоны плавления (геометрические параметры сварного соединения, наличие и характеристики внешних и внутренних дефектов). В АСУ ТП эта

информация обрабатывается с помощью управляющего вычислительного комплекса (УВК) и используется для представления оператору и документирования (режим измерительно-информационной системы), для выдачи рекомендаций по изменению параметров режима сварки (режим советчика оператору) и для автоматического управления технологическим процессом (автоматический режим). Обычно развитие АСУ ТП для новых задач и производственных условий происходит именно в такой последовательности.

Сварочное оборудование считается пригодным для использования в составе АСУ ТП, если оно удовлетворяет следующим требованиям [12]: наличия датчиков параметров процесса и датчиков состояния объекта сварки и оборудования или возможностью размещения таких датчиков без нарушения функционирования и удобства обслуживания сварочного оборудования; пригодностью исполнительных элементов и механизмов сварочного оборудования для использования в качестве исполнительных элементов систем автоматического регулирования и управления (по кинематическим и динамическим характеристикам, жесткости, достижимой точности и т. д.); энергетической и информационной совместимостью выходов (входов) измерительных средств (датчиков) с входами (выходами) управляющего вычислительного комплекса.

Сварочное оборудование, работающее в контуре АСУ ТП, например для другой сварки, должно оснащаться следующими датчиками: скорости подачи электродного (присадочного) материала; наличия и силы сварочного тока; напряжения на дуге; состава и расхода защитных материалов; наличия достаточного запаса основных, защитных и вспомогательных материалов; положения свариваемых элементов и линии их соединения; величин превышения кромок, зазора, сечения разделки, глубины проплавления; температуры изделия; размеров сварочной ванны, положения дуги относительно линии соединения свариваемых элементов; размеров элементов полученного сварного соединения; наличия и количественных характеристик его внешних и внутренних дефектов; положения и скорости звеньев манипуляционной системы.

Для диагностики состояния сварочного оборудования необходимы датчики потребляемой мощности, датчики сил и моментов в кинематических звеньях и др.

Все датчики и другие устройства сварочного оборудования должны быть пригодны для работы в условиях сварочного процесса; характеризуемого, например при дуговой сварке, повышенной запыленностью, загазованностью, близостью к источникам теплового и светового излучения, сильных электромагнитных полей в широком диапазоне частот. Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют отработанные технические решения по многим перечисленным датчикам.

Существуют два подхода к автоматизации производственных процессов и операций: 1) автоматизация существующего оборудования в рамках его модернизации; 2) создание оборудования, специально ориентированного на использование определенных методов и технических средств автоматизации. Опыт многих отраслей промышленности и, в первую очередь, станкостроения, показал несомненные преимущества второго подхода.

Кажущиеся простота и экономическая целесообразность первого подхода при его практической реализации оборачиваются множеством переделок и компромиссных технических решений, связанных с тем, что оборудование с ручным управлением часто не обладает теми характеристиками, которые требуются для осуществления автоматического управления. Наиболее часто встречающимися проблемами такого рода являются: отсутствие механизированных приводов или неподходящая их кинематика; зазоры в передачах и направляющих; отсутствие необходимых блокировок и ограничителей, а также четкой кинематической связи между каретками со сварочным аппаратом или инструментом и направляющими (связь осуществляется под действием сил трения); недостаточная стабильность характеристик исполнительных элементов; отсутствие свободного пространства для размещения датчиков и других дополнительных элементов,

необходимых для АСУ ТП; ухудшение обзора зоны сварки при доработке для автоматизации; несовместимость входных и выходных сигналов существующих технических средств с теми, которые необходимо дополнительно использовать при автоматизации.

Генеральной линией автоматизации сварки должно быть создание нового высокоавтоматизированного оборудования, ориентированного на современные методы и средства автоматизации. Вместе с тем в отдельных случаях не исключена успешная автоматизация существующего оборудования. В каждом конкретном случае необходимо тщательное изучение условий для принятия обоснованного решения. Анализ потребительского рынка сварочной техники убедительно показывает, что большим спросом наряду со сложной техникой с широкими функциональными возможностями пользуется простое в эксплуатации сварочное оборудование. В табл. 2.3 приведена классификация оборудования для сварки по классам в зависимости от уровня механизации и категории качества.

При этом в каждом классе возможна аттестация по высшей и первой категориям качества, что позволяет существенно расширить области разработок и производства полуавтоматов, автоматов, источников питания и машин контактной сварки. Классификационные признаки построены по принципу наращивания уровня механизации и автоматизации оборудования общего назначения, начиная от коробки скоростей в полуавтоматах, автоматах и механических регуляторов в источниках тока до программ неуправляемого оборудования. Такой подход к автоматизации исключает существующие противоречия между экономическими интересами изготовителя, потребителя и реализацией достижений научно-технического прогресса.

Классы оборудования

Класс	Классификационные признаки	Примечание
3	Полуавтоматы для дуговой сварки Регулирование скорости подачи электродной проволоки (ступенчатое с отключением оборудования). Простота конструкции и увеличенная в 1,5-2 раза наработка на отказ по отношению к требованиям стандартов	При производстве конструкций на режимах сварки, изменяемых не более одного раза в смену
2	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное или плавно-ступенчатое). Обеспечение заварки кратера по циклограмме (программе). Управление электрическими параметрами режимов сварки в установленных пределах без отключения оборудования	При производстве конструкций на режимах сварки, изменяемых неоднократно в течение смены
1	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное). Программное управление процессами сварки с заложенными в память технологическими параметрами сварки (в том числе синергетическое)	При производстве особо ответственных конструкций на участках или в составе РТК с применением режимов, изменяемых в процессе сварки
3	Автоматы для дуговой сварки и наплавки Регулирование скоростей подачи электродной проволоки и сварки (ступенчатое, с отключенным оборудованием). Поперечная корректировка положения электрода относительно оси шва (ручная). Управление циклом работы аппарата (ручное). Допускается ручная уборка флюса	Механизированные участки и рабочие места

2	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное, без отключения оборудования в пределах каждой ступени, или плавно-ступенчатое, с отключением оборудования при переходе на другую ступень диапазона). Поперечная корректировка положения электрода относительно оси шва (электромеханическая с ручным управлением или ручная)	Механизированные участки и рабочие места
1	Регулирование скоростей подачи электродной проволоки и сварки (плавное, без отключения оборудования). Поперечная корректировка положения электрода относительно оси шва (автоматическая, с использованием системы слежения). Программное управление процессами сварки с заложенными в память технологическими параметрами режима сварки	
3	Источники питания для дуговой сварки С электромеханическим регулированием	
2	С электрическим дистанционным управлением	
1	Со встроенной системой программного управления (в том числе инверторные). Универсальность характеристики. Высокая мобильность при повышенных энергетических показателях (КПД и $\cos\phi$)	Стабилизация параметров режима сварки
3	Оборудование для контактной сварки По условиям эксплуатации исключено применение электронных схем, в том числе микропроцессорной техники	
2	С нормальной стабильностью параметров (оборудование группы Б, ГОСТ 297-80)	В системе управления, возможно применение как микропроцессоров, так и электронных схем, при управлении от групповой ЭВМ
1	С повышенной стабильностью параметров (оборудование группы А)	В системе управления с микропроцессорной техникой

1.7 Лекция № 7,8 (4 часа)

Тема: «Автоматизация технологических процессов обработки металлов на металлорежущих станках»

1.7.1 Вопросы лекции

1. Пути автоматизации ОМР
2. Операции, выполняемых на станках с автоматическим и полуавтоматическим циклом работы.
3. Многорезцовые и гидрокопировальные токарные полуавтоматы
4. Современные станки с ЧПУ.
5. Электронный токарный станок Smart-turn 7/200 1000.

1.7.2 Краткое содержание вопросов

Основное, над чем работали и работают конструкторы, совершенствуя обработку резанием,- это повышение производительности обработки.

Успех применения многолезвийного инструмента привел конструкторов к мысли: а почему бы не поставить два резца и не удвоить таким образом число режущих лезвий? Так появились *многоинструментальные* металлорежущие станки. В суппорте токарного станка стали устанавливать по нескольку резцов, а затем на противоположной стороне станины' поставили второй суппорт, также с несколькими резцами. Теперь количество инструментов, одновременно работающих на станке, иногда измеряется сотнями. Однако беспредельно увеличивать число одновременно работающих инструментов нельзя - обрабатываемое изделие и станок не выдержат нагрузки. Да и обслуживание такого станка слишком сложно. Тогда стали делать *многопозиционные* станки. На них одновременно можно обрабатывать несколько изделий в разных позициях.

Можно повысить производительность станка и другим путем - его *специализацией*. Вот один пример. Коробка скоростей токарного станка имеет сложную конструкцию. Сравните: у автомобиля коробка скоростей позволяет получить 3-4 скорости, а у станка - 24! Предположим, этот станок дает массовую продукцию - обтачивает пальцы поршня автомобильного двигателя. Их надо обточить сотни, тысячи. Станок ничего другого не делает. Для этого из 24 скоростей выбрали одну, наиболее подходящую. А остальные 23 скорости? Пропадают! Поэтому для заводов массового производства делают *специальные* станки, предназначенные для выполнения лишь одной определенной операции. Такой станок проще *универсального*: вместо 24 скоростей у него одна. Его легче обслуживать, он дешевле, а главное, производительнее.

Специальный станок работает великолепно, но... до поры до времени. Все хорошо, пока завод выпускает машину, на производство которой этот станок рассчитан. Прошло время, получено задание выпускать новую, усовершенствованную машину. Станок необходимо переделывать, а то и заменять. Придется менять станочный парк, а это сложно и дорого!

Получается, что высокопроизводительный специальный станок задерживает технический прогресс. Где же выход? И конструкторы нашли его: надо применять *агрегатные* станки. Принцип построения таких станков - в создании стандартных узлов - *агрегатов*. Из этих узлов и конструируется станок. В случае поломки или перехода на выпуск новой продукции узлы легко заменить.

Теперь познакомимся с главным резервом повышения производительности станков. Это *автоматизация*.

1. Пути автоматизации ОМР

Чтобы повысить производительность и качество ОМР, рациональнее использовать рабочее время станочника и повысить эффективность его труда, проводят постоянную работу по автоматизации и механизации металлорежущих станков. *Автоматизация – это процесс создания приборов, устройств и механизмов, которым частично или полностью передаются функции управления станком и контроля качества обработки деталей. Механизация – это оснащение станка устройствами, которые облегчают труд токаря и освобождают его от выполнения физически тяжелых, трудоемких и утомительных работ.*

К средствам механизации относят транспортные средства, зажимные устройства (самозажимные поводковые патроны, патроны с пневмо- или гидрозажимом, заднюю бабку с гидро- или пневмоприводом пиноли), механизированный привод подач резцовых салазок, задней бабки, а также гидросуппорт, который позволяет обрабатывать заготовки по копиру, закрепляемые в центрах и в патроне, по наружным и внутренним поверхностям.

Гидросуппорт устанавливают вместо обычного суппорта. Задающим движением для суппорта является продольная (для обработки наружных или внутренних поверхностей) или поперечная (при обработке торцовых поверхностей) подача.

К средствам автоматизации можно отнести устройства управления (датчики, кулачки, ограничители, конечные выключатели, упоры) и измерения, загрузочные устройства, устройства уборки стружки, действие которых скоординировано с работой станка и требует вмешательства рабочего только при наладке станка или при подналадке в процессе работы.

При обслуживании станка применяют различные загрузочные устройства для сортового материала (прутков, труб, проволоки и т.п.) и штучных заготовок (поковок, штамповок, отливок). Загрузочные устройства для штучных заготовок в зависимости от степени автоматизации делят на механизированные (подъемно-транспортное оборудование), полуавтоматические (магазинные устройства), автоматические (бункерные устройства, роботы-манипуляторы).

Работа на автоматизированных станках в значительной степени сокращает ручной труд и сводит роль рабочего только к наладчиванию определенных механизмов, контролю за их работой и исправлению этих механизмов в случае неполадок. Одним из условий повышения производительности в металлообработке является увеличение степени автоматизации станков. Станки с высокой степенью автоматизации обычно делят на две группы: автоматы и полуавтоматы. Автоматами называют такие станки, у которых все рабочие приемы, за исключением загрузки заготовок на партию деталей и контроля размеров, производятся автоматически. Полуавтоматами называют станки, у которых цикл работы также автоматизирован, но рабочий должен устанавливать и снимать каждую заготовку и производить пуск станка и контроль размеров деталей. В условиях серийного производства деталей эффективно использование автоматов и полуавтоматов, обрабатывающих детали типа втулок, колец, валов, включая контроль их размеров, автоматически, без участия рабочего, который следит за исправной работой автомата, периодически загружает его заготовками и контролирует качество обработки.

Обработка деталей на полуавтомате производится с участием рабочего, который производит смену заготовки, пуск станка, измерение обработанной детали и др.

Токарные автоматы и полуавтоматы в зависимости от ориентации оси шпинделя подразделяют на горизонтальные и вертикальные, в зависимости от количества шпинделей – на одношпиндельные и многшпиндельные, в зависимости от применяемой заготовки (пруток, труба, поковка, отливка, штамповка и др.) – на прутковые и патронные.

Автоматы и полуавтоматы, связанные между собой транспортными и загрузочными устройствами, образуют автоматизированные участки (если имеется возможность переналадки на обработку другой детали) или автоматическую линию (если такая возможность практически отсутствует).

2. Операции, выполняемых на станках с автоматическим и полуавтоматическим циклом работы.

Работа на автоматизированных станках в значительной степени сокращает ручной труд и сводит роль рабочего только к наладчиванию определенных механизмов, контролю за их работой и исправлению этих механизмов в случае неполадок. Одним из условий повышения производительности в металлообработке является увеличение степени автоматизации станков. Станки с высокой степенью автоматизации обычно делят на две группы: автоматы и полуавтоматы. Автоматами называют такие станки, у которых все рабочие приемы, за исключением загрузки заготовок на партию деталей и контроля размеров, производятся автоматически. Полуавтоматами называют станки, у которых цикл работы также автоматизирован, но рабочий должен устанавливать и снимать каждую заготовку и производить пуск станка и контроль размеров деталей. Специализированные автоматы и полуавтоматы изготавливают детали с достаточной точностью и обеспечивают высокую производительность при обработке деталей одного вида. Они успешно применяются в массовом и крупносерийном производстве. Но переход на таких станках к обработке другой детали, даже незначительно отличающейся от предыдущей, связан с изготовлением новой оснастки и трудоемкой переналадкой станка. В станках с числовым

программным управлением (ЧПУ) можно без значительных затрат времени и средств изменять программу работы в широких пределах. В станках с программным управлением сочетаются производительность и точность специализированного станка с быстротой переналадки универсального оборудования. Станкостроительной промышленностью не только изготавливаются высокоавтоматизированные станки, но и строятся автоматические линии, цехи и заводы, в которых много станков соединено таким образом, что детали автоматически проходят на них последовательную обработку.

3. Многорезцовые и гидрокопировальные токарные полуавтоматы

Чтобы повысить производительность и качество токарной обработки, рациональнее использовать рабочее время токаря и повысить эффективность его труда, проводят постоянную работу по автоматизации и механизации токарных станков. Автоматизация – это процесс создания приборов, устройств и механизмов, которым частично или полностью передаются функции управления станком и контроля качества обработки деталей. Механизация – это оснащение станка устройствами, которые облегчают труд токаря и освобождают его от выполнения физически тяжелых, трудоемких и утомительных работ. Технические средства автоматизации и механизации токарного станка схематически представлены на рисунке. К средствам механизации относят транспортные средства, зажимные устройства (самозажимные поводковые патроны, патроны с пневмо- или гидрозажимом, заднюю бабку с гидро- или пневмоприводом пиноли), механизированный привод подачи резцовых салазок, задней бабки, а также гидросуппорт, который позволяет обрабатывать заготовки по копиру, закрепляемые в центрах и в патроне, по наружным и внутренним поверхностям.

Гидросуппорт устанавливают вместо обычного суппорта. Задающим движением для суппорта является продольная (для обработки наружных или внутренних поверхностей) или поперечная (при обработке торцовых поверхностей) подача.

К средствам автоматизации можно отнести устройства управления (датчики, кулачки, ограничители, конечные выключатели, упоры) и измерения, загрузочные устройства, устройства уборки стружки, действие которых скоординировано с работой станка и требует вмешательства рабочего только при наладке станка или при подналадке в процессе работы.

При обслуживании станка применяют различные загрузочные устройства для сортового материала (прутков, труб, проволоки и т.п.) и штучных заготовок (поковок, штамповок, отливок). Загрузочные устройства для штучных заготовок в зависимости от степени автоматизации делят на механизированные (подъемно-транспортное оборудование), полуавтоматические (магазинные устройства), автоматические (бункерные устройства, роботы-манипуляторы).

В условиях серийного производства деталей эффективно использование автоматов и полуавтоматов, обрабатывающих детали типа втулок, колец, валов, включая контроль их размеров, автоматически, без участия рабочего, который следит за исправной работой автомата, периодически загружает его заготовками и контролирует качество обработки.

Обработка деталей на полуавтомате производится с участием рабочего, который производит смену заготовки, пуск станка, измерение обработанной детали и др.

Токарные автоматы и полуавтоматы в зависимости от ориентации оси шпинделя подразделяют на горизонтальные и вертикальные, в зависимости от количества шпинделей – на одношпиндельные и многошпиндельные, в зависимости от применяемой заготовки (пруток, труба, поковка, отливка, штамповка и др.) – на прутковые и патронные.

Автоматы и полуавтоматы, связанные между собой транспортными и загрузочными устройствами, образуют автоматизированные участки (если имеется возможность переналадки на обработку другой детали) или автоматическую линию (если такая возможность практически отсутствует).

4. Современные станки с ЧПУ

Но переход на таких станках к обработке другой детали, даже незначительно отличающейся от предыдущей, связан с изготовлением новой оснастки и трудоемкой переналадкой станка. Польза от станков с программным управлением неоценима. Их легко перестроить при запуске в производство новой детали.

В станках с числовым программным управлением (ЧПУ) можно без значительных затрат времени и средств изменять программу работы в широких пределах. В станках с программным управлением сочетаются производительность и точность специализированного станка с быстротой переналадки универсального оборудования. Станкостроительной промышленностью не только изготавливаются высокоавтоматизированные станки, но и строятся автоматические линии, цехи и заводы, в которых много станков соединено таким образом, что детали автоматически проходят на них последовательную обработку.

Числовое программное управление (ЧПУ) означает компьютеризованную систему управления, считывающую инструкции специализированного языка программирования (например, G-код) и управляющую приводами металло-, дерево- и пластмассообрабатывающих станков и станочной оснасткой. Станки, оборудованные числовым программным управлением, называются станками с ЧПУ. Помимо металлорежущих (например, фрезерные или токарные), существует оборудование для резки листовых заготовок, для обработки давлением.

Система управления на ЧПУ-станке компьютеризована, и компьютер считывает инструкции и управляет приводами обрабатывающих станков и станочной оснасткой. Оборудование с ЧПУ характеризуется исключительно высокой скоростью, точностью и надежностью работы. Для обслуживания такого оборудования требуется гораздо меньше работников. Еще один плюс станков с ЧПУ – возможность реализовывать сложные и невыгодные проекты с точки зрения ручной обработки.

Станки с ЧПУ должны обеспечивать высокие точность и скорость отработки перемещений, заданных УП, а также сохранить эту точность в заданных пределах при длительной эксплуатации. Конструкция станков с ЧПУ должна, как правило, обеспечивать совмещение различных видов обработки, автоматизацию загрузки и выгрузки деталей, автоматическое или дистанционное управление сменой инструмента, возможность встройки в общую автоматическую систему управления. Высокая точность обработки определяется точностью изготовления и жесткостью станка. В конструкциях станков с ЧПУ используют короткие кинематические цепи, что повышает статическую и динамическую жесткость станков. Для всех исполнительных органов применяют автономные приводы с минимально возможным числом механических передач. Эти приводы должны иметь высокое быстродействие. Точность станков с ЧПУ повышается в результате устранения зазоров в передаточных механизмах приводов, уменьшения потерь на трение в направляющих и механизмах, повышения виброустойчивости, снижения тепловых деформаций.

Станки с ЧПУ по сравнению с обычными имеют следующие преимущества: повышение производительности и сокращение времени переналадки станка с одной детали на другую; сокращение сроков подготовки производства и др.

Высокая эффективность достигается при использовании станков с ЧПУ для обработки деталей со сложными криволинейными поверхностями. Большинство токарных станков с ЧПУ применяют для обработки ступенчатых валов, осей, втулок, фланцев, дисков и др.

Токарные станки с ЧПУ имеют высокую степень автоматизации. У них может быть автоматизировано (кроме формообразующих движений) переключение частот вращения шпинделя, смена инструментов, включение и выключение охлаждения, регулирование расхода СОЖ, Включение и выключение механизмов стружкодробления и

стружкоудаления. По характеру управления движения органов станка системы ЧПУ делят на позиционное, контурное и смешанное.

Позиционное программное управление – это управление станками, необходимое для автоматической установки рабочего органа в позицию, заданную программой.

Контурное числовое программное управление применяется для обработки деталей сложной формы с криволинейными поверхностями. Это управление обеспечивает автоматическое перемещение рабочего органа по траектории, заданной программой.

Комбинированное числовое программное управление сочетает функции контурного и позиционного программного управления.

Современное состояние металлорежущего оборудования с программным управлением предусматривает следующие основные типы этого оборудования и управляющих систем.

Станки с оперативными системами программного управления, обеспечивающими подготовку управляющей программы непосредственно на рабочем месте, на основе широкого использования типовых технологических циклов обработки, хранящихся в памяти устройства. Эта группа станков должна заменить наиболее распространенные универсальные токарные станки. Станки с оперативными системами управления рассчитаны на обслуживание рабочим, способным в режиме диалога с системой управления сформировать управляющую программу, вводя конкретные значения в стандартный технологический цикл обработки. На станках этой группы обрабатывают партии деталей в полуавтоматическом режиме; при работе на них производительность повышается в 1,5-2 раза по сравнению с универсальным оборудованием.

Многоцелевые станки оснащают многопроцессорными, продуктивными системами управления, обеспечивающими резкое упрощение формирования управляющей программы, введение необходимых коррекций на отклонение заготовки, инструментов, режимов обработки, предусматривающих наличие устройства для диагностики состояния всех основных систем станка, предупреждение брака и другие функции. Эта группа станков ориентирована на серийное производство деталей и обеспечивает рост производительности в 2-3 раза по сравнению с универсальными станками с ручным управлением.

Для обработки наиболее сложных и дорогих деталей, в первую очередь деталей тяжелого машиностроения, предусмотрен выпуск станков, характеризующихся наличием универсальных систем программного управления со встроенными ЭВМ и свободным программированием необходимых алгоритмов обработки, повышением роли системы управления в коррекции погрешностей механических сборочных единиц станка и измерительных систем.

Оборудование с функциональными системами программного управления, обеспечивающими управление режимом обработки (главным приводом и приводом подачи), последовательностью работы механизмов станка, предельными перемещениями по осям координат. К этой группе относятся автоматические линии для механической обработки, у которых повышается коэффициент использования за счет применения электронного управления циклами работы, счетчиков работы инструментов с одновременным использованием центральной ЭАМ для диагностики и планирования работы всего комплекса; автоматы и агрегатные станки с переналаживаемыми циклами работы, пригодные к использованию в крупносерийном производстве; токарно-револьверные станки с автоматическим циклом работы, задаваемым электронной системой управления.

Гибкие производственные системы на основе совместного использования станков с программным управлением и промышленных роботов для комплексной обработки широкой номенклатуры деталей, а также выполнения ряда сборочных операций.

Высокоавтоматизированные, гибкие производственные модули с программным управлением, требующие ограниченного вмешательства обслуживаемого персонала,

способные автономно функционировать в течение одной – двух смен и предназначенные для обработки деталей типа тел вращения и корпусных деталей.

Огромное число морально устаревших станков может быть рационально использовано путем модернизации силами предприятия. Модернизация оборудования не является временным мероприятием. В связи с тем, что моральное старение станочного оборудования происходит значительно быстрее его физического износа, промышленные предприятия вынуждены постоянно заниматься вопросами модернизации станков.

Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС) разработал ряд типовых проектов модернизации наиболее распространенных моделей станков. Однако по этим проектам можно модернизировать лишь малую часть устаревших станков как вследствие многообразия их моделей, так и из-за разнообразия целей модернизации.

Ниже перечислены основные задачи модернизации токарных станков:

- повышение мощности и быстроходности станка, достигаемое модернизацией привода главного движения;
- увеличение подачи путем модернизации привода подачи;
- повышение степени автоматизации станка для сокращения вспомогательного времени обработки;
- автоматизация цикла обработки;
- расширение технологических возможностей станка.

5. Электронный токарный станок Smart-turn7 /200 1000

Современная молодежь не хочет работать на ручных металлообрабатывающих станках (токарной, фрезерной и др. групп) и для того чтобы облегчить работу молодого персонала на заводах приходит на помощь компания «Ирлен Рос», которая специализируется на поставке современного металлообрабатывающего оборудования из Европы. *(фильм)*

Компания предлагает комплексное решение задач по поставке и внедрению нового оборудования из Европы, выбор наиболее эффективного оборудования и инструмента, проведение пуско-наладочных работ и обучение персонала заказчика.

Само время диктует создание учебно-производственного центра, в котором на самом современном оборудовании можно проводить обучение молодых специалистов чтобы заводам не пришлось их переучивать.

Если ранее в мире промышленность выпускала 9 типов станков (токарные, сверлильные и т.д.) и были соответствующие профессии (токарь...), то сегодня производимые станки можно разделить лишь на 2 группы: простые и сложные.

Простые: это станки заготовительной группы т.е. предназначены для изделий которые в дальнейшем пойдут на доработку в других станках или к потребителю без обработки

Сложные: это различные токарные, фрезерные, многофункциональные и специализированные станки, которые позволяют нам получить готовое изделие.

Электронный токарный станок смарт-турн занимает промежуточное положение между обычным токарным станком и многофункциональным металлообрабатывающим станком.

Он состоит из цельнолитой чугунной станины на которую смонтированы: шпиндельная и задняя бабка, а также суппорт с резцедержателем, но помимо этого он оснащен системой ЧПУ Fanuc с интерактивным управлением.

Станок смарт-турн сохраняет простоту управляемости ручного токарного станка, обеспечивая повышенную точность, высокую производительность и автоматизацию процесса обработки деталей.

Станок предназначен для токарной обработки с использованием встроенных автоматических циклов, которые позволяют в дальнейшем, многократно, повторять токарную обработку, а нам нужно только устанавливать новую заготовку.

Все встроенные автоматические циклы настраиваются под выбранную нами обработку и объединяются в одну программу. При запуске программы в автоматическом режиме циклы будут выполняться последовательно производя обработку и автоматически производить смену каждого цикла.

Для более сложной обработки в одну программу можно соединить до 40 автоматических циклов.

Операторы использующие ручные токарные станки могут использовать SMART TURN, не имея опыта работы с ЧПУ.

Сенсорный LCD монитор с крупным графическим отображением функций, которые ведут оператора.

Электронные маховички приспособлены для работы в ручном режиме как на обычном токарном станке.

Механическая обработка выполняется используя всесторонний выбор автоматических циклов на сенсорном экране.

Полный перечень автоматических токарной обработки:

- торцевание;
- черновая и чистовая обработка внешних и внутренних цилиндрических и конических поверхностей;
- работа на ограниченной длине;
- создание и обработка произвольного контура;
- нарезание резьбы на внешних и внутренних цилиндрических и конических поверхностях, с возможностью выбора способа врезания;
- возможность восстановления старой резьбы;
- автоматическое сверление и нарезание резьбы метчиком;
- точение канавок на наружных, внутренних и торцевых поверхностях.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).

Тема: «Анализ диаграммы состояния сплавов Fe-Fe₃C»

2.1.1 Цель работы: Изучение диаграммы состояния железо-углеродистых сплавов; превращений, происходящих с изменением температуры; определение фазового и структурного состава сплавов.

2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить теоретические основы: компоненты и фазы, превращения железа и железо-углеродистых сплавов при охлаждении.
2. Изучить свойства фаз и структур по таблице 2.
3. Построить диаграмму Fe-Fe₃C и кривые охлаждения для заданных сплавов.
4. У кривой охлаждения первого сплава указать фазовый состав, у кривой второго сплава – структурные составляющие.
5. Для первого сплава вычислить соотношения (в %) фаз, для второго – структурных составляющих при заданной температуре.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Доска классная.
2. Плакат с диаграммой сплавов Fe-Fe₃C

2.1.4 Описание (ход) работы:

Таблица 1. Состав сплавов по вариантам заданий

Вариант	Содержание углерода, %	T, °C	Вариант	Содержание углерода, %	T, °C
1	1. 0,01 2. 5,5	200 300	9	1. 4,3 2. 1,0	600 1400
2	1. 1,5 2. 3,8	1300 900	10	1. 2,3 2. 0,01	1300 100
3	1. 0,2 2. 2,8	500 300	11	1. 5,0 2. 1,2	1000 400
4	1. 1,7 2. 3,0	750 1000	12	1. 4,8 2. 1,5	1100 800
5	1. 0,4 2. 2,5	700 900	13	1. 0,4 2. 3,0	770 1200
6	1. 0,2 2. 4,3	750 1000	14	1. 2,0 2. 6,0	900 1100
7	1. 0,8 2. 3,5	700 400	15	1. 5,7 2. 0,015	1300 150
8	1. 1,0 2. 5,0	600 900	16	1. 1,1 2. 4,0	750 400

1. Общие положения .

Диаграмма состояния системы железо – углерод имеет очень большое значение, т.к. железоуглеродистые сплавы широко применяются в технике. Выбор нужного сплава, режимов термической, горячей и механической обработки опираются на критические линии диаграммы.

Железоуглеродистые сплавы представлены двумя диаграммами: стабильной- Fe-C и метастабильной- Fe- Fe₃C. Последняя является менее устойчивой потому, что цементит при высокой температуре распадается на железо и графит- переходит в более стабильное состояние.

Диаграммы изучаемых сплавов обычно совмещают, шкалу концентраций представляют двойной (по C и Fe₃C), линии стабильной диаграммы выполняют пунктиром, а метастабильной – сплошными, поскольку она практически более значима.

2. Компоненты, фазы и структуры в системе Fe- Fe₃C

Компонентами сплавов являются железо и углерод. Оба полиморфные. Железо имеет две основные (всего 4) модификации: от температуры плавления 1539 до 911 °С – γ с ячейкой ГЦК и ниже - α , имеющей ОЦК ячейку с периодом примерно в 1,3 раза меньшим. Поэтому поры (промежутки) в решетке ОЦК небольшие и меньше растворимость углерода в ней. ГЦК решётка более компактна, поэтому при перестроении атомов Fe $_{\alpha}$ в Fe $_{\gamma}$ объём железа примерно на 1 % уменьшается. Но растворимость углерода в решётке ГЦК больше, чем в ОЦК примерно в 100 раз (из-за большей поры в центре куба).

Углерод имеет две модификации: графит и алмаз. Графит стабилен, имеет слоистую гексагональную решётку со слабой молекулярной связью между слоями, поэтому он очень непрочен.

Углерод может растворяться в железе, образовывать с ним химическое соединение – карбид Fe₃C и, наконец, может находиться в сплавах в свободном состоянии, в виде графита (в высокоуглеродистых сплавах).

Фазы (однородные части сплава) в системе Fe-C

Жидкость - вещество с близкой межатомной связью, равномерно распределёнными компонентами, обладающее текучестью.

Аустенит - твёрдый раствор внедрения углерода и других элементов в γ - железе с ограниченной растворимостью, достигающей 2,14 % C. Условное обозначение: А или Fe $_{\gamma}$ (с).

Феррит - ограниченный твёрдый раствор внедрения углерода в α -железе: Ф или Fe $_{\alpha}$ (с).

Цементит – карбид железа Fe₃C, имеющий сложную ромбическую решётку и потому – очень твёрд (НВ 800) и хрупок. Обозначение Ц.

Графит – слоистая непрочная модификация углерода: Г.

Таблица 2. Механические свойства структурных составляющих системы Fe- Fe₃C

Структура	Тип соединения компоненто в или фаз	Концентрация углерода, %	Число фаз	Примерные показатели механических свойств			Общая оценка по механическим свойствам
				в, МПа	, %	В	
Сверхчистое	Химически чистый элемент	0, (примесей <0,01)	1	50	70	60	Очень пластично, непрочно

железо							
Феррит	Твёрдый раствор углерода в α - железе	до 0,006 (при 20°C) до 0,02 (при 727°C)	1	300	40	90	Пластичен, непрочен
Аустенит	Твёрдый раствор углерода в γ - железе	до 2,14	1	600	60	200	Очень пластичен
Цементит	Химическое соединение Fe_3C	6,67	1	40	0	800	Очень твёрд и хрупок
Перлит	Механическая смесь $\Phi + Ц$	0,80	2	600	20	200	Среднепрочен и пластичен
Ледебурит	Механическая смесь перлита и цементита	4,30	2	-	2	500	Твёрд и хрупок

Из таблицы 2 видно, что феррит – мягкая, пластичная фаза (НВ 80, $\delta \approx 40\%$, $\sigma_B \approx 300$ МПа). Аустенит более пластичен ($\delta \approx 60\%$, НВ 180-200), но прочнее феррита из-за большей растворимости углерода и больших искажений решётки.

Цементит очень твёрд, выше 210 °С немагнитен, плавится при 1260 °С.

Пластичные железоуглеродистые сплавы содержат до 2,14 % C^0 – это стали, при большей концентрации углерода при наличии эвтектики сплавы хрупки, это-чугуны.

В железоуглеродистых сплавах из растворимых фаз при низких температурах имеются: феррит, цементит, и графит. Кроме того, в состав сплавов входят *смеси: эвтектика и эвтектоид*. Рассмотрим их, изучая превращения в сплавах.

3. Диаграмма Fe – Fe_3C

На диаграмме (рис.1) крайние ординаты соответствуют чистому железу (при $C=0$) и цементиту (при $C=6,67$, по другим источникам 6,69%). Первая ордината является и шкалой температур. Абсцисса – шкала концентраций по C и Fe_3C .

Рассмотрим упрощённую диаграмму, детально верхний левый угол не рассматриваем.

Однофазные области содержат:

1. Жидкость (Ж); 2. Аустенит (А); 3. Феррит (Ф).

Остальные области и наклонённые линии – двухфазные. По три фазы имеются только на горизонталях ECF и PSK

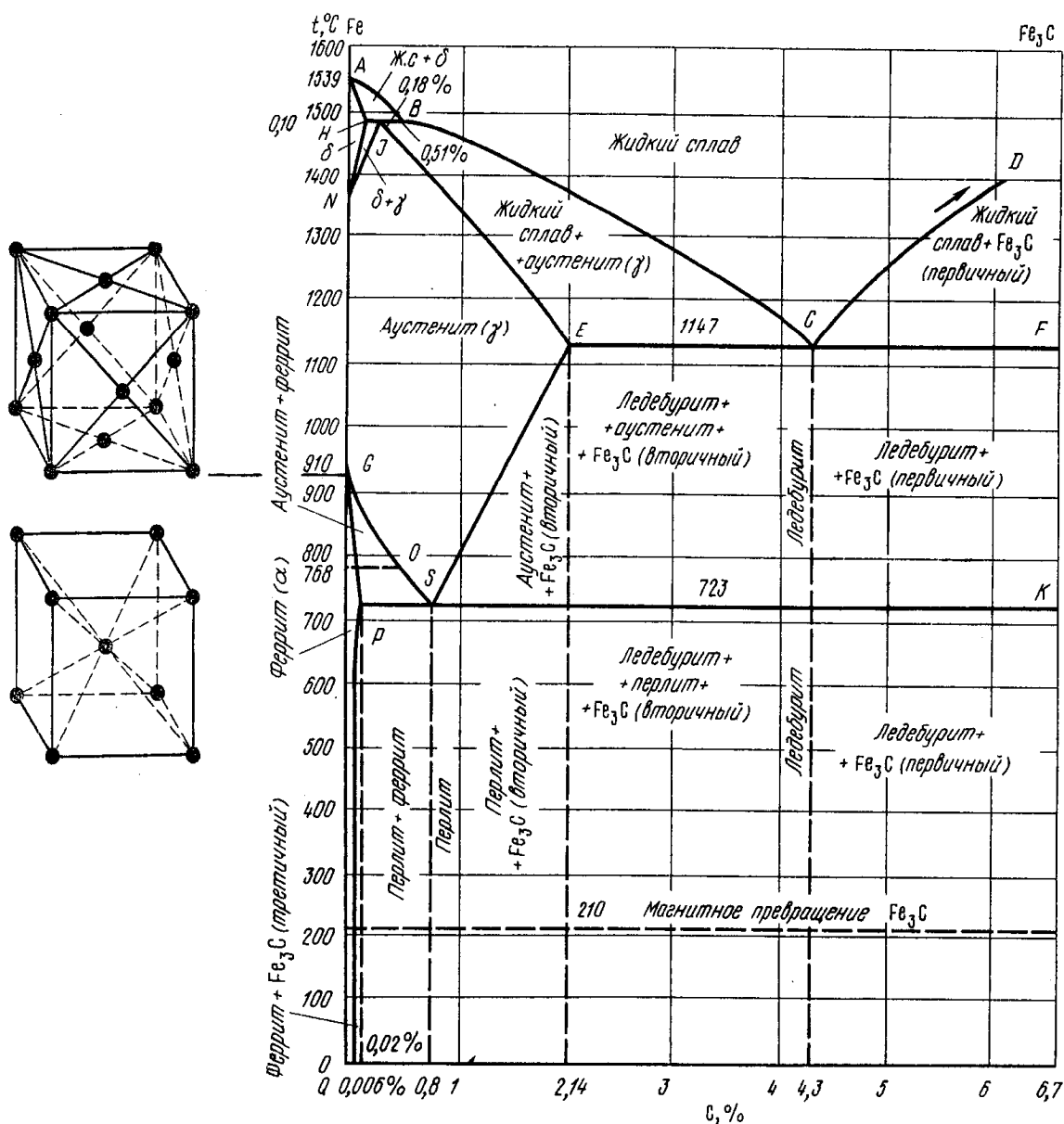


Рис.1 Диаграмма состояния сплавов Fe – Fe₃C

Линии:

ACD – ликвидус; AECF – солидус.

CD – первичного цементита, кристаллизующегося из жидкости;

ES – вторичного и PQ – третичного цементита, выделяющегося из аустенита и феррита, соответственно. Здесь и далее все процессы рассматриваются при охлаждении.

AC – линия начала, а линия

AE – окончания кристаллизации аустенита;

GS – линия начала, а

GP – окончания перекристаллизации аустенита в феррит.

ECF – линия изотермического превращения жидкости, имеющей концентрацию точки С (4,3 % С) в эвтектику

$Жс \rightarrow [Ае + Ц]$

PSK – линия изотермического превращения аустенита, содержащего 0,8 % С, в эвтектоид (“сплав, похожий на эвтектику”)

$Ас \rightarrow [Фр + Ц]$

Линия PSK – линия перлитного превращения, т.к. эвтектоид в системе Fe – C называют **перлитом**, а эвтектику – **ледебуритом**. Очень важная особенность строения этих смесей – мелкое зерно.

Пояснение к таблице 3.

Сплав, содержащий от 0,006 до 0,02 % C. Как и предыдущий сплав (см. п. 1-4 табл. 2) на AC начинает кристаллизоваться в аустенит, на AE кристаллизация заканчивается ($J \rightarrow A$). Ниже AE до GS аустенит превращений не претерпевает, от GS до GP идёт перекристаллизация $A \rightarrow \Phi$.

Охлаждаясь от PQ феррит выделяет Ц111: растворимость углерода в феррите уменьшается, избыточный углерод выделяется из ячеек, диффундирует на границу зерна и там образует Fe₃C. На микрошлифе можно видеть немного мелких пластинок Ц111. В сплавах с большим содержанием он наслаивается на Ц11 и Ц1 и особо его не выделяют.

Для упрощения описаний, технологических карт и т.д. критическим точкам (точкам Чернова) и линиям диаграммы присвоены условные обозначения:

- A₀ – 210 °C – линия магнитного превращения цементита;
- A₁ – PSK;
- A₂ – 768 °C – точка Кюри – потери ферромагнитности железа, выше оно парамагнитно;
- A₃ – GS;
- A₄ – N (1392 °C);
- Acm – ES – линия выделения цементита вторичного.

Таблица 3. Превращения в железоуглеродистых сплавах при охлаждении

Сплавы		Температурный интервал	Линия	Процесс (состояние)		Конечная структура сплава
В интервале точек, или при содерж. C, %	В точке			Превращение, (\Rightarrow выделение цементита)	Фаза (структура) стабильна, превращений нет	
1	2	3	4	5	6	7
0 – 0,006 %C или от 0 до Q		1. AC – AE 2. AE – GS 3. GS – GP 4. от GP		$J \rightarrow A$ $A \rightarrow \Phi$	A Φ	Φ
0,006 – 0,02 Q - P		1 – 4 то же, от PQ		$\Phi \Rightarrow \text{Ц}$		Φ+Ц111
0,8	S			$A \rightarrow \text{П}$		П
0,02 – 0,8 P - S		GS – PS от PS	PSK	$A \rightarrow \Phi$ частично A остат. $\rightarrow \text{П}$ $\Phi \Rightarrow$ Ц111		П+Φ+(Ц111)
0,8 – 2,14 S - E		SE - PSK	PSK	$A \Rightarrow \text{Ц11}$ A _{0,8} $\rightarrow \text{П}$		П+Ц11
4,3	C	ECF – PSK Ниже PSK	PSK	$J \rightarrow \text{Л1}$ $\text{Л1} \Rightarrow \text{Ц11}$ $\text{Л1} \rightarrow \text{Л11}$	Л11	Л11

4,3 – 6,67		CD - CF	ECF PSK	Ж→Ц ₁ Ж _{4,3} →Л ₁ Л ₁ →Л ₁₁		Л ₁₁ +Ц ₁
2,14 – 4,3		AC – EC EC - PSK	ECF PSK	Ж→А Ж _{4,3} →Л ₁ А====> Ц ₁₁ А _{0,8} →П, Л ₁ →Л ₁₁		Л ₁₁ +П+Ц ₁₁
Условные обозначения: → - процесс превращения ====> - процесс выделения углерода (Ц).						

Из-за отклонения действительных точек от теоретических к условным обозначениям добавляется индекс г – при охлаждении и с – при нагревании. Например:

Ac₃, Ac₁, Ar₁.

Усвоению материала способствуют построение кривых охлаждения конкретных сплавов и решение задач по вычислению количественного состава фаз и структурных составляющих в заданной точке диаграммы.

4. Построение кривых охлаждения сплавов

Кривые охлаждения можно построить с помощью правила фаз

$$C = K - \Phi + 1,$$

где: C – число степеней свободы;

K – число компонентов;

Φ – число фаз в сплаве.

Для двухкомпонентной системы

$$C = 3 - \Phi$$

Возможные значения C при числе фаз от 1 до 3:

C=0 – это означает, что фазы находятся в равновесии при T=Const, которая не может быть изменена до окончания процесса (уменьшения числа фаз). Итак, при C=0 – на кривой охлаждения будет горизонталь – температурная остановка.

C=1 – какая – то скорость охлаждения.

C=2 – более высокая скорость охлаждения.

Для сплава, содержащего 3%С кривая представлена на рис.2 правее диаграммы.

Построение.

Выше точки 5 числа фаз в сплаве $\Phi=1$, $C=3-1=2$. Значит сплав охлаждается быстро (отрезок до точки 5 идёт круто).

В интервале точек 5 – 6 будет $\Phi=2$ (Ж и А).

$C=3-2=1$ – охлаждение замедляется из – за выделения скрытой теплоты кристаллизации. Линия идёт полого.

В точке 6: $Ж \rightarrow A+\Pi$, имеется три фазы, $C=0$ – температурная остановка (6 - 6').

В температурном интервале 6 – 7:

$\Phi=2$ (А и Π), $C=1$ – замедленное охлаждение, как и ниже точки 7 (Ф и Π).

Линия пологая.

В точке 7: $\Phi=3$, $C=0$, температурная остановка. Здесь идёт образование двух фаз одновременно [$A \rightarrow \Pi(\Phi+\Pi)$] и скрытая теплота выделяется интенсивно. Поэтому охлаждение приостанавливается.

5. Решение задач по правилу отрезков

Задание 1.

Какие фазы имеются в точке К и какова концентрация углерода в них?

Для точки К (сплав с 0,3 % С при $T=750\text{ }^{\circ}\text{C}$), представленной на рис.2 можно ответить на ряд вопросов, проведя через данную точку горизонталь до пересечения с границами данной области (с ближайшими основными линиями диаграммы).

Полученные точки пересечения **m** и **n** лежат на границах однофазных областей: **Ф** и **А**. Значит в точке К будут именно эти фазы

Первое положение правила отрезков

Проекция точек пересечения на ось концентрации показывают состав фаз.

Для нашего примера: проекция точки **n** показывает, что жидкость в токе К содержит 0,7 %С; проекция **m** показывает, что в феррите углерода меньше, чем в точке P(0,02) т.е примерно 0,015 %С.

Задание 2.

Вычислить количественное соотношение фаз в точке К.

Второе положение правила отрезков

*Точка К делит линию **mn** (коноду) на два отрезка обратно пропорциональные долям фаз.*

Следовательно, отрезок **mk**, расположенный левее точки К, характеризует долю жидкости – фазы расположенной справа, т.е

$$Q_{\text{ж}} = \frac{mk}{mn} \times 100 \approx 48 \%$$

$$\text{Доля феррита} \quad Q_{\Phi} = \frac{kn}{mn} \times 100 = \frac{0,7 - 0,3}{0,7 - 0,015} \times 100$$

Задание 3.

Найти количественное соотношение структурных составляющих в точке О ($C=3,0\%$; $T=900\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В этих условиях сплав состоит из трёх составляющих: ледебурита, аустенита и цементита.

При двух неизвестных, например в заэвтических чугунах, состоящих из Л и Π , конода будет длиной от Л до Π и по правилу отрезков, решение простое. В нашем случае решение будет поэтапным: сначала найдём долю ледебурита для точки в, где

второй составляющей будет аустенит. Конода здесь ЕС – линия от аустенита до ледебурита.

$$Q_{\text{л}} = \frac{E\text{в}}{EC} \times 100 = \frac{0,86}{2,16} \times 100 \approx 40 \%$$

Ледебурит количественно при охлаждении не меняется, значит в точке О его будет 40 %.

Доля аустенита в точке в будет

$$Q_{\text{а}} = \frac{вC}{EC} \times 100 \approx 60 \%$$

При охлаждении эта доля будет уменьшаться из – за выделения Ц11 по закону линии ES. Поэтому далее удобнее найти сколько образуется Ц11. Причём найдём долю его для точки d, т.к. здесь ещё будет только аустенит, ледебурита как в точке О не будет. Проекция p: $\approx 1,3 \%$ C

$$\text{Итак, } Q_{\text{ц}} (\text{для d}) = \frac{pd}{pl} \times 100 = \frac{2,14 - 1,3}{6,67 - 1,3} \times 100 \approx 15,6 \%$$

От точки в охлаждалось 60 % А (не 100 как от точки Е) той же концентрации 2,14 %С.

$$\text{Пересчет } Q_{\text{ц}} (\text{для О}) \text{ даст } Q_{\text{ц}} = \frac{15,6 \cdot 60}{100} = 9,4 \%$$

Доля аустенита в точке О составит $60 - 9,4 = 50,6 \%$.

Расчет структурного состава доэвтектических чугунов ниже А1 выполняют аналогично, только доли цементита и аустенита находят на линии PSK. Здесь аустенит превращается в перлит, а количественных изменений и здесь, и ниже не будет.

Форма отчета.

Лабораторная работа

Анализ диаграммы состояния сплавов Fe-Fe3C

1. Привести определения фаз: А,Ф,Ц, а также эвтектики и эвтектоида.
2. Изобразить диаграмму Fe – Ц и построить кривые охлаждения для заданных сплавов (см рис.2). Указать фазовый состав для первого сплава и структурные составляющие – для второго.
3. Решить задачи по количественному составу сплавов.

2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).

Тема: « Цветные металлы и сплавы»

2.2.1 Цель работы: Закрепление и углубление знаний о структуре, свойствах, маркировке и назначении алюминия, меди и их сплавов.

2.2.2 Задачи работы:

- 1.Изучить свойства, маркировку и назначение алюминия и меди.
- 2.Изучить основные группы и наиболее распространенные сплавы.
- 3.Изучить принципы маркировки и способы упрочнения сплавов.
- 4.Выполнить индивидуальное задание.
- 5.Составить отчет.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Плакаты со структурой цветных металлов и их сплавов.
2. Атлас с микроструктурами цветных металлов и их сплавов

2.1.4 Описание (ход) работы:

1.Алюминий и его сплавы

1.1.Алюминий

Алюминий - легкий($2,7\text{г/см}^3$) металл серебристо-белого цвета, пластичный; хорошо проводит тепло и электричество; хорошо полируется и сваривается контактной и газовой сваркой, но плохо обрабатывается резанием из-за высокой вязкости, имеет большую литейную усадку(6%).

Как конструкционный материал алюминий занимает второе место после железа. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосфере и многих органических кислотах благодаря наличию пленки Al_2O_3 . Поэтому широко применяется в химической и пищевой промышленности, а также в электротехнике, строительстве, транспортном машиностроении.

Примеси и легирующие элементы уменьшают электропроводность алюминия, которая составляет 65,5 и 62,5% от электропроводности меди при чистоте металла соответственно 99,997 и 99,5% /1/.

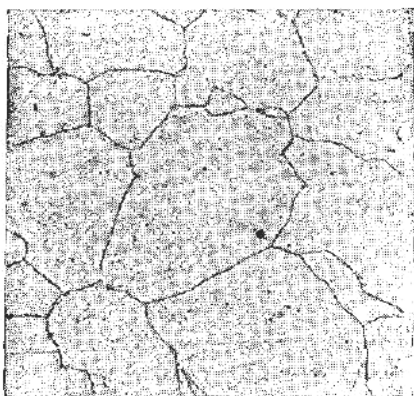


Рис. 1 Микроструктура алюминия

Решетка алюминия ГЦК, изоморфна; микроструктура - полиэдрическая(рис.1); макроструктура деформированного и затем отожженного (500°C) чистого алюминия отображена на рис.2. Прочность алюминия, деформированного на 60-80%, возрастает лишь до 160-180 МПа, а пластичность резко падает ($\delta \approx 1,5\%$). Термической обработкой он не упрочняется.

Дополнительная характеристика - в приложении 1. (По источнику [2] и др.)

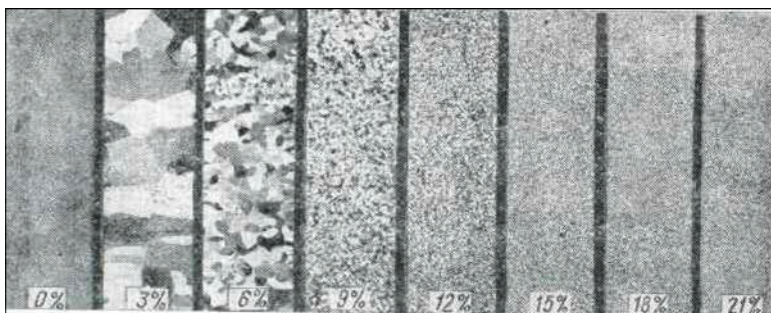


Рис. 2 Макроструктура деформированного (до $\varepsilon = 21\%$) алюминия после отжига

Отечественная промышленность выпускает **первичный алюминий** по ГОСТ 11069-74:

Особой чистоты (А999) с долей примесей до 0,001%;

Высокой чистоты (А995, А99, А97 и А95)

Технической чистоты (А85, А8, А7, А6, А5, А0).

Микроструктура алюминия различной чистоты представлена на рис.3.



Рис. 3. Микроструктура литого алюминия:

а)-высокой чистоты;

б)-технического (с фазой Al_3Fe);

в)-технического (с фазой $Al-Fe-Si$)

Технический алюминий выпускают в виде полуфабрикатов (листы, трубы, проволока, прутки) и маркируют буквами **АД** и цифрами (табл. 1.). Буква **Е** ставится в марках с гарантированными электрическими показателями, индекс «**пл**» - материал для пликирования (покрытия) дюралюминия.

Таблица 1. **Химический состав(%) технического алюминия(ГОСТ 4784-97)**

Марка			Al, не менее	Основные примеси ,не более				
Российская		Между народна я		Cu	Mg	Mn	Fe	Si
Буквенн ая	Цифров ая							
АД000	-	1080А	99,80	0.03	0.02	0.02	0.15	0.15
АД00	1010	1070А	99,70	0.03	0.03	0.03	0.25	0.20
АД00Е	1010Е	1370	99,70	0.02	0.02	0.01	0.25	0.10
АД0	1011	1050	99,50	0.05	0.05	0.05	0.40	0.25
АД0Е	1011Е	1350	99,50	0.05	-	0.01	0.40	0.10
АД1	1013	1230	99,30	0.05	0.05	0.025	0.30	0.30
АД	1015	1200	98,80	0.05	-	0.05	Fe+Si:1,0	
АД1пл	-	-	99,30	0.02	0.05	0.025	0.30	0.30

Полуфабрикаты могут находиться в трех состояниях:

- отожженном (М)
- нагартованном (Н) или полунагартованном (Н2)
- горячекатаном (ГК)

Показатели для листов из АД0 , АД1 приведены в табл. П2.

1.2.Алюминиевые сплавы

1.2.1.Общие сведения

Алюминиевые сплавы, сохраняя достоинства основы превосходят её по прочности (σ_b достигает 500-700 МПа, а по удельной прочности σ_b/ρ некоторые сплавы сопоставимы с высокопрочными сталями).

Основные легирующие элементы алюминиевых сплавов: Cu, Mg ,Si, Mn,Zn. Многие элементы образуют растворы ограниченной переменной растворимости, что позволяет упрочнять сплавы термически.

Постоянные примеси Fe и Si значительно ухудшают литейные свойства, пластичность, сопротивление развитию трещин. Поэтому для конструкций ответственного назначения разработаны сплавы с низким содержанием примесей, в марках которых указывают:

- «Ч» - чистый;
- «ПЧ» - повышенной чистоты;
- «ОЧ» - особой чистоты.

Алюминиевые сплавы по технологическим способам переработки их в изделия и полуфабрикаты разделяют на **деформируемые и литейные**(см.рис.50 /3/). Кроме того имеются **композиционные и спеченные** сплавы (САС- спеченные сплавы, САП- спеченные алюминиевые пудры).

Сплавы группируют по химическому составу и др. признакам. Так, в деформируемых выделяют: дюралюмины (Д1 и др.)- по названию; ковочные(АК6 и др.)- по назначению; проволочные(АМ_г5П); высокопрочные(В95).

1.2.2.Деформируемые алюминиевые сплавы

Сплавы системы Al-Mn

Сплавы с марганцем (иногда с добавкой Mg) имеют низкую прочность, высокую пластичность и коррозионную стойкость, хорошо свариваются и упрочняются деформацией.

Полуфабрикат :листы, трубы, проволока.

Изделия :сварные баки, бензо- и маслопроводы , радиаторы тракторов и автомобилей, упаковка и заклепки. Некоторые изделия получают глубокой вытяжкой. Сплавы системы Al-Mg(магналии)

Свойства сплавов Al-Mg близки к свойствам сплавов Al-Mn: весьма пластичны ,хорошо свариваются аргонодуговой сваркой, но прочностные характеристики их низки (см. приложения, табл. П3).

В магналии добавляют Mn для упрочнения, иногда- Ti для улучшения свариваемости.

Применение сплавов.

АМ_г1,АМ_г0.5-изделия с высокой отражательной способностью, с повышенной декоративностью;

АМ_г2,АМ_г3-слабонагруженные сварные конструкции для работы в агрессивной атмосфере;

АМ_г5,АМ_г6-сварные емкости, в том числе для криогенной техники; указанные и сплав 01570-в ракетно-космической технике.

Ковочные сплавы системы Al-Cu-Mg-Si

Сплавы АК6 и АК8 пластичны, хорошо обрабатываются давлением (нагретые) и резанием, термически упрочняются. Сплавы удовлетворительно свариваются точечной и шовной сваркой, а АК-8- аргонодуговой(присадка Св АК 5). При этом прочность снижается от исходной на 0,3-0,4.

АК 6-высокотехнологичный оригинальный российский сплав средней прочности. За рубежом особенно широко применяют АК8 (под маркой 2014). Эти сплавы используют для ответственных силовых деталей в авиации, транспорте, электротехнике, строительстве и т.д.(механические свойства см. табл. П4)

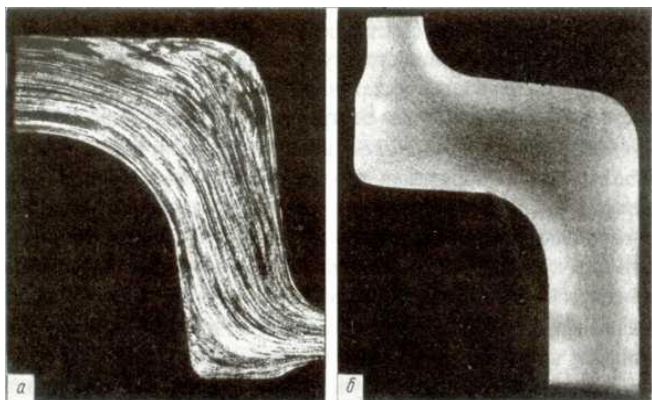


Рис. 4.Макроструктура штамповок из сплава АК 6:
а) волокнистая (серийная обработка);
б) мелкозернистая после МТМО

Макроструктура штампованных заготовок из сплава АК 6, получаемых по традиционной технологии, волокнистая с анизотропией свойств(рис 4,а). Применение в последние годы межоперационной термомеханической обработки(МТМО) обеспечивает улучшение структуры(более однородная, мелкозернистая) и свойств (уменьшение анизотропии, равномерность по объему; повышение прочности и пластичности(рис 4,б)).

Конструкционные сплавы системы Al-Cu-Mg

Сплавы группы - дюралюмины(дуралюмины):Д1,Д16,Д19 и др.(доли основных добавок в них:Cu от 2 до 5%, Mg – до 2,7%) отличаются хорошим сочетанием прочности и пластичности. Они упрочняются термообработкой (см. диаграмму Al-Cu-рис 51,а /3/), свариваются точечной сваркой, удовлетворительно обрабатываются резанием.

Для повышения коррозионной стойкости изделий из дюралюминов применяют плакировку листов алюминием А7 и А8, сортовой прокат анодируют (чаще ,в серной кислоте) т.е.подвергают электрохимическому оксидированию - созданию толстой и плотной пленки Al_2O_3 на поверхности изделий.

Дюралюмины применяют в авиации(лопасти воздушных винтов, детали), в автомобилестроении(в том числе - кузова грузовиков), строительстве.

Микроструктура дюралюмина представлена на рис.5,свойства основных сплавов- в табл.2.

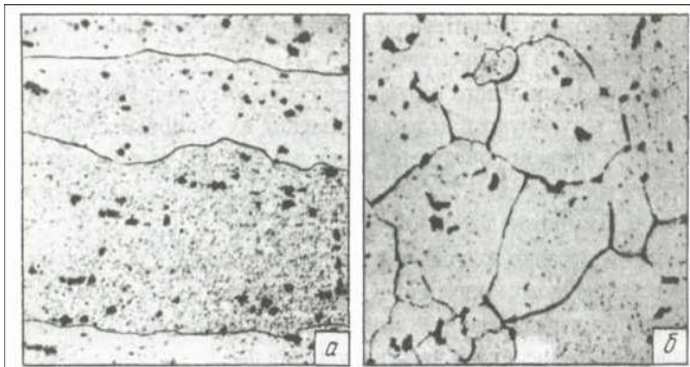


Рис. 5.Микроструктура дюралюмина:
а)-нормальная закалка;
б)-пережог (оплавленная эвтектика на границах зёрен)

Таблица 2. Механические свойства дюралюминов

Сплав	Полуфабрикаты	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Д1	Листы	400	240	20
	Прессованные прутки и профили	480	320	14
Д16	Листы, плиты	440	330	18
	Прессованные прутки и профили	530	400	11
Д19	Листы	425	310	18

Высокопрочные сплавы системы $Al - Zn - Mg - Cu$

Это термически упрочняемые наиболее прочные алюминиевые сплавы ($\sigma_{\text{в}}$ до 750 – 800 МПа) в основном благодаря цинку и магнию.

В алюминии Zn и Mg имеют высокую растворимость при повышенной температуре и резко уменьшающуюся при охлаждении, что существенно упрочняет сплавы при закалке и старении. Медь, легируя твёрдый раствор, заметно повышает только эффект закалки.

Высокопрочные сплавы содержат небольшие добавки Mn, Cr, Zr, Sc , образующие дисперсные интерметаллиды: Al_6Mn , $\alpha(Al - Si - Mn)$, Al_7Cr и др. Указанные фазы вызывают в обрабатываемых давлением изделиях пресс-эффект: повышают температуру рекристаллизации (T_p), затрудняют рост зерен при вторичной рекристаллизации и способствуют стабилизации нерекристаллизованной структуры – таким образом обеспечивается структурное упрочнение сплава.

Наиболее эффективен из рассматриваемых добавок цирконий. При кристаллизации сплава Zr образует с Al пересыщенный твёрдый раствор, распадающийся при технологических нагревах и термообработке с выделением более дисперсных интерметаллидов (рис. 6). Благодаря этому при меньших концентрациях (0,1-0,2%) повышение T_p и упрочнение более значительны, чем от Mn и др. элементов.

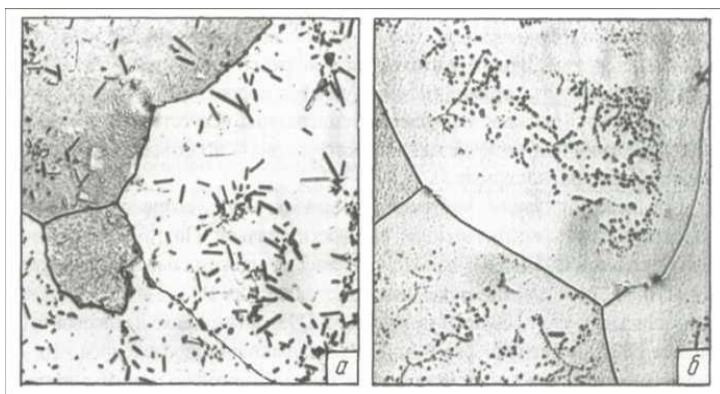


Рис.6.Микроструктура литого сплава Al с 4,5% Zn с добавками:
а)-0,65% Mn;
б)-0,18% Zr

Примеси Fe и Si снижают пластичность, вязкость разрушения и сопротивление усталости.

Поэтому для особо ответственных изделий разработаны сплавы повышенной (В 93пч) и особой (В 95оч) чистоты.

Высокопрочные сплавы являются основным материалом для самолёто – и ракетостроения; используются также в конструкциях вагонов, грузовиков, подъёмных кранов, некоторых клёпанных строительных сооружений. Сплавы ограниченно свариваются точечной и шовной сваркой, но хорошо обрабатываются резанием.

1.2.3. Литейные сплавы

В объеме отливок из цветных сплавов в России около 70 составляют алюминиевые и порядка 25% медные.

Требования к литейным сплавам: они должны иметь низкую температуру плавления, небольшую усадку, низкую склонность к образованию пористости и трещин, хорошие механические и антикоррозионные свойства, а также жидкотекучесть. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы эвтектического состава.

Классификация сплавов.

По прочности: высокой, средней и малой прочности;

По технологическим свойствам: герметичные, свариваемые, коррозионно-стойкие и др.

По способу литья: для литья в разовые и постоянные формы;

По назначению: конструкционные, поршневые, жаропрочные и др.

Отливки используются в литых, сварных, клёпаных, комбинированных конструкциях.

Маркировка.

Литейные алюминиевые сплавы по ГОСТ 1583-93 маркируют буквой А (основа Al), обозначениями компонентов (**К** – кремний, **Кд** – кадмий, **М** – медь, **Мg** – магний, **М_ц** – марганец, **Н** – никель, **Ц** – цинк). И следующими за ними цифрами – содержания компонентов. Например, АК5М, где кремния около 5, меди до 1,5%. При этом оставлена и старая маркировка – АЛ (литейный алюминиевый сплав) с порядковым номером. Примеры: АК8 (АЛ34); АМг10 (АЛ27).

Технологические сплавы системы Al-Si (силумины)

Добавки Mg и Cu обеспечивают сплавам термическое упрочнение, Cu улучшает обрабатываемость резанием; Mn, Ti, Ni и др. элементы (растворяясь в Al) повышают прочность и твёрдость силуминов.

Сплав АК12(АЛ2) двухкомпонентный (содержит 10 – 13% Si) неупрочняемый ТО (диаграмма Al-Si- рис. П1). Повышение прочности и пластичности его и некоторых других сплавов достигают модифицированием натрием (перед заливкой литейных форм вводят 1-2% NaF, NaCl). Структура и свойства сплава представлены в табл. 3; микроструктура – на рис. 7 и рис. 53/3/.

Таблица 3. Структура и свойства силумина АК-12

Показатели	Немодифицированный	Модифицированный
Содержание Si в эвтектике, %	11,6	~ 14
Сплав на диаграмме состояния Al-Si	Эвтектический или заэвтектический	Доэвтектический
Структура: сплава, Si в эвтектике, избыточной фазы	$Si + (\alpha + Si)$	$\alpha + (\alpha + Si)$
	Иглы (пластины)	Разветвленные тонкие волокна
	Твёрдые игольчатые кристаллы кремния	Пластичный мягкий α – <i>раствор</i> : Al(Si)

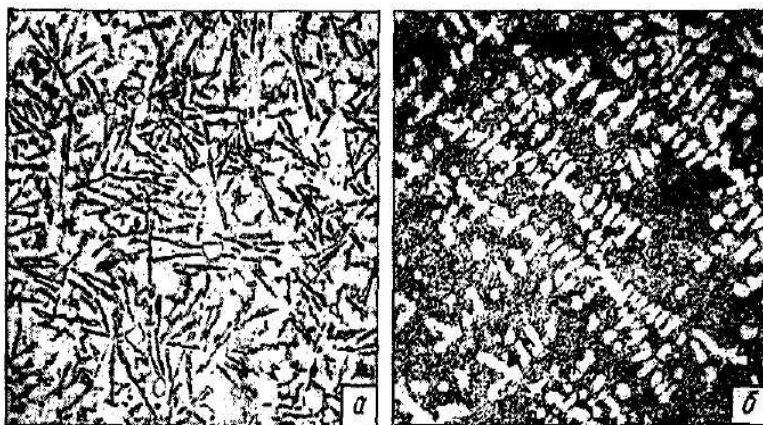


Рис. 7. Микроструктура
силумина:
а)-немодифицированного;
б)-модифицированного

Сплав АК 12 применяется в
автомобилестроении (картеры,

блоки цилиндров), в авиастроении, бытовой технике. Сплавы АЛЗ, АК5М, АЛ9М и др. высокой прочности и герметичности, повышенной жаропрочности используют для изготовления головок цилиндров, деталей турбин, насосов и др., работающих при 200 - 250 °С . Поршни отливают из жаропрочных сплавов АК12М2МгН и АК21М2,5 Н2,5. Сплавы износостойки, с низким коэффициентом линейного расширения. Поршни после литья подвергают стабилизирующему старению без закалки (6-12ч при 200 °С) .

Высокопрочные и жаропрочные сплавы системы Al-Cu

Как и в дюралюминах в литейных сплавах Al-Cu содержится около 5% меди и 0,8% марганца, но нет магния. Высокие механические свойства имеет сплав АМ5(АЛ19) с измельченной структурой (~ 0,3%Ti) . Сплав АМ4,5 Кд более прочен за счёт выделения при искусственном старении (после закалки) очень дисперсной фазы – упрочнителя. Литейные сплавы Al-Cu прочны, пластичны, хорошо свариваются и обрабатываются резанием. Из них изготавливают высоконагруженные детали (головки блоков, корпуса насосов, авиационные детали) и конструкции, длительно работающие при температурах 300 – 400 °С

2. Медь и медные сплавы

2.1. Медь

Медь – металл розовато-красного цвета, тяжелый, непрочный, пластичный (см. табл. П1). Медь принимают за эталон электропроводности (уступает незначительно лишь серебру) и теплопроводности; хорошо обрабатывается давлением, сваривается, паяется и полируется; достаточно коррозионно-стойка (во влажном воздухе тускнеет, т.к. покрывается темно-красным оксидом; если дополнительно имеется CO₂, то на ее поверхности образуется пленка карбоната зеленого цвета – «патина»). Резанием обрабатывается удовлетворительно, кристаллизуется медь в решетку ОЦК, которая модификаций не имеет. Микроструктура ее (рис. 8) отличается наличием двойников – переориентированных участков кристаллической решетки зерна.

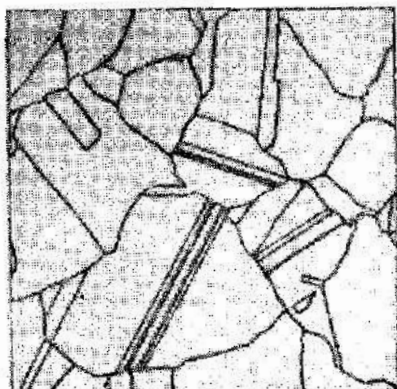


Рис. 8. Микроструктура меди
(полиэдры с двойниками)

Из цветных металлов по объему производства медь занимает второе место за алюминием. Половина выплавляемой меди используется в электротехнике и электронике, другая – идет на получение сплавов.

Недостатки меди: высокая плотность и стоимость, значительная литейная усадка.

Все примеси, особенно P, Al, As, Fe, Sn, снижают электропроводность меди. Механические и технологические свойства меди и сплавов снижают S и O, а Bi и Pb вызывают красноломкость. Особенно вреден кислород, т.к. при нагреве в присутствии водорода образуются пары воды, создающие в металле высокое давление и, в конечном итоге, - вздутия, разрывы, трещины («водородная болезнь меди»).

По ГОСТ 859-2001 промышленность выпускает катодную медь четырех марок (М00к, М0к, М1к, М2к), а также слитки и полуфабрикаты 12 марок (табл. П5).

Маркировка: буква М; цифры, условно обозначающие чистоту и буквы: к – катодная, б – бескислородная, р – раскисленная.

Полуфабрикаты из технической меди поставляются в мягком (отожженном), полутвердом (обжатие $\varepsilon = 10-30\%$), и твердом ($\varepsilon > 35\%$) состоянии.

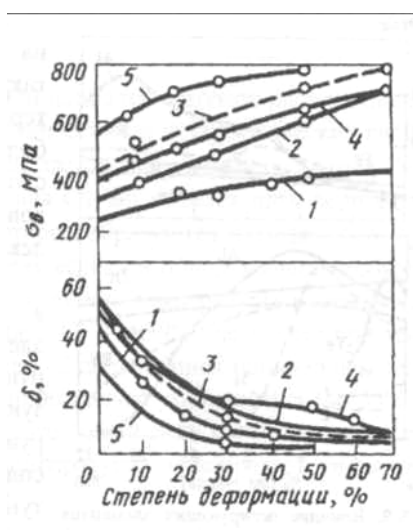


Рис. 9. Влияние степени деформации на свойства меди и латуни:

1-медь;

2-латунь Л68;

3-латунь ЛО70-1;

4-латунь ЛАН 59-3-2;

5-ЛМцА 57-3-1

Холодная пластическая деформация (нагартовка) значительно повышает сопротивление усталостному разрушению и прочность, но снижает пластичность (рис. 9).

2.2. Медные сплавы

2.2.1. Латуни

Латуни – это двойные и многокомпонентные сплавы меди с цинком; самые распространенные медные сплавы, сочетающие высокие механические и технологические свойства.

В меди при 902°C растворяется 32,5 % Zn (см. рис. 47 /3/), с понижением температуры до 454°C растворимость повышается до 39 % (по массе), а затем уменьшается до 35 %. В этой области диаграммы представлена α – латунь, прочность и пластичность которой повышаются с увеличением содержания цинка. При большей концентрации образуется вторая фаза – β . Это электронное соединение CuZn. С ее появлением относительное удлинение резко уменьшается, а при переходе к однофазному β – сплаву (47 – 50 % Zn) резко снижается и прочность. Поэтому широко используются лишь однофазные (α) и двухфазные ($\alpha + \beta$) латуни. Структура отожженной α – латуни с двойниками (рис. П2) – твердый раствор Zn в Cu, в двухфазной латуни зерна раствора (α) выглядят светлыми.

В деформированных латунях сохраняются напряжения, вызывающие растрескивание их во влажной атмосфере, чему способствуют аммиак, сернистые газы и др. загрязнители воздуха на уровне следов. Это явление называют сезонной болезнью, т.к. оно наблюдается во влажные периоды года.

Растрескивание происходит из-за межзеренной коррозии в зонах с неравномерно распределенными остаточными напряжениями при концентрации цинка более 20 % (при содержании $Zn > 30\%$ - очень интенсивно).

Склонность к растрескиванию устраняют отжигом деформированных полуфабрикатов при температурах ниже порога рекристаллизации (при $600 - 700^{\circ}C$).

Маркировка двойных **деформируемых** латуней по ГОСТ 15527 – 70: буква **Л** и цифра, отражающая **содержание меди**. В частности: Л96, Л90 (96 и 90 % Cu) – так называемые сплавы **томпак** – золотистого цвета, коррозионно-стойкие (изготавливают: знаки отличия, фурнитуру и т.п.).

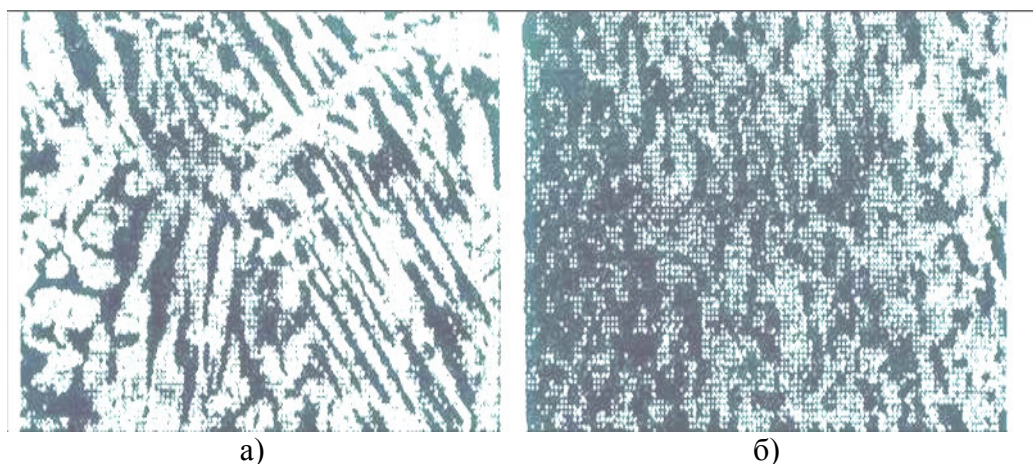
Латуни Л70, Л68 – **патронные**, из них получают изделия глубокой вытяжкой и холодной штамповкой.

Латунь Л63 называют **торговой** – она на первом месте по объему производства.

В марках сложных латуней после буквы «Л» указывают легирующие элементы (А – алюминий, О – олово и т.д.); первое число за буквами – доля меди; последующие числа, отделенные знаком тире – среднее содержание соответствующих добавок: ЛО90-1 – оловянистая латунь (90 % Cu, $\approx 1\%$ Al); ЛС 60-1 (с 1 % Pb) остальное цинк, как и в двойных латунях.

В сплав ЛМш 68-0,05 вводят (от 0,02 до 0,06 %) мышьяк для снижения обесцинкования.

Простые сплавы (α – латуни) позволяют получать изделия (гильзы, патроны, трубы, ленты, проволоку) при больших степенях деформации. Латунь Л59 двухфазная ($\alpha + \beta$) менее технологична.



а)

б)

Рис. 10. Структура латуни ЛС 60-1:

а)-литой (дендриты);

б)-прокатанной

Специальные латуни отличаются от простых особыми свойствами. Никелевая ЛН 65-5 хорошо обрабатывается в горячем и холодном состоянии, алюминиевые латуни высокопрочны, оловянные очень стойки в морской воде. Свинцовые латуни (рис. 10) хорошо обрабатываются резанием. Включения свинца служат зародышами кристаллов α – фазы. Располагаясь не по границам зерен, свинец делает стружку ломкий и в то же время повышает антифрикционные свойства.

Литейные латуни

Это многокомпонентные сплавы, в марках которых по ГОСТ 17711-93 среднее содержание компонента указывается сразу после буквы, означающей его название. Второе отличие от маркировки деформируемых латуней – «остальное» - Cu, а не Zn.

В конце марки добавляют букву «Л», если имеется деформируемая латунь близкого состава.

Примеры:

ЛЦ40 МцЗЖ содержит Zn 40 %, Mn 3 железа 1 %, остальное медь.

ЛЦ16К4 с 4 % Si и около 80 % меди – латунь, литая в кокиль имеет $\sigma_b = 340$ МПа и $\delta = 15$ %. Из нее изготавливают изделия, работающие в морской воде и детали сложной конфигурации для приборов, арматуру, работающие в паровоздушной среде при температуре до 250° С.

Центробежным литьем, под давлением и в кокиль из литейных латуней получают разнообразные фасонные отливки: арматуру (втулки, тройники, переходники), штуцеры гидросистем, сепараторы и втулки подшипников качения, венцы червячных колес, различные антифрикционные детали ответственного назначения.

Особенности литых латуней:

Обладают небольшой склонностью к газопоглощению благодаря действию паров цинка. Поэтому отливки плотные.

Благодаря малому интервалу кристаллизации латуни жидкотекучие, малопористы, с незначительной ликвидацией.

Имеют высокие механические свойства.

Поверхность после полировки приобретает блеск и красивый цвет.

Многие латуни обладают высокими антифрикционными свойствами.

2.2.2. Бронзы

Бронзы – сплавы меди с различными легирующими элементами (в т.ч. с цинком как дополнительным элементом). Бронзы прочнее латуней, обладают коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения.

По технологическим свойствам бронзы разделяют на литейные и деформируемые, по составу – оловянные и безоловянные (кремнистые, свинцовые, алюминиевые и др.).

Соединения Cu-Ni выделяют в особую группу сплавов.

Маркировка бронз: буквы Бр, затем **обозначения** легирующих элементов L и их **концентрация** как для латуней: для деформируемых - в конце марки (БрОЦС4-4-2,5), для литейных – за каждым обозначением элемента (БрА11Ж6Н6).

Деформируемые бронзы и их назначение.

Оловянные: БрОФ4-0,25 – полосы, листы, трубки манометров и др. приборов;

БрОЦ4-3 – проволока для пружин, контакты штепселей.

Алюминиевые: БрА7 – втулки, пружины, скользящие контакты;

БрАМц9-2 – детали конденсаторов, шестерни, втулки, червячные винты (см. свойства в табл. П7).

Хромовая: БрХ1 – листы, проволока, электроды контактной сварки, спец. теплообменники.

Серебряная: БрСр0,1 - коммутаторы, коллекторные кольца, обмотки роторов турбогенераторов.

Бериллиевые: БрБ2 и др. (табл.5) – пружины, мембраны, детали часов, неискрящий инструмент и контакты, нагруженные подшипники.

Бериллиевые бронзы отличаются уникальным сочетанием свойств: высокая прочность и упругость ($\sigma_{упр} = 750-770$ МПа), тепло – и электропроводность.

Таблица 5. Механические свойства бериллиевых бронз

Марка бронзы	Закалка		Закалка и старение по оптимальному режиму		
	σ_b , МПа	δ , %	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
БрБНТ1,9	400...500	38...45	1150...1250	700	4...6
БрБ2	400...500	38...40	1150...1250	600	4...6
БрБНТ-1,7	300...400	45...50	1000...1100	400	5...7

Уменьшающаяся при охлаждении растворимость бериллия в меди (рис. ПЗ) обеспечивает получение пересыщенного α – раствора, а последующее старение сплава при 300⁰ С (3ч) приводит к выделению дисперсной упрочняющей γ – фазы (интерметаллид CuBe), располагающейся и по границам, и внутри зерен α – раствора (рис. П4). Дисперсные частицы сильно тормозят дислокации при малых пластических деформациях, повышают сопротивление и упругость.

Микроструктура литой бронзы БрБ2 (рис. 49 /3/): светлые денуриты α – твердого раствора Ве в Cu и межосные включения темного эвтектоида ($\alpha + \gamma$), образующегося при температуре 578⁰ С. Высокая стоимость и токсичность Ве ограничивают его применение.

Литийные бронзы

Оловянные. Применяют, как коррозионностойкие, сравнительно прочные, износостойкие материалы. Диаграмма Cu-Sn представлена на рис. П5.

БрОЗЦ12С5 – паро-водяная арматура общего назначения.

БрОЗЦ7С5Н1 – детали, работающие в масле, паре и пресной воде.

БрО5С25 – биметаллические подшипники скольжения.

БрО10Ц2 – антифрикционные детали, вкладыши подшипников (рис. П6 – микроструктура).

Дополнительные легирующие элементы снижают содержание дефицитного олова и улучшают свойства сплавов: Zn улучшает жидкотекучесть и механические свойства; Pb повышает плотность отливок, создает мягкие участки, что необходимо для подшипников; Ni измельчает зерно и улучшает механические свойства. Влияние олова на свойства сплавов отражает рис. П7.

Оловянные бронзы имеют минимальную усадку: при литье в песчаную форму – 0,85, а в кокиль – 1,4 %. Поэтому из них получают сложные фасонные отливки. Лучшие художественные бронзы имеют состав: Cu 80-90, Sn 3-8, Pb 1-3 %. В колокольных бронзах содержится 16-22 % Sn, 2 % Zn.

Безоловянные. Алюминиевые наиболее распространенные. Склонность к ликвации меньше, плотность отливок и жидкотекучесть больше; они прочнее, но по сравнению с оловянными имеют значительную усадку (склонность к образованию трещин).

БрА9ЖЗЛ. Буква Л означает «литейная» т.к. имеется деформируемая бронза близкого состава БрАЖ9-4.

Назначение: арматура, антифрикционные детали.

БрА9Мц2Л - арматура, антифрикционные детали, работающие в жидком топливе и паре при температуре до 250⁰ С.

БрС30 (свинцовая) обладает хорошими антифрикционными свойствами и предназначена для высоконагруженных подшипников (мощных турбин, дизелей, авиамоторов). Из-за невысокой прочности применяется путем заливки на стальной вкладыш (биметалл). Микроструктура представлена на рис. 48 /3/.

3. Индивидуальные задания

3.1. Задания

1. Для сплавов (металла и сплава) по варианту задания охарактеризовать (представить):

- системы (компоненты сплава), добавки и примеси;
- химический состав (%) по ГОСТ или примерный по марке;
- микроструктуру (схема или описание);
- макроструктуру (по необходимости);
- диаграмму состояния (копия);
- способ упрочнения;
- основные показатели свойств;
- область применения;
- другие сведения (по необходимости).

2. Изучить микрошлиф и зарисовать микроструктуру металла или сплава по заданию преподавателя.

Вариант задания	Наименование металла и сплава								
	Алюминий	Магний	Ковочный сплав	Дюралюмин	Силумин	Высокопрочный сплав	Медь	Латунь	Бронза
1			АК 8						БрБНТ 1,7
2	АД 1								БрА7
3					АК 12			Л 96	
4						В 96 Ц			БрС30
5				Д 16			М 2		
6			АК 6					Л 60	
7	АД 0								БрАМц 9-2
8		АМг 3					М 3		
9	АД 00								БрБ2
10						АМ 5	М 00		
11		АМг 1							БрО10Ц2
12		АМг 2						ЛС 60-1	
13					АК 5М			Л 80	
14				Д 19				ЛМц 58-2	
15		АМг 5					М 0		
16				Д 1				ЛЦ 16 К4	

Форма отчета

Лабораторная работа 10

Цветные металлы и сплавы

Алюминий и медь: микроструктуры (рисунки и описания) и элементарные кристаллические ячейки алюминия и меди. Марки и состав (%) металлов технической чистоты. Применение (кратко) и основные сравнительные показатели: ρ , σ_b , δ , НВ (в виде ленточных диаграмм: ρ_m , ρ_a , δ_m , δ_a и тд.).

Двойная диаграмма состояния сплавов Al – легирующий элемент.

Основные группы медных и алюминиевых сплавов.

Микроструктура (рисунок) исследованного по заданию преподавателя материала.

Индивидуальное задание.

2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

Тема: «Разработка технологического процесса изготовления отливки в песчаной форме»

2.3.1 Цель работы: Освоить основные принципы конструирования модельного комплекта и разработки технологического процесса изготовления отливок.

2.3.2 Задачи работы:

1. Для заданной детали спроектировать и заэскизировать модель отливки, стержень и литниковую систему.
2. Разработать технологию и составить карту основных операций изготовления формы.
3. Изобразить собранную форму с указанием ее элементов.

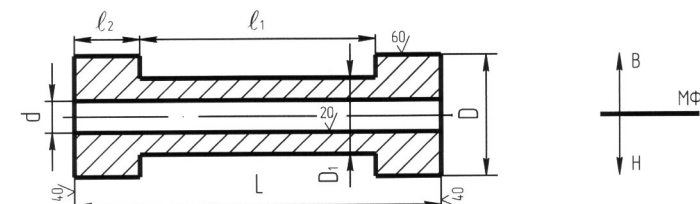
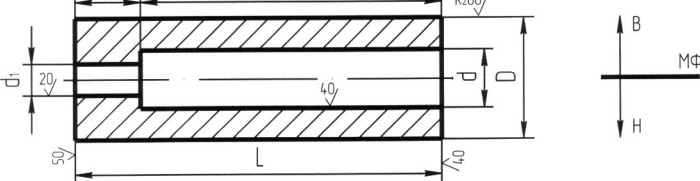
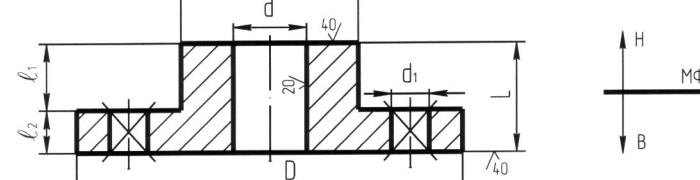
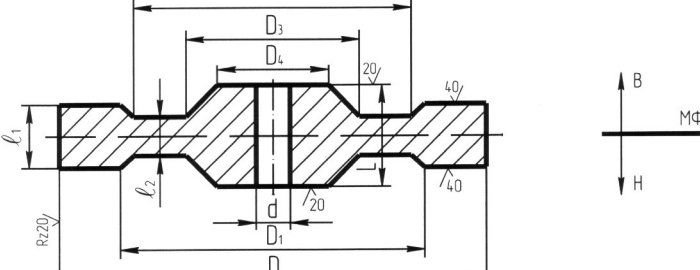
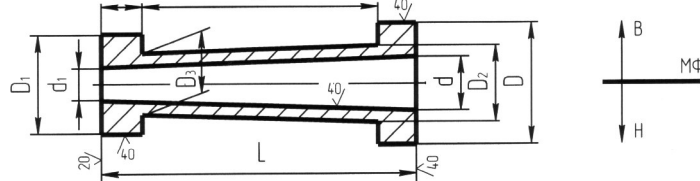
2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание по выполнению лабораторной работы.

2.3.4 Описание (ход) работы:

Задания. Размеры деталей

Вариант задания	Шифр детали	Размеры детали, мм									
		L	l ₁	l ₂	D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	d	d ₁
1.	I	300	180	60	240	150	-	-	-	60	-
2.	I	200	160	20	140	100	-	-	-	60	-
3.	I	400	300	50	300	200	-	-	-	100	-
4.	II	240	180	60	150	-	-	-	-	100	60
5.	II	180	140	40	120	-	-	-	-	80	50
6.	II	300	220	80	200	-	-	-	-	160	100
7.	III	250	230	20	200	100	-	-	-	60	20
8.	III	200	180	20	160	80	-	-	-	40	18
9.	III	150	125	25	150	80	-	-	-	40	20
10.	IV	150	130	30	320	290	270	100	90	50	-
11.	IV	140	120	20	300	270	250	90	80	60	-
12.	IV	120	100	15	250	220	200	90	80	50	-
13.	V	340	300	20	170	120	140	80	-	100	50
14.	V	300	260	20	190	140	160	100	-	120	70
15.	V	250	210	20	150	100	130	60	-	80	30
16.	V	220	180	20	140	90	100	60	-	70	20

Шифр детали	Эскиз детали
I	
II	
III	
IV	
V	

1. Проектирование модели отливки

1.1. Общие положения

Модель - приспособление, предназначенное для получения рабочей полости в литейной форме. Основным исходным документом для разработки чертежа (эскиза) модели, стержневого ящика и отливки является чертеж детали, который выполняется с простановкой всех технологических указаний, необходимых для изготовления модельного комплекта, формы и стержней.

При конструировании модели и стержневого ящика на чертеже (эскизе) детали указываются: плоскость разъема модели и литейной формы, положение отливки в форме,

стержни и их знаки, чистота (шероховатость) обрабатываемых поверхностей, припуски на механическую обработку, формовочные уклоны и галтели.

1.2. Обозначения разъемов модели и формы

Прямую плоскость разъема модели и формы изображают прямым отрезком основной линии (ломаную плоскость - ломаным отрезком), над которым проставляют буквенное обозначение разъема МФ (если модель неразъемная - только Ф). Направление разъема изображают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной линии разъема.

1.3. Выбор поверхности разъема формы делают с учетом следующих положений:

форма и модель, по возможности, должны иметь одну, желательно плоскую горизонтальную, поверхность разъема;

в симметричных изделиях плоскость разъема должна проходить через ось симметрии;

всю отливку, если позволяет конструкция, нужно располагать в одной (лучше в нижней) полуформе во избежание перекосов; модель должна свободно извлекаться из формы.

1.4. Положение отливки в форме

Наиболее ответственные рабочие части, плоские протяженные поверхности; места, подлежащие механической обработке, по возможности,

располагать внизу, в крайнем случае - вертикально или наклонно. Это уменьшит вероятность образования газовых, земляных, шлаковых и усадочных раковин.

Формы для отливок, имеющих конфигурацию тел вращения (гильзы, втулки, барабаны) с обрабатываемыми наружными и внутренними поверхностями лучше заливать в вертикальном положении. Иногда формовку выполняют в одном положении, а заливают форму в другом.

Положение отливки в форме обозначают буквами **В** (верх) и **Н** (низ), которые проставляют у стрелок, указывающих направление разъема формы.

1.5. Определение припусков на механическую обработку

Отливки используются в основном в качестве заготовок, которые подвергаются дальнейшей механической обработке с целью получения заданных размеров и необходимой чистоты (шероховатости) поверхности. С этой целью на поверхностях отливки, подлежащих механической обработке, предусматривают припуски. **Припуски** назначают в зависимости от габаритных размеров отливки, класса точности деталей и положения обрабатываемой поверхности в форме при заливке ее жидким металлом. Припуск для обрабатываемой поверхности в верхней части отливки выбирают больше, чем для поверхностей, расположенных в нижней и боковой частях отливки. Это объясняется скоплением газов и неметаллических включений в верхних частях отливок.

В соответствии с ГОСТом 26645-85 припуски на обработку (на сторону) устанавливают в зависимости от допусков размеров отливки дифференцированно для каждого элемента. Допуски определяют в зависимости от номинальных размеров отливок.

Классы точности отливок зависят от способа литья, наибольших габаритных размеров отливок, вида сплава. Для отливок из серого чугуна с габаритами до 630 мм, получаемых в песчаных формах классы точности назначают от 7-го до 12-го. Для сложных (со стержнем) отливок, получаемых мелкосерийно и индивидуально можно принять 10 класс.

Таблица 1. Допуски линейных размеров отливок по 10 классу точности

Номинальный размер, мм	17-25	26-40	41-63	64-100	101-160	161-250	251-400
Допуск, мм	2,0	2,2	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0

Для тех же условий ряды припусков 2-4.Принимаем 4-й ряд (табл.2).

Таблица 2. Основные припуски на механическую обработку отливок

Допуски размеров отливок, мм	1,61 -2,00	2,01-2,40	2,41-3,00	3,01-4,00
Основной припуск, мм: низ или бок,	3,4-4,2	3,8-4,6	4,2-5,0	5,0-6,5
верх отливки	4,2-5,0	4,6-5,5	5,0-6,5	5,5-7,0

Указания. Составить таблицу, в верхней строке которой проставить все номинальные (измеряемые при механической обработке) размеры обрабатываемых поверхностей. Во второй строке записать выбранные из табл. 1 допуски и в третьей строке - соответствующие им припуски.

Нанести припуски на эскиз детали. Припуск обозначают тонкой сплошной линией у обрабатываемой поверхности. Значение припуска проставляют перед знаком шероховатости поверхности детали.

1.6. Формовочные уклоны.

Формовочными называют уклоны, выполненные на вертикальных стенках модели, стержневых ящиков, а также на углублениях и выступах элементов модельного комплекта. Если в отливке предусмотрены конструктивные уклоны, то формовочные не делают.

Формовочные уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы или стержня из ящика. Значения уклонов принимать по табл.3.

Таблица 3. Формовочные уклоны поверхностей, образующих полость формы, β

Высота h поверхности модели, извлекаемой из формы, мм	Деревянная модель	Металлическая или пластмассовая модель
До 20	3°	1°30'
21-50	1°30'	1°
51-100	1°	0°45'
101-200	0°45'	0°30'
201-300	0°30'	0°30'
301-800	0°30'	0°20'

Формовочные уклоны на обрабатываемых поверхностях отливки следует выполнять сверх припуска на механическую обработку, на необрабатываемых поверхностях - в зависимости от того сопрягаются они или не сопрягаются с другими деталями.

1.7. Припуск на усадку сплава

Усадкой называют уменьшение объема сплава при его кристаллизации и при охлаждении в твердом состоянии. На усадку данного сплава влияют размеры и форма

отливки, свойства формовочных материалов. Так, крупные и круглые полые отливки практически не дают усадки по диаметру, в то время как по высоте она будет. Усадка может быть неполной из-за торможения ее литейной формой.

Предположим, что усадка заданной отливки равномерна во всех направлениях и составляет для серого чугуна 0,8%. Нужно вычислить значения усадки для габаритных размеров отливки и отверстий под стержни. Полученные значения учесть при выполнении эскиза модели.

1.8. *Галтели* - закругления внутренних углов модели (и отливки). Галтели предотвращают осыпание формовочной смеси при извлечении модели из формы. Радиусы галтелей составляют от 1/5 до 1/3 средней арифметической толщины сопряженных стенок отливки, т.е. или $0,5(a + b)$.

Стандартные значения радиусов выбрать из ряда: 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 и 40 мм.

2. Проектирование стержня

Стержень - это элемент литейной формы, служащий для образования отверстия (внутренней полости) отливки. Диаметр (толщина) стержня рассчитывается исходя из соответствующего размера внутренней полости детали с учетом припусков на механическую обработку и усадку материала по формуле

$$D_{\text{ст}} = D_{\text{отв.}} - 2\delta + \varepsilon,$$

где $D_{\text{отв.}}$ - диаметр отверстия детали, мм;

δ - припуск на механическую обработку, мм;

ε - усадка отливки по диаметру отверстия, мм.

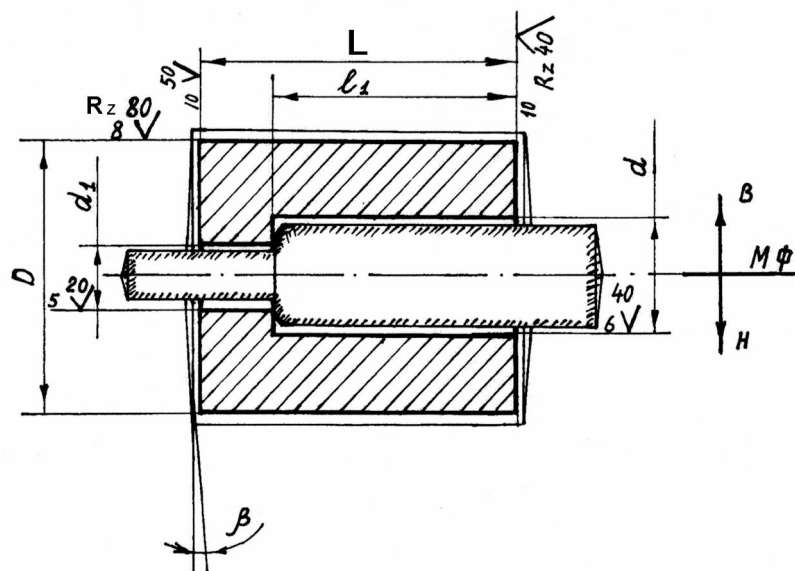


Рис. 1. Эскиз детали с элементами литейной технологии

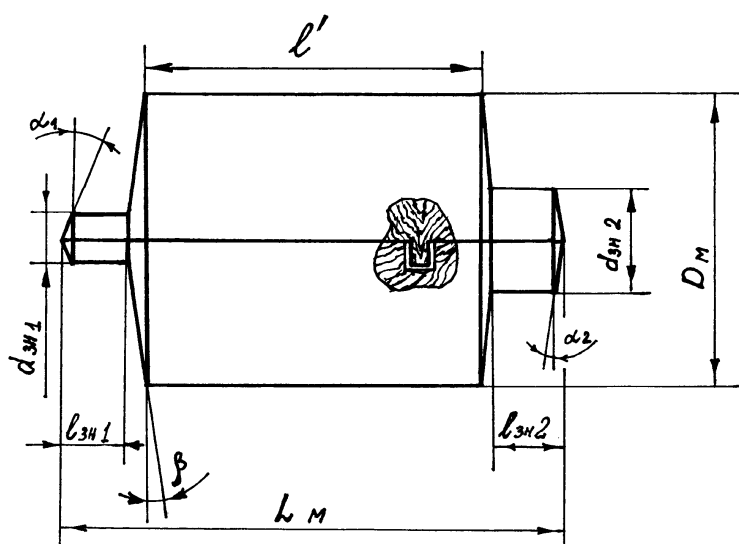


Рис. 2. Эскиз модели

Для установки и закрепления стержней в форме на них предусматриваются стержневые знаки. Размеры знаков горизонтальных и вертикальных стержней выбирают в соответствии с ГОСТ 3606 - 80 по табл. 4, а уклоны - по табл. 5.

Таблица 4. Длина горизонтальных и высота нижних вертикальных знаков

Диаметр стержня, мм	Размеры знаков, в мм не более при длине стержня, в мм															
	до 50		51-80		81-120		121-180		181-250		251-315		316-400		401-500	
	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер
до 30	20	20	25	30	30	30	35									
31-50	20	20	25	35	30	35	35	35	45	50	50	60		60		70
51-80	20	25	25	35	30	35	40	35	50	40	55	50	60	60	70	70
81-120	20	25	25	35	35	35	45	35	55	40	60	50	70	60	80	70

Высоту верхних вертикальных знаков принимают не более 0,5 высоты нижних.

Таблица 5. Уклоны знаков в градусах

Высота знака, мм	Знак вертикального стержня		Знак горизонтального стержня, α
	нижний	верхний	
до 30	10	15	4
31 - 50	7		3
	6	10	2

Примечание. Высота горизонтального цилиндрического знака принимается равной половине его диаметра.

На чертеже детали стержни и их знаки изображаются сплошной тонкой линией с нанесением штриховки по контуру.

После определения припусков, уклонов, радиусов галтелей и проектирования стержня эскиз детали дополняется элементами литейной технологии (рис.1) и вычерчивается эскиз модели с указанием всех линейных и угловых размеров (рис.2).

3. Расчёт литниковой системы

Литниковая система служит для подвода металла в полость литейной формы, улавливания шлака и состоит из литниковой чаши, стояка, шлакоуловителя и выпоров (рис.3).

Стояк и выпоры имеют форму усеченного конуса с уклоном от 3 до 5°. Шлакоуловитель и питатель в поперечном сечении имеют форму трапеции.

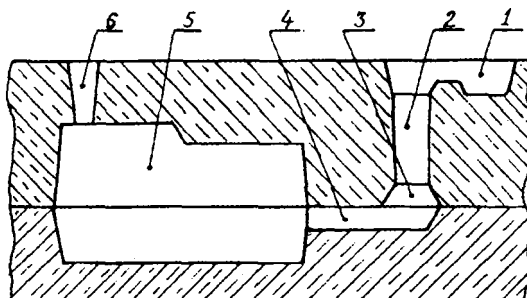


Рис. 3. Литниковая система:

1-литниковая чаша; 2-стояк; 3-шлакоуловитель;
4-питатель; 5-рабочая полость; 6-выпор

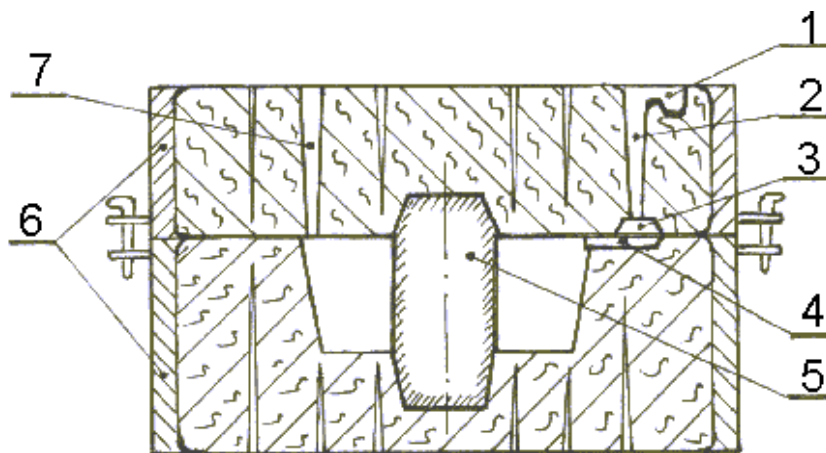


Рис. 4. Литейная форма:

1-чаша; 2-стояк; 3-шлакоуловитель; 4-питатель;
5-стержень; 6-опоки; 7-выпор

При формовке шлакоуловитель, стояк, литниковая чаша и выпоры располагаются в верхней полуформе, а питатели - в нижней.

Расчет литниковой системы сводится к определению площади поперечных сечений ее элементов.

Площадь сечения питателя можно определить по эмпирической формуле

$$F_{\Pi} = C \sqrt{M}, \quad \text{см}^2$$

где C - к-т, зависящий от средней толщины стенки отливки;

M - масса отливки, кг.

Таблица 6. Значения коэффициента С

Толщина стенок отливки, мм	Значение коэффициента С
до 5	0,8
8-15	0,65
15-30	0,55
свыше 30	0,50

Площадь сечений шлакоуловителя и стояка в основании определяется из соотношения

$$F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,1 : 1,5$$

Сечение выпора принимают равным 0,6 - 0,85 сечения стояка.

Для предупреждения образования усадочных раковин в некоторых (например, толстостенных) отливках необходимо предусмотреть специальные приливы - прибыли, масса расплава в которых принимается от 0,8 до 1,5 массы питаемого узла.

4. Выбор основных операций изготовления литейной формы

Последовательность выполнения операций формовки и их содержание зависят от вида модели (разъемная или неразъемная), наличия или отсутствия стержней, размеров отливки и других факторов.

Для мелких (до 100 кг) и средних ($M > 100$ кг) отливок ручное изготовление формы в двух опоках по разъемной модели со стержнем можно назначить в следующем порядке.

1. На подмодельную плиту установить нижнюю часть модели, модель питателя (рис. 4) и нижнюю опоку разъемом вниз.

2. Просеянную облицовочную смесь уплотнить руками на полумоделе слоем 20-30 мм.

3. Насыпать в опоку слой наполнительной смеси высотой 50 - 70 мм и уплотнить его трамбовкой. Повторять эту операцию до получения небольшой выпуклости над краями опоки.

4. Срезать линейкой излишки формовочной смеси и сделать иглой вентиляционные каналы.

5. Повернуть нижнюю опоку на 180°, установить на нее верхнюю опоку. На нижнюю часть модели установить ее верхнюю часть, разместить модели шлакоуловителя 3, стояка 2 и выпоров 7.

6. Плоскость разъема посыпать разделительным песком и повторить операции формовки 2,3,4.

7. Вырезать литниковую чашу 1 и извлечь модели стояка и выпоров.

8. Верхнюю полуформу снять и установить на плиту плоскостью разъема вверх.

9. Извлечь половинки модели отливки, модели шлакоуловителя и питателя. Исправить поврежденные места формы гладилками, ланцетами, ложечками.

10. Рабочую полость формы припылить серебристым графитом. В отпечатки нижней полуформы установить стержень 5, форму собрать под заливку металлом.

2.4 Лабораторная работа № 4 (2 часа).

Тема: «Разработка технологического процесса изготовления поковки»

2.4.1 Цель работы: Ознакомиться с методикой разработки технологии и составлением технологической карты на изготовление поковки.

2.4.2 Задачи работы:

1. Составить эскиз поковки.
2. Рассчитать размеры и массу заготовки.
3. Выбрать кузнечное оборудование и инструмент.
4. Выбрать нагревательное устройство и определить режимы нагрева и охлаждения заготовки.
5. Выполнить техническое нормирование.
6. Назначить кузнечные переходы.
7. Составить технологическую карту на изготовление поковки.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание по выполнению лабораторной работы.

2.4.4 Описание (ход) работы

Задания по вариантам. Размеры деталей.

Вари ант	Шифр поковки	Размеры детали в мм							
		L (H)	Д	Д ₁	Д ₂	l	l ₁	l ₂	d
1	1	300	180	150	100	150	80	70	
2	1	220	90	60	40	80	90	50	
3	2	260	100	65	50	90	100	70	
4	2	380	175	110	80	190	100	90	
5	3	120	70	40	-	30	90	-	
6	4	180	90	60	70	50	60	70	
7	3	280	100	70	-	80	200	-	
8	5	190	85	45	60	40	100	50	
9	5	260	105	65	80	70	110	80	
10	5	320	120	80	100	130	130	60	
11	6	30	90	-	-	-	-	-	30
12	6	55	115	-	-	-	-	-	45
13	6	70	155	-	-	-	-	-	65
14	7	120	100	-	-	-	-	-	60
15	7	180	180	-	-	-	-	-	60
16	7	210	220	-	-	-	-	-	100

Задания. Эскизы деталей

Шифр детали	Эскиз детали
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6, 7.	

1. Составление чертежа поковки

Чертеж (эскиз) поковки составляется по чертежу детали. Размеры поковки по сравнению с размерами готовой детали корректируются с учетом припуска на механическую обработку. Кроме того, на все размеры поковки назначаются допуски. Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах, регламентированы ГОСТ 7829-70. Припуски на диаметры круглых поковок (валов) с выступами и уступами назначаются по табл. 1. При этом, припуски на длину уступов принимаются кратными припуску на диаметр выступа наибольшего сечения, а припуск на общую длину поковки принимают равным 2,5 припуска на диаметр наибольшего сечения

Припуски на поковки-цилиндры, кольца и т.п. назначаются по таблице 2.

Поковки сложной формы иногда получают с **напуском** -дополнительным объемом металла (под канавки, стопорные кольца), который упрощает форму поковки и процессковки.

Указание I. Припуски на все номинальные размеры записать в отчет по лабораторной работе. Для упрощения расчета предельные отклонения не указывать.

Таблица 1. Припуски и предельные отклонения на диаметры для поковок - валов

Длина детали, мм	Припуски и предельные отклонения при диаметре детали D, мм						
	до 50	св. 50 до 70	св. 70 до 90	св. 90 до 120	св. 120 до 160	св. 160 до 200	св. 200 до 250
До 250	5±2	6±2	8±2	9±3	-	-	-
Св. 250 до 500	6±2	7±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3
Св. 500 до 800	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4

Таблица 2. Припуски и предельные отклонения на поковки - диски, втулки с отверстиями, мм

Диаметр детали, мм	Размеры детали. На которые на значают припуски	Припуски и предельные отклонения при высоте детали H, мм							
		до 50	св 50 до 65	св 65 до 80	св 80 до 100	св 100 до 125	св 125 до 150	св 150 до 180	св 180 до 215
Св 80 до 110	H	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±2	-
	D.L.B	7±2	8±2	9±2	10±2	10±2	11±3	12±4	-
	d	14±2	15±2	15±2	16±2	16±2	17±3	18±4	-
Св.110 до 150	H	7±2	8±2	9±2	9±2	10±2	11±3	12±4	13±4
	D.L.B	9±2	9±2	10±2	11±3	11±3	12±4	13±4	14±5
	d	15±2	16±2	16±2	17±3	17±3	18±4	19±4	20±5
св.150 до 200	H	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4
	D.L.B	10±3	10±3	11±3	12±4	12±4	13±4	13±5	14±5
	d	16±3	17±3	17±3	18±4	18±4	19±4	19±4	20±5
Св.200 до 250	H	8±3	9±3	9±3	10±3	11±4	12±4	13±4	14±5
	D,L.B	11±3	11±3	12±3	13±4	13 ±4	14±4	14±4	15±5
	d	17±3	18±3	18±3	19±4	19±4	20±4	20±4	21±5

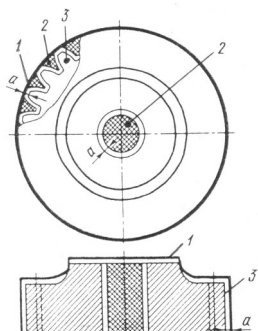
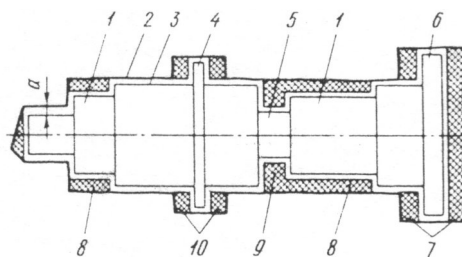


Рис. 1. Припуски и напуски на поковке шестерни:

1–контур поковки, 2 – напуск,
3 – контур готовой детали: d – припуск на обработку резанием.

Рис. 2. Припуски и напуски поковки ступенчатого вала:

1 – уступ, 2, 3 – контуры поковки и готовой детали, 4 – бурт,
5 – выемка, 6 – фланец,
7... 10 - напуски на фланец выемку и бурт.



Эскиз поковки рекомендуется выполнить отдельно. Допустимо совмещение эскизов поковки и детали как это показано на рис. 1.

2. Расчет массы и размеров заготовки

Исходной заготовкой для свободнойковки мелких и средних поковок служит прокат. Расчет заготовки из проката включает в себя определение ее объема, массы, поперечного сечения и длины. Объем заготовки определяется из уравнения

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{пок.}} + V_{\text{обс.}} + V_{\text{уг.}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{пок.}}$ - объем поковки. Определяется как сумма элементарных объемов, на которые разбивают поковку;

$V_{\text{обс.}}$ - объем обсечек, принимается равным 5-8 % от объема заготовки;

$V_{\text{уг.}}$ - угар металла (окалину) принимаем равным 2-5% от $V_{\text{заг.}}$.

В среднем можно принять $(V_{\text{обс.}} + V_{\text{уг.}}) \cong 10\%$ от объема заготовки. Тогда уравнение (1) преобразуется следующим образом

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{пок.}} + 0,1V_{\text{заг.}}; \quad 0,9V_{\text{заг.}} = V_{\text{пок.}} \quad (2)$$

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{пок.}} / 0,9 \quad (3)$$

Указание 2. Все промежуточные расчетные данные при определении объема поковки свести в таблицу 3.

Таблица 3. К расчету объема поковки

Элементарный объем V_i	Площадь сечения F_i , см^2	Длина (высота) l_i , см	Объем V_i , см^3
I			
II			
III			

При изготовлении пустотелых поковок в расчет принимается еще объем выдры V_B .
Тогда

$$0,9V_{\text{заг.}} = V_{\text{пок.}} + V_B. \quad (4)$$

При прошивке сплошным прошивнем с подкладными кольцами

$$V_B = 0,75 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_B \quad (5)$$

где d - диаметр отверстия поковки;

h_B - высота выдры, принимается равной высоте отверстия.

Масса заготовки $M_{\text{заг.}}$ определяется исходя из рассчитанного объема и плотности металла

$$M_{\text{заг.}} = V_{\text{заг.}} \cdot \gamma, \quad (6)$$

где γ - плотность стали, равная $7,8 \text{ г/см}^3$.

После определения массы заготовки приступают к расчету ее размеров.

Площадь поперечного сечения заготовки находят с учетом значения уковки (коэффициента уковки), определяющей степень деформации металла, от которой зависит размер зерна.

Уковка при *вытяжке* заготовки характеризует уменьшение её поперечного сечения

$$y_{\text{в}} = \frac{F_{\text{заг.}}}{F_{\text{max}}}, \quad (7)$$

а при *осадке* - увеличение сечения

$$y_{\text{о}} = \frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{заг.}}}, \quad (8)$$

где y - уковка, для проката принимается равной 1,3 - 1,5 ;

$F_{\text{заг.}}$ - рассчитываемая площадь поперечного сечения заготовки;

F_{max} - максимальная площадь поперечного сечения поковки.

При изготовлении поковки осадкой необходимо соблюдать следующее правило: высота (длина) заготовки должна быть не более 2,5 диаметра её во избежание изгиба при осадке.

На основании рассчитанной площади поперечного сечения заготовки по ГОСТ 2590 выбирают ближайший больший размер сечения проката. Стандартные диаметры и соответствующие им площади поперечного сечения круглого проката приведены в табл. 4.

Таблица 4. Поперечные сечения проката

Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения см^2	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения см^2
50	19.64	120	113.10
53	22.06	125	122.72
56	24.63	130	132.73
60	28.27	140	153.94
63	31.17	150	176.72
65	33.18	160	201.06
70	38.48	170	226.98
75	44.18	180	254.47
80	50.27	190	283.53
85	56.75	200	314.16
90	63.62	210	346.36
95	70.88	220	380.13
100	78.54	240	452.39
105	86.59	250	490.88
110	95.03		

Длина заготовки определяется по формуле

$$L = \frac{V_{\text{заг.}}}{F_{\text{з.т.}}}, \text{ см} \quad (9)$$

где $F_{\text{з.т.}}$ - площадь поперечного сечения проката, принятая по таблице.

3. Выбор кузнечного оборудования и инструмента

При разработке технологического процессаковки важное значение имеет правильный выбор оборудования и определение мощности молота, которая

характеризуется массой падающих частей. Молоты подбираются в зависимости от размеров заготовки по табл.5.

Таблица 5. Мощность молотов

Диаметр поперечного сечения заготовки, мм	50	60	70	85	100	115	135	160	225	275	300
Масса падающих частей, кг	100	150	200	300	400	500	750	1000	2000	3000	5000

Инструмент для машинной свободнойковки делится на три группы: для обработки, для удержания и для измерения поковок. К инструменту для обработки поковок относятся бойки молота, обжимки - для отделки поверхностей, пережимки для образования различных углублений, раскатки - для местной вытяжки, топоры - для рубки металла, прошивни (при изготовлении отверстий диаметром более 25 мм) и пробойники. Для удержания поковок применяются различные клещи. Для измерения поковок используют линейки, кронциркули и шаблоны.

4. Выбор нагревательного устройства и определение режимов нагрева и охлаждения

Для нагрева поковок наибольшее распространение получили пламенные и электрические печи камерного типа. В условиях мелкого ремонтного производства применяют еще горны открытого типа.

Обоснование режима нагрева заключается в правильном выборе максимальной температуры, времени выдержки и скорости нагрева заготовки. Максимально допустимая температура нагрева перед ковкой для углеродистых сталей должны быть ниже их температуры плавления примерно на 150°C. Эту температуру принимают несколько выше температуры началаковки T_n с учетом остывания заготовки при передаче её после нагрева к молоту.

Температура концаковки углеродистых сталей T_k устанавливается на 50 - 70° выше линии GSK диаграммы железо - цементит. Ниже этой температуры в процессековки возможен наклеп металла и появление в нем трещин, а также преждевременный износ оборудования. Окончаниековки при температуре значительно превышающей расчетную T_k приводит к получению перегретого крупнозернистого металла. Рекомендуется заканчивать ковку при температуре выше T_k на 20 - 30°C.

По табл. 6 определить температурный интервалковки заданной стали - выписать температуры T_n и T_k .

Таблица 6. Температурные интервалыковки сталей

Марка стали	Температура, °C		
	T_n	T_k	пережога
Ст 2, Ст 3,10,15,	1300	700	1470
18, 20, 30, 35	1280	750	1400
40, 45, 50	1260	760	1350
55, 60	1230	760	1300
15X, 20X	1250	760	1300
30X, 30XГС	1240	800	-
40X, 50X, 40XH	1250	800	-

Продолжительность нагрева и необходимой выдержки заготовок в печи определяется по формуле

$$t = k \cdot D \cdot \sqrt{D}, \text{ час} \quad (10)$$

где t - минимальное время нагрева заготовки, час;

k - коэффициент, равный 10 для низкоуглеродистой и низколегированной и 20 - для высокоуглеродистой и легированной стали;

$D(B)$ - диаметр круглой или сторона квадратной заготовки, м

Важной операцией получения качественных поковок является их охлаждение, поэтому в технологических картах должен указываться способ охлаждения.

Поковки из мало- и среднеуглеродистых сталей охлаждают на воздухе. Поковки из высокоуглеродистых и легированных сталей размером до 100 мм охлаждают на воздухе, при размерах 100 -200 мм в штабелях на воздухе и при размерах 200 - 300 мм - в колодцах на воздухе.

5. Техническое нормированиековки

Наличие вполне определенного температурного интервала для пластической деформации металла $T_n - T_k$ дает возможность определить времяковки. Определив время остывания в пределах температурного интервала

ковки, тем самым определяют времяковки. В зависимости от конфигурации и размеров поковка изготавливается с одного или нескольких нагревов. Умножив количество нагревов на время остывания, получают общее время, необходимое для изготовления поковки. Продолжительность остывания $t_{ост}$ определяется по формуле

$$t_{ост} = C \cdot m, \text{ мин} \quad (11)$$

где C - температурный фактор, зависящий от температуры началаковки, выбирается по табл. 7.

m - геометрический фактор, зависящий от размеров заготовки, определяется по формуле

$$m = \frac{1}{\frac{1}{L} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}}, \quad (12)$$

где L, b, h , - соответственно длина, ширина и толщина заготовки, мм

Таблица 7. Температурный фактор C

Начальная температураковки, °C	1000	1100	1200	1250	1300
Значение C	0,12	0,20	0,25	0,27	0,28

Оперативное времяковки $t_{оп}$ определяется по формуле

$$t_{оп} = n \cdot t_{ост}, \quad (13)$$

где n - количество нагревов для изготовления поковки.

Количество нагревов устанавливают исходя из следующих соображений: простые по форме поковки (валики, фланцы, втулки и т.д.) при длине заготовки до 1500 мм требуют один нагрев; поковки средней сложности (многоступенчатые валы, тяги с головками, шатуны и т.п.) требуют два нагрева; сложные поковки при длине свыше 1500 мм требуют три нагрева.

Норму времени t_n определяют по формуле

$$t_n = 1,25 t_{оп} + \frac{t_{пз}}{n_{шт}} \quad (14)$$

где $t_{пз}$ - подготовительно-заключительное время;
принимается равным: для простых поковок 6 мин, для поковок средней сложности - 8 мин, для сложных поковок -10 мин;
 $n_{шт}$ - количество поковок в партии.

6. Назначение кузнечных переходов

При разработке технологииковки необходимо стремиться к наименьшему числу переходов и минимуму отходов металла. Кузнечные переходы, их последовательность зависят от конфигурации поковки и технических условий на её изготовление. Выбранные переходы и промежуточные размеры заготовки заносят в технологическую карту. Пример составления технологической карты на изготовление поковки из проката методом свободнойковки приводится в табл. 8.

Форма отчета

Лабораторная работа 4

Тема. Разработка технологического процесса изготовления поковки

1. Задание.
2. Построение чертежа поковки.
3. Технологические расчеты.
4. Составление карты технологического процесса изготовления заданной поковки.

2.5 Лабораторная работа № 5 (2 часа).

Тема: «Проектирование технологического процесса ручной электродуговой сварки»

2.5.1 Цель работы: Ознакомление с методикой разработки технологического процесса ручной электродуговой сварки элементов конструкции.

2.5.2 Задачи работы:

1. Выбрать форму кромок свариваемых элементов, их размеры и размеры шва.
2. Определить диаметр, тип и марку электрода, а также параметры режима сварки.
3. Выбрать источник сварочного тока.
4. Рассчитать массу наплавленного металла и потребного количества электродов.
5. Рассчитать норму времени и скорость сварки.
6. Составить технологическую карту.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание по выполнению лабораторной работы.

2.5.4 Описание (ход) работы

Задания

Вариант	Материал	Толщина элементов в, мм	Тип сварного соединения	Нагрузка кН
1	Ст3сп	3	Стыковое	50
2	25	5	То же	75
3	В Ст3пс	8	- “ -	120
4	35	10	- “ -	150
5	В Ст4кп	12	Угловое	200

6	30	15	- “ -	300
7	В Ст5пс	18	Стыковое	360
8	40	20	Угловое	400
9	Ст5сп	25	- “ -	500
10	Ст4кп	30	- “ -	600
11	45	32	Стыковое	650
12	50	35	- “ -	700
13	В Ст6сп	40	- “ -	800
14	60	45	- “ -	900
15	70	50	- “ -	1000

1. Обоснование геометрической формы свариваемых кромок, их размеров и размеров шва

1.1. Типы соединений и швов

Сварным называют полученное сваркой неразъемное соединение, состоящее из шва и примыкающих к нему участков основного металла.

В зависимости от расположения в пространстве сварных элементов конструкции различают следующие типы соединений:

стыковое - элементы расположены в одной плоскости, угловое - эл. расположены под прямым углом, нахлесточное - элементы расположены параллельно с частичным перекрытием, тавровое - один элемент торцом примыкает к боковой поверхности другого, торцовое - сваренное по торцам элементов.

Типы швов - стыковые, угловые, пробочные, прорезные в зависимости от формы поперечного сечения. По ширине: узкий (от 0,8 до $1,5 \cdot d_3$) и уширенный (от 2 до $4 d_3$).

Кроме того, выделяют сплошные и прерывистые швы; одно - и двухсторонние; прочные, плотные и прочно - плотные и т.д.

1.2. Форма и размеры кромок и шва

Для всех швов важен полный провар кромок соединяемых элементов. Поэтому перед сваркой элементов большой толщины необходимо разделывать кромки. Форму разделки кромок и их сборку для сварки (рис. 1) характеризуют следующие геометрические параметры: зазор **b**, притупление **c**, угол скоса кромки **β** и угол разделки кромок **α**. Поперечное сечение стыкового шва характеризуют: ширина **е**, высота **Н** и усиление (выпуклость) **q**. Для углового шва: ширина **е**; катет **К** - расстояние от поверхности элемента до границы шва на поверхности второго элемента; **Н** - наибольшее расстояние от поверхности шва до точки максимального проплавления основного металла; усиление **q**. Основные из перечисленных показателей определяет ГОСТ 5264 - 80.

В таблице 1 приведены возможные способы подготовки формы кромок (разделки) свариваемых элементов в зависимости от их толщины.

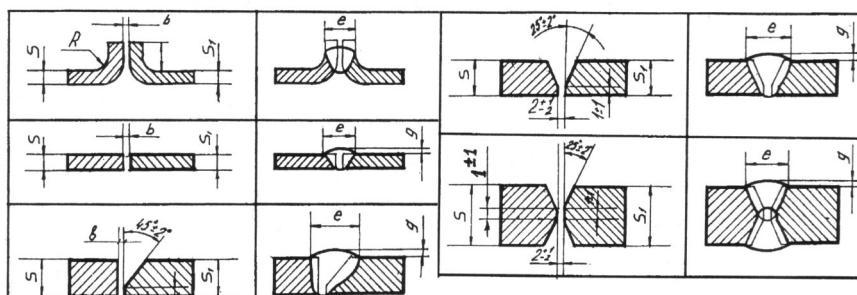


Рис. 1. Геометрические параметры кромок и швов

Для определенной толщины S металл иногда можно разделить несколькими способами. Например, выполнить X - образную разделку, при которой сварку с другой стороны можно вести или потолочным швом, или повернув изделие на 180° . Если то и другие невозможно, то выполняют V - образную разделку и при этом потребуется наплавить металла в 1,6 -1,7 раза больше.

Если нужно получить плотный шов предусматривается скос кромки при $S > 3$ мм, хотя ГОСТ допускает в общем случае сварку без скоса при S до 12 мм.





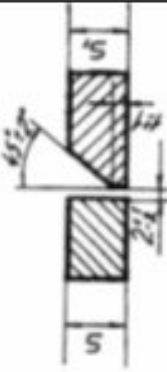
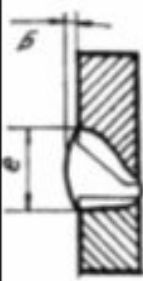
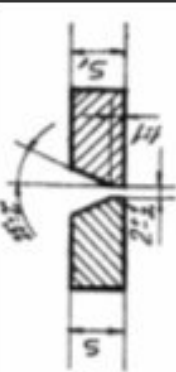
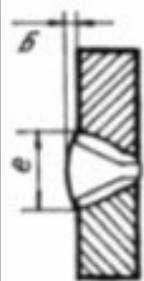
Таблица 1. Рекомендуемые способы разделки кромок (в учебных целях).

Толщина элементов, мм	Способ разделки кромок	Условное название разделки
1 -3	Отбортовка	-
до 5	Без скоса	-
5-10	Скос одной кромки	-
14-30	Скос двух кромок	V - образная
20-60	Скос двух кромок с двух сторон	X - образная

Указание 1.

Для стали заданной толщины выбрать способ разделки кромок по табл. 1, а из табл. 2 выбрать соответствующие размеры параметров (П), выполнить схемы подготовленных кромок и сварного шва и обозначить «рис. 1 и рис. 2».

Таблица 2. Форма и размеры кромок и швов

Условное обозначение соединения	Схема подготовленных кромок	Схема сварного шва	Размеры (П), мм			Формула для расчета площади $F_{\text{шв}}$
			П	от	до	
1	2	3	4	5	6	7
C1			S	1	4	$b \cdot i + 0,75e \cdot q$
			b	$0^{+0,5}$	0^{+1}	
			e		$2S+3$	
			R	S	$2S$	
			i	S	$3S$	
C2 _ш			S	1	4	$S \cdot b + 0,75e \cdot q$
			b	$0^{+0,5}$	$2^{+1}_{-0,5}$	
			e	6	8	
			q	$1 \pm 0,5$	2 ± 1	
C8			S	5	11	$S \cdot b + 0,5(S-c)^2 \times \times \text{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	12 ± 2	16 ± 2	
			q	$0,5_{0,5}$	$0,5^{+1,5}$	
C17			S	14	32	$S \cdot b + (S-c)^2 \times \times \text{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	22 ± 3	38 ± 3	
			q	$0,5_{0,5}$	$0,5^{+2}$	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
C25			S	20	60	$S \cdot b + 0,5(S-c)^2 \times \text{tg} \alpha + 1,5e \cdot q$
			e	18±3	36±3	
			q	0,5,0,5	0,5+2	
У1			S	1	4	$b \cdot i + 0,75e \cdot q$
			b	0+0,5	0+1	
			e		2S+3	
			R	S	2S	
			i	S	3S	
У4			S	3	10	$0,5K^2 + 1,05K \cdot q$
			n	0,5S	S	
			b	0	2	
У6			S	8	14	$S \cdot b + 0,5(S-c)^2 \times \text{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	16±2	20±2	
			q	0,5,0,5	0,5+1,5	
У9			S	14	40	$S \cdot b + (S-c)^2 \times \text{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	22±3	47±3	
			q	0,5,0,5	0,5+2	

В целях снижения металлоемкости и усадки шва, а также повышения производительности необходимо стремиться получить меньшую площадь поперечного сечения наплавляемого металла $F_{н.м}$. Следует учитывать и трудоемкость разделки кромок.

2. Обоснование режима сварки и выбор оборудования

2.1. Выбор диаметра, типа и марки электродов

О выборе диаметра электрода см. работу 7.

Расчетный диаметр можно определить по формуле

$$d_3 = 0,5 \cdot S + 1$$

Затем выбрать стандартное значение из табл. 3. При этом учесть, что $d_3 \leq 8$ мм.

Таблица 3 Номинальные размеры электродов, мм

Диаметр (стержня)	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Длина	200-250	250	250-300	300-350	350-450	450				

Тип электрода выбирают по табл.6 из условия прочности

$$\sigma_{B \text{ мш}} \geq \sigma_B,$$

где $\sigma_{B \text{ мш}}$ - сопротивление разрыву металла шва;

σ_B - то же свариваемого металла (см. табл.4).

Таблица 4. Прочность углеродистых сталей

Марка стали	Предел прочности σ_B , МПа	Марка стали	σ_B , МПа
Ст 2сп	340-440	15	380
Ст 3пс	380-490	20	420
Ст 3сп	380-490	25	450
Ст 4кп	410-520	30	490
Ст 4 сп	420 - 540	35	530
Ст 5 пс		40	570
Ст 5сп	500 - 640	45	600
Ст 6 сп	от 600	50	630
08	330	60	680
10	340	70	730

При сварке ответственных конструкций из спокойных сталей с повышенной пластичностью и ударной вязкостью металла шва принимать тип электрода Э42 А - Э 50 А, а если сталь кипящая -Э 42 или Э 50.

Марку электрода выбирают с учетом химического состава основного металла, рода и полярности сварочного тока, положения шва в пространстве, конструктивных особенностей изделия и других факторов.

Согласовать род тока и марку электрода, принимая во внимание данные табл.5.

По табл. 6 выбрать марку электрода, соответствующую его типу, выписать вид и полярность тока и значение коэффициента наплавки.

Расчет силы сварочного тока и напряжения

Силу тока можно найти по формулам:

$$J = (40 - 50) d_3 \quad \text{при } d_3 = 4 - 6 \text{ мм};$$

$$J = (20 + 6d_3) \cdot d_3 \quad \text{при } d_3 < 4 \text{ и } d_3 > 6 \text{ мм},$$

где J - сварочный ток, А

d_3 - диаметр электрода, мм.

Таблица 5. Особенности применения постоянного и переменного ток при РДС

Показатель	Полярность пост. тока		Переменный ток
	прямая	обратная	
Относительная скорость плавления электрода, %	100	110-140	100-120
Магнитное дутье	сильное	сильное	отсутствует

Покрывание электродов: рудноокислое, рутиловое, органич.	Применяется	При $S \leq 4$ мм, сварке сверху вниз и др.	применяется
Фтористокальциевое	Не применяется	Сварка элект- родами УОНИ 13/45; УП - 2/45	Сварка электродами СМ-11 УП - 2/45

Таблица 6. Характеристика электродов для РДС сталей

Тип элек- трода	Предел проч- ности σ_B м.ш., МПа	Марка электрода	Род тока и полярность	Коэф- фициент наплавки Кн, г/(А · ч)	Область применения
1	2	3	4	5	6
Э42	420	ОМА-2 ВСП-2 ВСЦ-4	Постоянный и переменн. Постоянный Обратная полярность	10 10.5 10	Сварка уг- леродистых и низко- легирован- ных конструк- ционных сталей с σ_B до 500 МПа
Э46	460	АНО-5 АНО-6 МР-3 ОЗС-4 ОЗС - 3 РБУ-5	Постоянный и переменн. То же То же То же То же То же	11 10 7,8 10.5 15 9	
Э50	500	ВСЦ-3 ВСН-3	Постоянный Обратная полярность	10-13 9	
Э 42 А	420	УОНИ-13/45 СМ-11 ОЗС-2 УП-2/45	Пост. обратн. полярность То же То же и перемены.	8,5 9.5 8.5	
Э46 А	460	УОНИ-13/55К ВН-48	Пост. обратн. полярность То же	9.5 11	
Э50 А	500	УОНИ-13/55 АНО-11 ЦУ-5 ОЗС-25	Пост.обратн полярность То же То же То же	9 9.5 9.5 9.5	требования ми по пластично- сти и удар-

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
Э 55	550	УОНИ – 13/55У	Обратная полярность и переменный	9.5	Сварка углеродистых и низколегир. сталей с пределом
Э 60	600	УОНИ – 13/65 ОЗС-24	Обратная полярность	10 9.5	
Э 70	700	ВФС – 75У ЛКЗ - 70	Обр. полярность То же	9 9,5	Сварка легир. и конструкционных сталей повышенной и высокой прочности с пределом прочности более 600 МПа
Э 85	850	УОНИ – 13/85 ВФС-85 УОНИ-13/85У	Обр.полярн.	10	
			То же Пост. и	9,5 10	
Э 100	1000	НИАТ – 3М ЦЛ-19	Пост. обр. полярность	9.5 10	

Длина дуги при РДС зависит от марки электрода и устанавливается сварщиком в пределах 3-5 мм. Ориентировочно

$$L_d = 0,5(d_e + 2), \text{ мм}$$

Напряжение дуги

$$U_d = a + b \cdot L_d$$

где а - падение напряжения в приэлектродных областях:

у катода до 25, у анода до 5 В;

в - падение напряжения в дуге, в=(1-5) В/мм.

Можно принять а = 20 В, в = 3 В/мм.

Выбор источника сварочного тока

Для ручной дуговой сварки используют стационарные или передвижные источники, сравнительная характеристика которых дана в работе 6. Ориентируясь на эти данные и учитывая уже полученные (род и сила тока) выбрать по табл. 6 источник и записать его марку.

В комплект сварочного оборудования кроме источника тока входят соединительные провода, инструмент и приспособления.

Таблица 7. Технические характеристики источников тока

Источник тока		Напряжение, В			Сварочный ток, А		Номинальная потребл. мощность кВ · А	Масса, кг
Марка	Вид	сети	номинальное	холостого хода	номинальный	пределы регулиру- вания		
ТД-102	Трансформатор		26	80	160	60-175	11,4	37
ТД-304	Тоже		35	61-79	300	160-350	19,4	157
ТД-500	-«-		30	60-76	500	100-560	32	210

ВД-201	Вы- прями- тель	220	28	64-71	200	30-200	15	120
ВД-306	То же	380	32	61-70	315	45-315	24	174
ВД-502	-«-		40	80	500	50-500	42	355
ПД-305	Пре- обра- зова-тель		32	90	315	40-350	17,4	280
ПСО- 500	То же		40	86	500	125-600	28	540
АСБ-300	Агрегат	—	32	52-80	300	100-315	29,4 кВт*	632

где * - привод от ГАЗ-320

3. Техническое нормирование

Технически обоснованные нормы времени позволяют сварщику рационально использовать время смены, полностью загружать оборудование.

В норму времени на выполнение сварочных работ входят: основное время сварки - время горения дуги (плавления электрода); подготовительно - заключительное время - на получение задания, настройку аппаратуры, сдачу работ;

вспомогательное время - на установку изделия, поворот его при сварке, зачистку швов; время на обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности.

Для расчета затрат и нормы времени предварительно нужно определить длину шва и массу наплавленного металла.

$$\text{Длина шва} \quad L = \frac{P}{H \cdot R}, \text{ м}$$

где P - заданная нагрузка, кН;

H - расчетная высота шва, мм (см. рис.2);

R - допускаемое напряжение, МПа.

Значение R определяется исходя из $\sigma_{\text{ВМШ}}$ и коэффициента запаса

$K_3 = 3 - 4$.

$$R = \frac{\sigma_{\text{ВМШ}}}{K_3}, \text{ МПа}$$

Для угловых швов определяют допускаемое напряжение

на срез $R_c = 0,8 \cdot R$

Масса наплавленного металла в граммах

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

где $F_{\text{н.м.}}$ - площадь сечения шва, заполненная электродным металлом, мм²;

L - длина шва, м;

γ - плотность металла. Для стали $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$

Площадь $F_{\text{н.м.}}$ меньше поперечного сечения шва F, частично заполненного расплавленным основным металлом. Значение $F_{\text{н.м.}}$ можно найти как сумму площадей элементарных геометрических фигур, вписанных в нее или по соответствующей формуле (см. рис. 2 и табл. 2).

С учетом потерь металла на огарки и разбрызгивание, а также массы покрытия определяют массу потребных электродов

$$M_3 = K_p \cdot M_{н.м.},$$

где K_p - коэффициент расхода массы электродов, примем $K_p = 1,4-1,6$.

Основное время
$$t_o = \frac{M_{н.м.}}{I \cdot K_n}, \text{ ч}$$

Здесь $M_{н.м.}$, в г; I в А; K_n в г/(А · ч).

Оперативное время

$$t_{оп} = t_o + t_b,$$

где t_b - вспомогательное время. Примем $t_b = (0,5-0,8) \cdot t_o$

Норма штучного времени

$$t_{шт} = t_{оп} \left(1 + \frac{a+b}{100}\right),$$

где a - доля времени на обслуживание рабочего места;

b - то же на личные надобности и отдых.

Примем $a = 4$, $b = 8$.

Скорость сварки (перемещения дуги)

$$V = \frac{L \cdot n}{t_o}, \text{ м/ч.}$$

Здесь n - число проходов (валиков шва)

$$n = \frac{F_{н.м.} - f_1}{f_i} + 1,$$

где f_1 - площадь поперечного сечения шва после первого прохода;

f_i - то же для последующих проходов.

Примем: $f_1 = 7d_3$; $f_i = 10d_3$, мм².

4. Составление технологической карты

Заполнить карту по приведенной форме, т.е. только для основной операции; подготовительные, вспомогательные, заключительные работы не раскрывать.

Таблица 8. Технологическая карта сварки

Схема сварного шва		Операционная карта ручной дуговой сварки					
		Материал	Сталь	Марка			
Операция	Оборудование	Шов	Ток	Электроды			

	и приспособ- ления	Длина, мм	Катет, мм	Положение	Полярность	Сила, А	Напряжение, В	Тип	Марка	Диаметр, мм	Расход, г	Число проходов, п	Скорость сварки, м/ч	Основное время, ч
1. Сварка элементов конструкции														

Форма отчета

Лабораторная работа

Тема. Проектирование технологического процесса ручной дуговой сварки

Задание. Для варианта разработать процесс РДС.

1. Схемы кромок и сварного шва (рис.1 и 2).
2. Технологические расчеты.
3. Расчет нормы штучного времени.
4. Технологическая карта.

2.6 Лабораторная работа № 6 (2 часа).

Тема: «Контактная точечная сварка»

2.6.1 Цель работы: Изучение процесса, оборудования и технологии контактной точечной сварки.

2.6.2 Задачи работы:

1. Изучить сущность процесса электрической контактной точечной сварки.
2. Ознакомиться с устройством и работой сварочной машины МТ-601.
3. Определить режим сварки низкоуглеродистой листовой стали.
4. Сварить имеющиеся заготовки.
5. Составить отчет.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание по выполнению лабораторной работы.

2.6.4 Описание (ход) работы

1. Общие сведения о контактной сварке

Контактной называют сварку, осуществляемую нагревом или расплавлением металлов при прохождении электрического тока в месте контакта сдавливаемых изделий.

По виду сварного соединения различают сварку, выполняемую сжатием заготовок между стержневыми электродами (точечная контактная сварка) или между вращающимися роликами (шовная контактная сварка), а также выполняемую сжатием торцов изделий (круглого, квадратного, кольцевого сечения) - стыковая контактная сварка.

Контактная сварка (к.с.) изобретена инженером Н.Н. Бенардосом почти

одновременно с дуговой. Она широко применяется в массовом производстве. Наиболее распространенная точечная сварка позволяет соединить как тончайшие детали электронных приборов, так и стальные листы толщиной до 20 мм. При этом получают до 600 точечных соединений (электрозаклепок) в минуту. Наряду с листовыми заготовками можно сварить лист со стержнем или профильной заготовкой, пересекающиеся стержни из сталей, цветных металлов и сплавов, из разнородных металлов.

2. Точечная контактная сварка

2.1. Сущность процесса и его параметры

При точечной контактной сварке выдерживается следующая последовательность операций:

- сжатие заготовок электродами машины;
- включение тока сварки;
- выключение тока в момент образования нужного объема расплавленного металла - ядра;
- выдержка сжатых заготовок для охлаждения места сварки.

При включении сварочного тока сначала разогреваются выступы (микронеровности) контакта между заготовками, а затем и металл прилегающей зоны. Так как электроды охлаждаются водой и имеют высокую теплопроводность, сопротивление между ними и заготовками значительно (примерно вдвое) меньше, чем сопротивление между заготовками. Здесь-то, в центральной зоне, и происходит интенсивный нагрев металла, где образуется и постепенно увеличивается чечевицеобразная жидкая ванна. Она окружена сильно нагретым слоем металла, который сваривается, образуя кольцевое уплотнение, препятствующее вытеканию металла в зазор между свариваемыми элементами.

После получения зоны расплавления необходимых размеров сварочный ток выключают. Металл охлаждается и в расплавленной зоне кристаллизуется, образуя литое ядро общее для обеих заготовок. Выдержка сжатых заготовок позволяет охлаждаться и упрочняться ядру (сварной точке) во избежание разрушения его упруго сжатыми свариваемыми элементами.

Размеры и структура ядра, определяющие прочность соединения, зависят от формы и размеров контактной поверхности электродов, значения сварочного тока, времени его протекания, усилия сжатия и состояния поверхностей заготовок. Перечисленные показатели являются параметрами сварки.

На практике различают "жесткие режимы" сварки, характеризующиеся большими токами и малой продолжительностью и "мягкие режимы" - совокупность параметров процесса с малыми токами и более продолжительным временем нагрева заготовок.

Последние применяют в мелкосерийном производстве, сварке относительно неответственных изделий.

Для соединения, полученного точечной сваркой характерны также шаг точки - расстояние между ними в ряду и ширина нахлестки - ширина взаимного перекрытия свариваемых заготовок.

3. Машины для точечной сварки

3.1. Общие сведения

Имеются стационарные, передвижные и подвесные контактные машины (универсальные и специализированные).

- Мощность сварочных машин составляет от 0,5 до 500 кВ · А;
- сила сварочного тока 1-200 кА;
- напряжение вторичной цепи 1-15 В;
- усилие сжатия 0,01 - 100 кН;
- время сварки 0,01-10 с.

3.2. Машина МТ- 601

Машина для контактной точечной сварки МТ-601 предназначена для сварки изделий из низкоуглеродистых сталей при толщине элементов от 0,5 до 6 мм.

3.2.1. Устройство и работа машины МТ-601

Машина включает механическую, электрическую и пневматическую системы, систему охлаждения, а также устройства управления, размещенные в корпусе. Отдельные детали или узлы могут быть частями различных систем.

Техническая характеристика МТ-601

Первичное напряжение,	В	220 или 380
Вторичное напряжение холостого хода,	В	1,04-2,08
Число ступеней регулирования		8
Номинальный сварочный ток,	кА	6,3
Номинальная толщина свариваемых изделий,	мм	0,5 + 0,5
Максимальный темп работы при сварке,	сварок.	
	в мин	150
Максимальное усилие сжатия электродов,	кН	12
Ход верхнего электрода,	мм	25
Расход охлаждающей воды,	л/ч	300

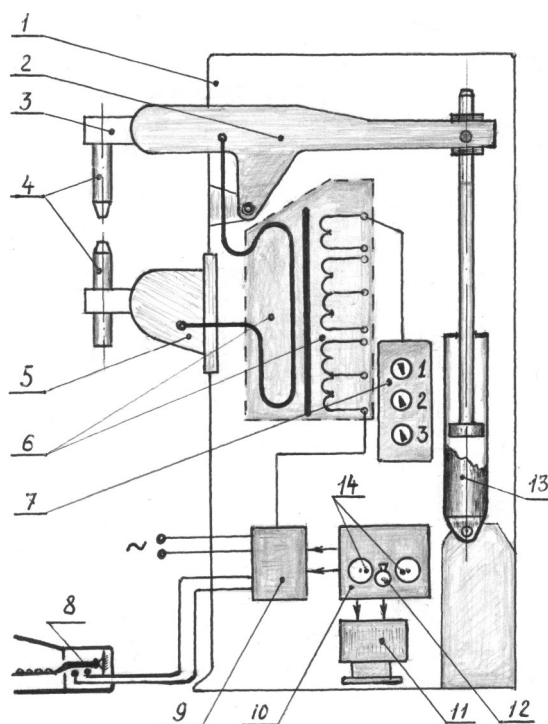


Рис. 1. Схема машины МТ - 601

На корпусе 1 (рис. 1) крепятся нижний 5 переставной и верхний 3 поворотный кронштейны с электродами 4, закрепленными в держателях. В корпусе машины размещены: сварочный трансформатор 6 с пакетным переключателем ступеней 7; пневматический цилиндр 13, шток которого соединен с рычагом 2 верхнего кронштейна; аппаратура управления (контактор 9 и регулятор цикла сварки 10); пневмоаппаратура (электропневматический клапан 11, редуктор, дроссели); система водяного охлаждения.

Пневматический цилиндр 13 при подаче воздуха в нижнюю камеру опускает верхний электрод 4 через шток и рычаг. При подаче воздуха в верхнюю камеру поршень

опускается и возвращает рычаг 2 в исходное положение. Для регулирования хода штока на его верхнем конце установлены гайки.

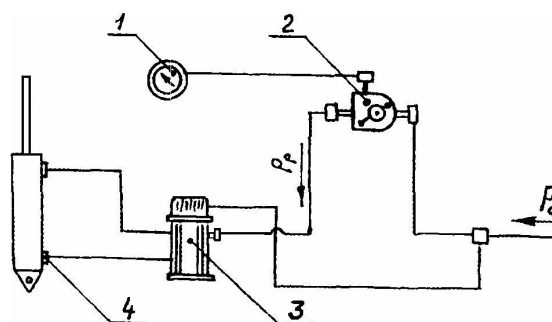


Рис. 2. Пневматическая схема МТ - 601:
1-манометр; 2-регулятор давления; 3-клапан
электропневматический; 4-дроссель

Система питания пневмоцилиндра сжатым воздухом (Рис.2) состоит из электромагнитного пневматического клапана 3, регулятора давления 2, манометра 1 и двух дросселей 4, ввернутых в корпус пневмоцилиндра.

Воздух из сети (P_c) через регулятор 2 и клапан 3 поступает в камеры пневмоцилиндра. Дроссели 4 служат для смягчения ударов при сжатии электродами изделия и при возвращении верхнего электрода в начальное положение. Безударность достигается сужением выходных отверстий дросселирующих клапанов регулировочными винтами.

Электропневматический клапан типа КПЭМ состоит из корпуса 1 (Рис.3), имеющего четыре гнезда с седлами для тарельчатых клапанов 2, 3, 4 и 5, распорную пружину 7, два штока 6 и мембраны 9. Для впуска редуцированного воздуха (P_p) в корпус 1 предусмотрено окно 8 и для выпуска его - окна 10 и 11.

При обесточенном электромагните 14 шарик 13 под действием пружин через шток перекрывает доступ воздуха из сети (P_c) в диафрагменные камеры.

Давлением пружины 7 и сжатого воздуха P_p , подводимого от окна 8 клапан 4 открывается и перепускает воздух в окно 11 и надпоршневую камеру цилиндра.

При этом из-под поршня воздух через клапан 2 и щель 12 удаляется в атмосферу.

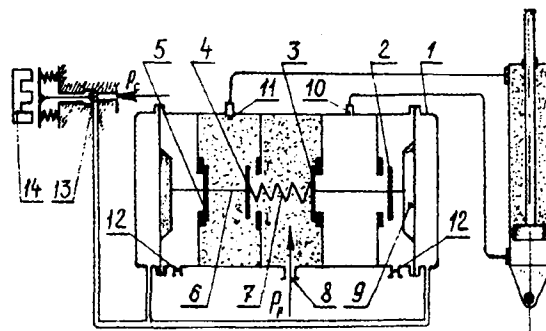


Рис. 3. Схема электропневматического клапана:
1-корпус; 2,3,4,5-клапаны; 6-шток; 7-пружина;
8-впускное окно; 9-мембрана; 10,11-выпускные окна;
12-щели выпускные; 13-шарик; 14-электромагнит.

При включении электромагнита 14 якорь притягивается и шток освобождает шарик 13, который давлением воздуха P_c отбрасывается от входного отверстия, а воздух поступает в диафрагменные камеры, в результате этого резиновые мембраны 9 проги-

баются вовнутрь и одна из них передвигает клапаны 2 и 3, а вторая - клапаны 4 и 5 (клапаны 2 и 4 будут закрыты, а 3 и 5 - открыты). Сжатый воздух поступит через окно 10 под поршень цилиндра, который совершит рабочий ход. Воздух из надпоршневой камеры через клапан 5 и щель 12 выйдет в атмосферу.

При выключении электромагнита шарик 13 перекроет выпускное отверстие и сообщит диафрагменные камеры с атмосферой, а пружина 7 возвратит тарельчатые клапаны в исходное положение.

Электрическая система машины состоит из сварочного трансформатора, контактора, переключателя ступеней, электрических цепей, вспомогательных устройств.

Трансформатор однофазный имеет сердечник, собранный из П-образных листов электротехнической стали. Первичная обмотка выполнена в виде двух дисковых многорядных катушек. Вторичный виток литой из сплава АЛ-2 соединен с электродами через жесткие и гибкие шины. Элементы вторичного контура (виток, электроды), а также контактор имеют внутреннее водяное охлаждение.

Регулирование сварочного тока осуществляется за счет изменения вторичного напряжения секционированием первичной обмотки (предусмотрено 8 ступеней) с помощью пакетного переключателя.

Система управления обеспечивает работу машины по заданной программе. Для этого установлен регулятор цикла сварки 10 (Рис.1) - электронное устройство, отсчитывающее интервалы времени цикла сварки и выдающее команды на соответствующие исполнительные элементы машины.

Порядок работы системы. Включена кнопка 8, срабатывает клапан 11 и заготовки сжимаются, начинается отсчет времени "Сжатие". После отсчета установленного интервала времени поступает команда на включение сварочного тока (контактором 9). Ток протекает в течение времени "Сварка", затем отсчитывается интервал времени "Проковка", в конце которого дается команда на подъем электрода. Если pedalная кнопка 8 остается нажатой, то после отсчета интервала времени "Пауза" цикл сварки повторяется.

Выдержка времени сварки имеет два диапазона, устанавливаемых тумблером 12; продолжительность выдержек "Сварка" и "Пауза" регулируется рукоятками 14.

4. Режимы и технология точечной сварки

4.1. Выбор режимов

Определить расчетные значения параметров для сварки заготовок заданной толщины из низкоуглеродистой стали.

Диаметр контактной поверхности электродов

$$d_3 = 5,5\sqrt{S}, \text{ мм},$$

где S - толщина заготовки, мм.

Стандартный ряд диаметров электродов:

4,5,6,7,8,10,12,14мм.

Сварочный ток рассчитать исходя из средних значений плотности тока по контакту «электрод-сталь»:

для жестких режимов $i = 280$,

для мягких режимов $i = 120 \text{ А/мм}^2$.

Время сварки на жестких режимах $t=0,1 \text{ С}$, на мягких $-0,5 \text{ С}$, с.

Усилие сжатия определяют по удельному контактному давлению

$$p = 50 - 120 \text{ Н/мм}^2.$$

Большие значения принимают при больших толщинах S и жестких режимах.

Для недостаточно очищенных поверхностей заготовок требуется усилие сжатия примерно на 20% большее.

Подобрать режимы сварки по справочной таблице (Приложение 2). Заполнить таблицу приведенной формы, внося в нее кроме полученных расчетных и табличных данных скорректированные принятые значения.

Таблица. Параметры режимов сварки

Параметры процесса	Значения параметров					
	жесткий режим			мягкий режим		
	расчет- ные	табличные	принятые	расчет - ные	табличные	принятые
J _{CB} , А t _{CB} , с Р, кН						-

4.2. Технология сварки

Подготовка к сварке заключается в правке (особенно при $S > 2$ мм), очистке заготовок в местах сварки с двух сторон и сборке их (прихватка струбцинами, точечной сваркой, толстых листов – дуговой сваркой).

Значения шага точек и др. показатели выбирают по приложению 3.

Машина настраивается на необходимый режим работы и затем заготовки сваривают.

5. Техника безопасности

1. Перед началом работы тщательно осмотреть и проверить машину (показания приборов, блокировочные устройства). Закрыть двери.
2. Соблюдать общие меры предосторожности при обслуживании и работе электрических сварочных установок.
3. Работать в фартуке, брезентовых рукавицах и с прозрачными очками.
4. Следить за стабильностью режимов сварки и исправностью оборудования.
5. Не допускать наличия горючих веществ и предметов в радиусе 5-6 м от машины.
6. Не сваривать изделия, протертые горючими веществами (бензин, керосин и т.п.) непосредственно перед сваркой.
7. При сварке алюминия, титана место сварки закрывать прозрачным щитком во избежание получения ожогов от выплесков металла.

Форма отчета

Лабораторная работа

Тема. Контактная точечная сварка

1. Сущность процесса контактной точечной сварки.
2. Схема двусторонней контактной сварки.
3. Определение параметров режимов сварки заданного изделия (расчет, выбор табличных значений и т.д.).
4. Сварить заготовки и проверить качество сварного соединения.

2.7 Лабораторная работа № 7 (2 часа).

Тема: «Изучение оборудования и технологии сварки в среде углекислого газа»

2.7.1 Цель работы: Ознакомление с устройством и работой оборудования сварки в среде углекислого газа.

2.7.2 Задачи работы:

1. Изучить оборудование для сварки в среде углекислого газа.
2. Составить отчет.

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание по выполнению лабораторной работы.

2.7.4 Описание (ход) работы

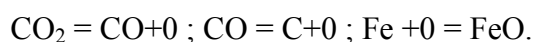
1. Общие сведения о сварке в среде углекислого газа

Защита расплавленного металла в процессе сварки активным углекислым газом (CO_2) применяется при получении изделий из углеродистых и низколегированных сталей. Возможна сварка и высоколегированных коррозионностойких сталей соответствующими легированными проволоками.

Сварку в CO_2 выполняют плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности ("плюс" на электроде). При прямой полярности снижается устойчивость сварочной дуги и увеличивается разбрызгивание металла. На переменном токе процесс неустойчив. Высокая плотность тока повышает устойчивость дуги. Поэтому применяют тонкую электродную проволоку (0,5 - 3,0 мм). Напряжение на дуге обычно составляет 20-30 В, расход газа - 6-25 л/мин.

Сварка в CO_2 возможна во всех пространственных положениях. Применяют преимущественно на изделиях толщиной более 3мм. Полный провар без разделки кромок достигается при S до 8-10 мм.

В зоне дуги углекислый газ диссоциирует на угарный газ и атомарный кислород, вызывающий повышенное окисление металла и легирующих элементов



При кристаллизации образуется окись углерода, которая, выделяясь в виде пузырьков, образует в металле шва поры. Для компенсации указанных потерь применяют легированную проволоку с повышенным содержанием раскислителей (2-3% кремния и марганца). Марки используемой проволоки: Св - 08 ГС, Св - 08 Г2С, Св - 10 ГС, Св - 08 ХГ2С и др. Для уменьшения разбрызгивания применяют проволоку с церием Св - 08 Г2СЦ и порошковые проволоки (с ферросплавами Fe - Si, Fe - Mn). Сварка при

этом удорожается, но повышается на 10-20% производительность, улучшается внешний вид шва.

Сварка в углекислом газе является распространенным и самым дешевым способом сварки углеродистых и низколегированных сталей. Основной ее недостаток - сильное разбрызгивание металла (до 10%) и не всегда удовлетворительный внешний вид шва. На открытом воздухе возможно сдувание струи CO_2 ветром - нарушение газовой защиты и снижение качества шва.

Углекислый газ получают обычно как побочный продукт при обжиге известняка и др. процессах. Поэтому он дешевый. Двуокись углерода - бесцветный газ, со слегка кисловатым запахом и вкусом; плотность 1,98 г/л. При охлаждении и атмосферном давлении затвердевает (минуя жидкое состояние) при минус 78,5°C, образуя «сухой лед». Жидкая двуокись углерода может быть получена при повышении давления примерно до 6 МПа (60 кгс/см²) при комнатной температуре.

Поставляют углекислый газ в баллонах вместимостью 40 литров под давлением 6 - 7 МПа. Так как плотность двуокиси углерода в жидком состоянии сильно изменяется с изменением температуры, то отпускают ее не по объему, а по весу. При отборе из баллона получают около 12м³ газа.

Для получения сварных швов высокого качества необходимо применять сварочную двуокись углерода («углекислоту»), содержащую СО₂ не менее 99,6% по объему (1-й сорт) или 99,0% (2-ой сорт). Использование пищевой углекислоты (СО₂ - 98,8%) допустимо после дополнительной сушки ее от избыточной влаги.

2. Оборудование для сварки

2.1. Источники питания сварочной дуги

При сварке плавящимся электродом в среде защитного газа вольт - амперная характеристика сварочной дуги круто возрастает. Для обеспечения стабильного сварочного процесса в этих условиях необходимо, чтобы источник питания имел жесткую характеристику. Для этого промышленность выпускает сварочные выпрямители ВДГ-303, ВДГ-601; источник постоянного тока И-119 и др. Кроме того, для сварки в защитных газах предназначены универсальные однопостовые выпрямители ВДУ-506, ВДУ-1201, И-115 и др., а также многопостовые источники питания.

2.2. Выпрямитель ВДУ-504-1УЗ

Выпрямитель стационарный для однопостовой механизированной сварки выпрямленным током в среде углекислого газа и под флюсом, а также для ручной дуговой сварки.

Марка ВДУ-504-1УЗ означает: выпрямитель для дуговой сварки универсальный; первая цифра (5), следующая за буквенными индексами, показывает номинальное значение сварочного тока в сотнях А - 500А; следующие цифры - номер модификации аппарата; последние буквенно-цифровые индексы - климатическое исполнение (У - для эксплуатации в районах с умеренным климатом).

Выпрямитель входит в комплект сварочных полуавтоматов.

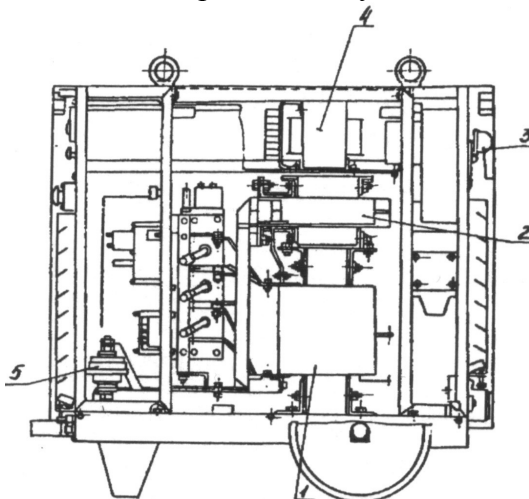


Рис. 1. Общий вид выпрямителя сбоку:

1 - силовой трансформатор. 2 - уравнильный реактор; 3 - переключатель диапазонов регулирования сварочного тока; 4 - трансформатор питания полуавтомата и подогрева газа; 5 - магнитный усилитель

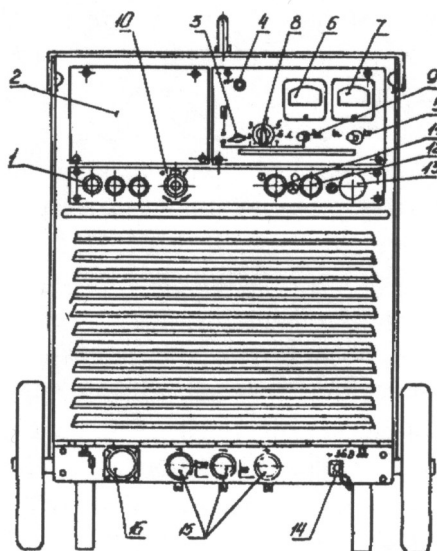


Рис.2. Общий вид выпрямителя (вид спереди):

1 - блок предохранителей; 2 - ниша для установки блока управления полуавтомата; 3 - переключатель места управления, служит для включения выпрямителя на дистанционное (при работе на жестких характеристиках) или местное управление; 4 - сигнальная лампочка автоматического выключателя выпрямителя; 5 - переключатель внешних характеристик (налево жесткая, направо падающая); 6 - амперметр; 7 - вольтметр; 8 - потенциометр регулирования напряжения (при дистанционном регулировании должен быть отключен); 9 - переключатель местного включения сварочного тока; 10 - выключатель трансформатора, питающего цепи полуавтомата и автомата; 11 - пусковая кнопка выпрямителя; 12 - стоповая кнопка; 14 -разъем для подключения подогревателя газа; 15 - гнезда для присоединения сварочных кабелей: левое минусовое (включена полная индуктивность) -предназначено для первых диапазонов жестких, а также для падающих характеристик; среднее (минусовое) - для второго диапазона жестких характеристик; крайнее правое - плюсовое гнездо; 16 - разъем для присоединения кабеля блока управления автомата

Универсальный выпрямитель типа ВДУ обеспечивает получение и жестких (пологопадающих), и крутопадающих внешних характеристик. При работе на жестких характеристиках регулируется напряжение с дистанционного пульта управления, а при работе на падающих характеристиках регулируют ток потенциометром на выпрямителе (местное регулирование).

Пределы регулирования рабочего напряжения (В) при жестких характеристиках (рис.3):

- 1 диапазон 27 (при 250 А) и 50 (при 500 А),
- 2 диапазон 18 (при 100 А) и 27 (при 250 А).

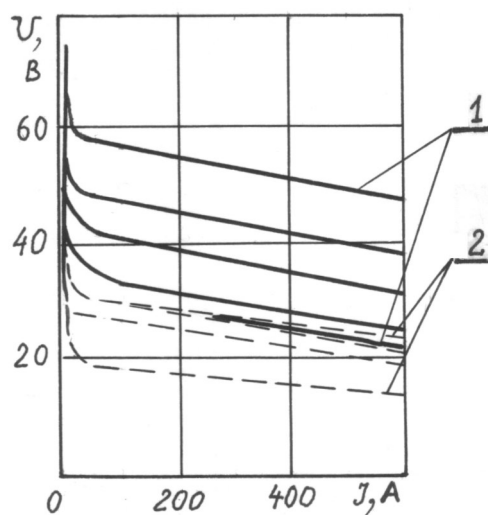


Рис. 3. Жесткие внешние характеристики:

- 1 - первый диапазон;
- 2 - второй диапазон регулирования

3. Полуавтомат, горелка, газовые приборы

Полуавтомат как комплектная установка состоит из собственно полуавтомата, источника сварочного тока, блока управления, устанавливаемого в нишу выпрямителя, горелки (держателя), сварочных кабелей, кабелей управления, дополнительно придаваемого баллона, а также газовых приборов (подогреватель, осушитель, редуктор, расходомер; при сварке в смеси газов - смеситель), рукава газового тракта, дистанционного пульта управления (рис. 4).

Полуавтомат сварочный типа ПДГ-508 УЗ (ПДГ-502) предназначен для сварки (в комплекте с выпрямителем ВДУ-504-1) изделий из низкоуглеродистой и конструкционной стали сплошной проволокой диаметром 1,2-2,0 мм в углекислом газе.

Собственно **полуавтомат** служит для подачи электродной проволоки, сварочного тока и защитного газа через горелку в зону сварки. В него входят: кассета с тормозным устройством для размещения и подачи проволоки и подставка, на которой устанавливаются роликовый механизм подачи, токовые и газовые разъемы.

Сварочная горелка (держатель) подводит в зону сварочной дуги электродную проволоку и защитный газ. Конструкция ее должна обеспечивать прохождение тока без перегрева рукоятки и безопасность работы сварщика. Горелка должна быть прочной, легкой, простой по устройству.

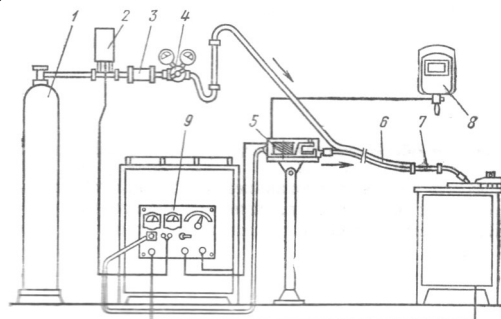


Рис. 4. Установка для сварки в CO_2 :

- 1 - баллон с жидким углекислым газом; 2 - подогреватель; 3 - осушитель;
- 4 - расходомер; 5 - полуавтомат; 7 - горелка

Основной параметр горелки - номинальный сварочный ток (стандартный ряд: 125, 160, 220, 250, 315, 400, 500 и 630 А).

При силе тока 315 А и более предусматривается водяное охлаждение сопла горелки. Полуавтоматы типа ПДГ-502 (508) комплектуются горелками ГДПГ-301 (для сварки проволокой диаметром 1,2 и 1,4 мм и током до 315 А) и ГДПГ-501 (соответственно 1,6 и 2,0 мм и до 500 А).

Основные элементы горелки: корпус 4 (рис.5) с направляющей трубкой; спираль 6; токоподводящий наконечник 8; сопло 9; выключатель 2; рычажок 3; экран защитный 1. Рукоятка изготовлена из литьевого изоляционного материала. Сопло направляет защитный газ в зону сварки, оно должно создавать ламинарный поток. Сопло изготавливают из меди или специальной керамики. В целях уменьшения налипания брызг металла его поверхность хромируют и полируют.

Токоподводящий наконечник (чаще бронзовый, а также медно - графитовый или из спеченных порошков) для сварки тонкими проволоками (0,8-1,2 мм) имеет поджимной контакт. Наконечники без такого контакта имеют отверстие, в котором с зазором 0,2мм проходит электродная проволока. Из-за быстрого износа, что приводит к нарушению электрического контакта, наконечники часто (примерно через 5 часов работы) заменяют.

Держатель соединяют с подающим механизмом гибким шлангом (поэтому полуавтомат называют шланговым). Длина шланга находится в пределах 1,5-4,0 м. Расстояние от выпрямителя до подающего механизма не превышает 15м.

Для горелок типа ГДПГ-301 в шланге проложены провода цепей управления и сварочного тока, а также направляющий канал для сварочной проволоки. В более мощных горелках шланг подает только проволоку. Для подвода цепей управления и сварочного тока имеется специальный шланг. Защитный газ подается также по специальному шлангу.

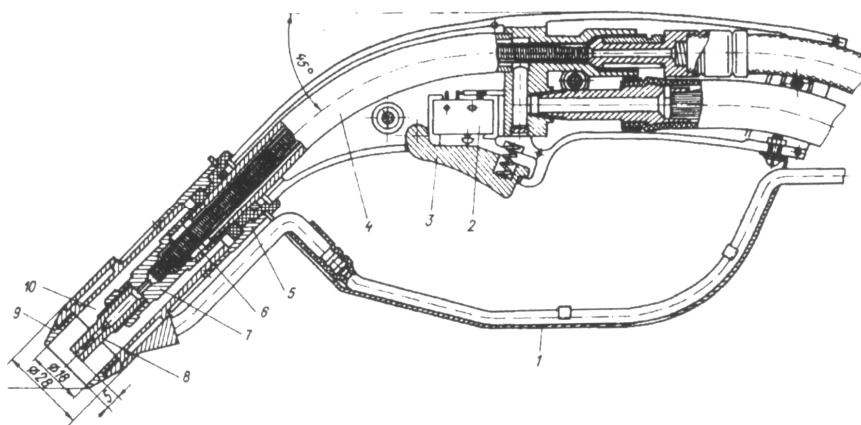


Рис. 5. Газовая горелка ГДПГ -501

Направляющий канал (сменный, в зависимости от диаметра проволоки) представляет собой металлическую спираль со стальной оплеткой, изоляционной трубкой и присоединительными ниппелями.

Подающий механизм выполняется закрытым (с кассетой проволоки массой до 5 кг), открытым и с тележкой и бухтой проволоки массой до 50 кг. Открытый с кассетой стальной проволоки массой 12 или 20 кг смонтирован на основании с четырьмя транспортными колесиками и переносной ручкой. На основании размещены: кассета с тормозным барабаном, исключающим самораскручивание проволоки; электродвигатель постоянного тока с редуктором. На выходном валу редуктора укреплено зубчатое колесо с ведущим роликом, второе колесо с прижимным роликом находится на рычаге прижимного устройства. Для заправки проволоки указанный рычаг с прижимным роликом отводится в сторону. Прижимное усилие роликов регулируется винтом.

Газовая аппаратура включает: баллон с защитным газом (он не входит в комплект поставки), подогреватель и осушитель защитного газа, редуктор и расходомер (или расходомер редукторного типа), шланги для подачи газа.

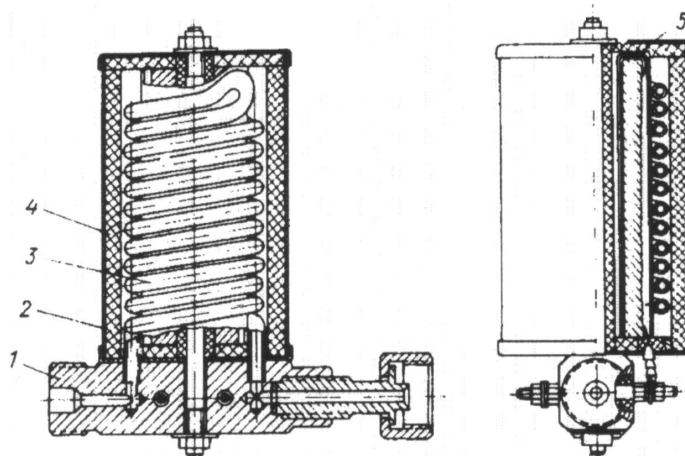


Рис.6. Подогреватель:

1 - корпус; 2 - кожух; 3 - змеевик; 4 - теплоизоляция; 5 - нагревательный элемент; 6 - гайка

Подогреватель газа служит для подогрева CO_2 , поступающего из баллона, т. к. при выпуске двуокиси углерода вследствие ее испарения температура газа снижается, а при значительном расходе возможно замерзание редуктора.

Подогреватель (рис. 6) состоит из корпуса 1, кожуха 2 с теплоизоляцией 4, трубки-змеевика 3, по которому пропускается углекислый газ и нагревательного элемента 5, изготовленного из хромель-копели и рассчитанного на напряжение 20 В постоянного или 36 В переменного тока. Подогреватель крепится к баллону гайкой.

Осушитель газа (рис.7) служит для поглощения содержащейся в нем влаги и устанавливается после подогревателя. Он состоит из корпуса 7, в который вставлены сетчатые шайбы 4 и фильтры 5 из стекловаты. Полость между ними заполнена поглотителем влаги (силикагель или обезвоженный медный купорос), который периодически прокаливают при температуре 240-250° С в течение двух часов.

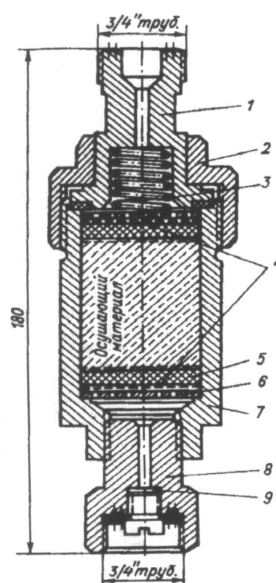


Рис. 7. Осушитель газа

С помощью гайки 2 через пружину 3 втулка 1 сжимает массу поглотителя до полного уплотнения. Объем поглотителя позволяет при одной зарядке осушить 4-6 баллонов углекислоты.

Для понижения давления газа и автоматического поддержания требуемого давления при использовании углекислого газа применяют стандартные кислородные редукторы, например ДКД-8-65, или специальные - У-30. Для измерения расхода газа при сварке служит расходомер: поплавкового типа (ротаметр), дроссельного и калибровочного типа.

Расходомер-регулятор позволяет измерять и регулировать расход газа. Он состоит из корпуса с двумя штуцерами, игольчатого вентиля и манометра. В корпусе перед штуцером для выхода газа установлена диафрагма с отверстием, диаметр которого выбирается (для данного газа) в зависимости от интервала регулирования расхода. Регулируют расход газа игольчатым вентилем, а контролируют по манометру.

Электромагнитный газовый клапан (отсекатель) предназначен для автоматического управления подачей газа. Он работает по принципу втягивания сердечника в катушку при подаче на нее напряжения и возвращения в положение "закрыто" под действием сжатой пружины при отключении напряжения. Включение отсекаателя заблокировано с пусковой кнопкой полуавтомата. Это обеспечивает продувку газовых каналов и подготовку защитной среды до зажигания сварочной дуги, а также сохранение защитной среды после гашения дуги до полного остывания металла.

Блок БУСП-1 для управления полуавтоматами серии ПДГ обеспечивает выполнение следующих операций.

В режиме наладки: включение подачи защитного газа для настройки его расхода; установку заданной скорости подачи (V) электродной проволоки; выбор рабочего цикла (для ВДУ-504-1 длительность цикла при механизированной сварке - 10 мин, из них 6 мин - работа под нагрузкой), выбор типа шва по протяженности (длинный, короткий, точечный).

В режиме сварки при получении команды о начале процесса блок включает подачу газа, источник питания и через 0,5 с - подачу электродной проволоки; обеспечивает стабильность подачи проволоки с точностью + 10% при изменении напряжения сети в пределах минус 10 - плюс 5% номинального значения.

При получении команды о прекращении сварки блок управления выключает подающий механизм и осуществляет его торможение; через установленный наладчиком интервал времени (0,5 - 5,0 с) отключает источник сварочного тока; через соответствующий интервал отключает подачу газа.

Блок имеет унифицированные входы для подключения внешнего программирующего устройства и дистанционного пульта управления. Программирующее устройство осуществляет изменение режима сварки по заданной программе в зависимости от изменения технологических параметров сварки.

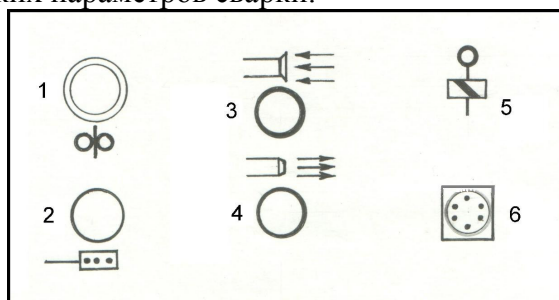


Рис.8. Панель блока управления полуавтоматом:

1, 2, 6 - разъемы кабелей, соответственно «протяжки», дистанционного пульта управления и программирующего устройства; 3,4- штуцеры газового шланга; 5 - сигнальная лампочка.

4. Технология сварки в углекислом газе

Свариваемое изделие должно быть подготовлено к работе (очищено, подготовлены кромки, собраны свариваемые элементы).

Особенно тщательно требуется очистить от смазки, ржавчины, загрязнений электродную проволоку.

Настраивая режим сварки, устанавливают: диаметр электродной проволоки, скорость ее подачи, силу тока, напряжение дуги, расход углекислого газа, положение горелки относительно изделия, пространственное расположение изделия.

Основные параметры процесса принимают ориентировочно по опытным данным в зависимости от толщины свариваемого металла (табл. 1).

Порядок включения полуавтомата.

1. Переключатель диапазонов 3 (рис. 1) поставить в левое положение при работе на 1-ом диапазоне внешних характеристик (ток до 500 А) или в правое положение - 2-ой диапазон регулирования (ток до 250 А).
2. Тумблер 5 (рис. 2) поставить в положение - жесткие характеристики.
3. Замкнуть рубильник, соединяющий выпрямитель с сетью.
4. Установить рукоятку автоматического выключателя, расположенного на задней стенке выпрямителя в положение «Включено». При этом загорится сигнальная лампочка 4 на лицевой панели блока управления ВДГ.
5. Нажать на пусковую кнопку 11 выпрямителя, убедившись предварительно в отсутствии коротких замыканий сварочной цепи.
6. Переключатель 3 повернуть вверх - в положение «дистанционное регулирование».
7. Рукоятку резистора 8 поставить в нулевое положение.
8. Включить питание цепей управления полуавтомата выключателем 10 (положение I).
9. Включить вентиляцию.
10. Настроить предварительно полуавтомат на скорость подачи проволоки и расход газа.

Настройка осуществляется на дистанционном пульте управления:

- скорость подачи проволоки (V),
- подача газа (тумблером газа),
- сила тока (потенциометром),
- вылет проволоки (тумблером реверсивного движения проволоки).

Расход газа устанавливается вращением регулировочного винта газового редуктора с учетом данных, приведенных в табл. 2 или по показаниям расходомера в л/ мин.

Скорость подачи электродной проволоки зависит от сварочного тока и напряжения. Она устанавливается так, чтобы процесс протекал устойчиво при удовлетворительном формировании шва и незначительном разбрызгивании металла. Следует помнить, что увеличение скорости подачи проволоки приводит к росту сварочного тока.

Значения сварочного тока и скорости сварки зависят от площади поперечного сечения шва. Чем больше сечение, тем меньше скорость сварки и выше сила тока.

Напряжение устанавливают таким, чтобы получить устойчивый процесс сварки при короткой дуге (1,5 - 4,0 мм).

Включение и выключение сварочного тока производится выключателем на горелке полуавтомата.

Перед зажиганием дуги нужно убедиться, что вылет электрода не превышает 40 - 45 мм. При работе он должен находиться в пределах 15-35 мм при диаметре проволоки 1,2 мм и более. Сварка изделий в нижнем положении выполняется с наклоном горелки от вертикальной оси на 5-15°. Рекомендуются сварку толстостенных изделий вести "углом

назад", перемещая горелку слева направо. При этом обеспечивается более надежная защита расплавленного металла и лучший вид шва. При сварке "углом вперед" валик получается шире, а глубина проплавления меньше. Так следует сваривать тонкостенные изделия и стали, склонные к образованию закалочных структур.

В начале сварки возбудить дугу, спустя 30 - 40 с после установки требуемого расхода газа. Тем самым вытеснить воздух и заполнить газом шланги и каналы сварочной горелки.

Перемещая горелку, удерживать дугу на основном металле или на границе сварочной ванны. Дуга на ванне разбрызгивает металл и приводит к образованию пор в шве.

При сварке металла толщиной 1-2 мм горелку перемещают без поперечных колебаний с максимальной скоростью (30-50 м/ч) с наклоном к изделию под углом 30 - 45° и на максимально возможной длине дуги.

При сварке стыковых швов на толстолистовом металле применяют те же приемы, что и при ручной сварке.

В процессе сварки необходимо выдерживать расстояние от торца сопла горелки до свариваемого изделия в пределах 7-15 мм при токе до 150 А и 15-25 мм при токе до 500 А.

Заканчивать прокладку шва следует заполнением кратера металлом. Затем прекратить подачу проволоки и выключить ток. Подача углекислого газа продолжается до полного затвердевания металла в заваренном кратере.

Во время кратковременных перерывов в работе осматривают наконечник и сопло сварочной горелки, провода и шланги

(Шланги не перекручивать!).

Заканчивать сварку в такой последовательности:

1. Выключить выпрямитель кнопкой 12 «СТОП».
2. Рукоятку автоматического выключателя выпрямителя поставить в положение "Выключено".
3. Отключить выпрямитель от сети рубильником.
4. Закрывать вентиль газового баллона.
5. Выключить полуавтомат переключателем 10 (положение 0).
6. Очистить сопло горелки от брызг металла.
7. Выключить вентиляцию.

СЛЕДУЕТ ПОМНИТЬ, ЧТО РАБОТА БЕЗ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОПАСНА ДЛЯ ЖИЗНИ!

5.6. При появлении ощущения электрического тока следует немедленно прекратить работу и заявить об этом мастеру.

5.7. При производстве ремонта и чистки полуавтомата электрическая сеть и подача газа должны быть полностью отключены.

5.8. Место сварки следует ограждать переносными защитными щитами.

5.9. Сварщик должен иметь щиток или маску со специальным светофильтром, рукавицы, спецодежду, головной убор и прочные закрытые ботинки на резиновой подошве.

5.10. Рабочее место сварщика в закрытом помещении должно быть обязательно оборудовано вытяжной вентиляцией.

5.11. При эксплуатации баллона с защитным газом следует избегать сильных толчков по баллону, нагревания его выше 40 °С, т.е. необходимо соблюдать правила эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

5.12. При работе в помещении с повышенной опасностью (при наличии влажности, токопроводящего пола, проводящей пыли, при работе в непосредственной близости с металлическими изделиями) должны быть приняты меры предосторожности, исключающие соприкосновение сварщика с токоведущими частями.

Для заземления корпуса выпрямителя на его тележке установлен специальный болт с надписью «Земля». Надежно должны быть заземлены также выходной (минусовой при сварке в CO_2) зажим выпрямителя (обратный провод) и сварочный стол.

Заземление выходного зажима должно выполняться самостоятельным проводом к контуру заземления.

Таблица 1. Режимы сварки в углекислом газе стыковых соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении (постоянный ток, обратная полярность)



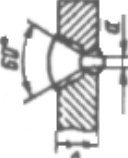

Толщина металла δ , мм	Эскиз соединения	Зазор а, мм	Число проходов	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
1		3	4	5	6	7	8	9	10
0,8–1,0		0–0,3	1	0,7–0,8	50–80	17–18	25–50	8–10	6–7
1,5–2,0		0–0,8	1	0,8–1,2	90–200	18–22	25–55	8–13	6–7
2,0		0–0,8	1	1,0–1,2	180–250	22–23	25–75	10–13	7–9
3,0		0–1,0	1	1,2–1,4	200–300	23–25	25–110	12–15	8–11
4,0		0–1,2	2	1,2–1,6	200–350	23–32	25–120	12–20	8–12
6,0		0–1,5	2	1,2–2,0	250–420	25–36	25–70	12–20	10–16
8,0		0–1,5	2	1,2–2,5	300–450	28–38	20–60	12–25	11–16
10,0		0–1,5	2	1,2–2,5	320–450	29–38	20–45	12–25	12–16
14,0		0–1,5	2	1,2–2,5	380–500	33–40	15–25	15–25	12–16
16		0–1,5	2	1,4–2,5	380–500	33–40	16–25	15–25	12–16
18		0–1,5	2	1,6–2,5	380–500	33–40	12–25	18–25	12–18
20		0–1,5	2	1,6–2,5	380–420	32–36	14–16	18–25	12–18
					450–500	36–40	18–20		
		0–1,5	3	1,6–2,5	380–420	32–36	18–20	18–25	12–18
					450–500	36–40			

Таблица 2. Расход газа при установке диафрагмы с отверстием диаметром 1 мм под
выходной штуцер редуктора

Давление на шкале манометра, кгс/см. ²	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
Расход СО ₂ , л/мин	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Форма отчета

Лабораторная работа

Тема. Изучение оборудования и технологии сварки в среде углекислого газа

1. Особенности сварки металла в углекислом газе.
2. Структурная схема установки ВДУ - 501.
3. Основные параметры процесса при сварке стального изделия заданной толщины.

2.8 Лабораторная работа № 8 (2 часа).

Тема: «Вибродуговая наплавка»

2.8.1 Цель работы: Освоить основные. физическую сущность и технологический процесс восстановления деталей вибродуговой наплавкой.

2.8.2 Задачи работы:

- 1) Изучить конструкцию и принцип действия наплавочной головки ОКС-6569.
- 2) Практически освоить процесс восстановления детали вибронаплавкой.
- 3) Подготовить отчет и ответы на вопросы.

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Токарный станок модели 163.
2. Наплавочная головка ОКС-6569.
3. Преобразователь ПСГ-500.
4. Твердомер ТШ-2.
5. Микроскоп отсчетный для измерения диаметров отпечатков.
6. Деталь для наплавки (диаметром 50 мм).
7. Сварочная проволока диаметром 1,6 мм пружинная, второго класса.
8. Штангенциркуль ШЦ-11-0.1-200.

2.8.4 Описание (ход) работы

1. Изучить физическую сущность и технологический процесс восстановления деталей вибродуговой наплавкой

Одним из методов наплавки, разработанным в нашей стране, является вибродуговая наплавка, получившая широкое распространения для восстановления автотракторных деталей. Сущность ее заключается в периодическом замыкании и размыкании

находящейся под током электродной проволоки, которая в процессе плавления вибрирует с частотой 40-50 кол/сек и больше [7.2].

Цикл вибродуговой наплавки состоит из трех периодов: короткого замыкания, электрического разряда и холостого хода.

Вибродуговая наплавка по сравнению с ручной электродуговой увеличивает производительность труда в 2-4 раза. В процессе наплавки деталь нагревается не более чем на 100°C (373°K), благодаря чему удастся избежать коробления. Кроме того, исключена возможность изменения структуры металла детали, так как зона термического влияния при этом способе невелика. Не требуется дефицитных электродных материалов и другого оборудования. Эта наплавка дает возможность получить слой высокой твердости без последующей обработки. Есть и другие преимущества.

Вибродуговая наплавка проводится с помощью автоматической головки, которая устанавливается на суппорт токарного станка вместо резцедержателя (рис. 7.1). Основание головки изолируется от плиты суппорта станка текстолитовыми прокладками и втулками. Станок заземляется. Наплавляемая деталь 3, закрепленная в патроне или в центрах станка, вращается с определенной скоростью. Сварочный ток к обрабатываемой детали подводится токоподводящим устройством. Для этой цели на шпиндель токарного станка напрессовывается токосъемное кольцо; к станине привинчивается траверса со щеткодержателем и щеткой. Рекомендуются обратная полярность тока на детали, так как при ней уменьшаются термические воздействия на деталь с включением в цепь регулируемого индуктивного сопротивления 8.

Автоматическая вибродуговая головка предназначена для подачи электродной проволоки и отрыва ее от детали. Проволока из кассеты 6 подается в вибрирующий мунштук 4 механизмом 5, который состоит из роликов, редуктора и электродвигателя. Вибрирует электрод с помощью электромагнитного или механического вибратора 7. Охлаждающая жидкость в зону наплавки подается самотеком из бака через трубку с вентилем или насосной установкой. Насосная установка состоит из электродвигателя 1, насоса 2, подводящего патрубка с краном и бака 9.

В качестве источника тока может использоваться агрегат АНД-500/250 или ПСГ-500 при диаметре электродной проволоки до 2 мм и скорости подачи не более 2 м/мин. Более мощные агрегаты АНД-1000/500 и АНД-1500/750 позволяют наплавлять либо одновременно двумя-тремя наплавочными головками, либо проволокой большего диаметра или ленточным электродом. При вибродуговой наплавке можно также применять селеновые выпрямители марок ВСГ-3М и ВСГ-3А.

Для перечисленных типов источников тока в сварочную цепь необходимо включить регулируемое реактивное сопротивление в целях настраивания сварочной цепи на оптимальные переходные процессы наплавки. Для этого используют дроссели РСТЭ-34, РСТЭ-24.

Вибродуговым способом наплавляют различные детали тел вращения по внутреннему и наружному диаметру, изготовленные из стали и чугуна. Технологический процесс восстановления деталей включает следующие операции: подготовку к наплавке, наплавку, последующую обработку наплавленного слоя, контроль качества покрытия.

Детали перед наплавкой очищаются от ржавчины, масла и нагара химическим или механическим способом. Если неравномерность износа детали превышает 0,3-0,5 мм, ее подвергают механической обработке до полного устранения искажений геометрической формы. Имеющиеся на наплавляемой поверхности отверстия, пазы, канавки, которые нужно сохранить, заделывают графитовыми, медными или стальными вставками.

Качество и толщина наплавленного вибродуговым способом металла зависят от электродной проволоки и режима наплавки. Поэтому марку проволоки выбирают, исходя из требований, предъявляемых к наплавленному слою. Следует иметь в виду, что необходимую твердость наплавленного слоя можно получить за счет применения проволоки соответствующего химического состава. При наплавке средне- и

высокоуглеродистыми проволоками 65Г (0,65% С), ПК (0,70% С), ОВС (0,8% С) твердость наплавленного металла достигает HRC 45-58. При этом слой наплавки хорошо сцепляется с деталью, обладает высокими антифрикционными свойствами.

Если требуются низкие твердости, то можно наплавлять проволокой марки Св-0,8, которая дает твердость HB 200-275 (2000-2750 МПа) или проволоки марки Св-30ХГСА для получения средней твердости HRC 30-40.

Режим наплавки характеризуется величиной тока, скоростью подачи электродной проволоки, шагом наплавки, расходом охлаждающей жидкости, частотой вибрации электрода и т.д.

Напряжение дуги при вибродуговой наплавке целесообразно регулировать в пределах 14-25 В. При более низких напряжениях уменьшается производительность труда, при повышении напряжения (более 25 В) увеличивается интенсивность выгорания легирующих элементов. Сила тока должна быть в пределах 130-180 А и более.

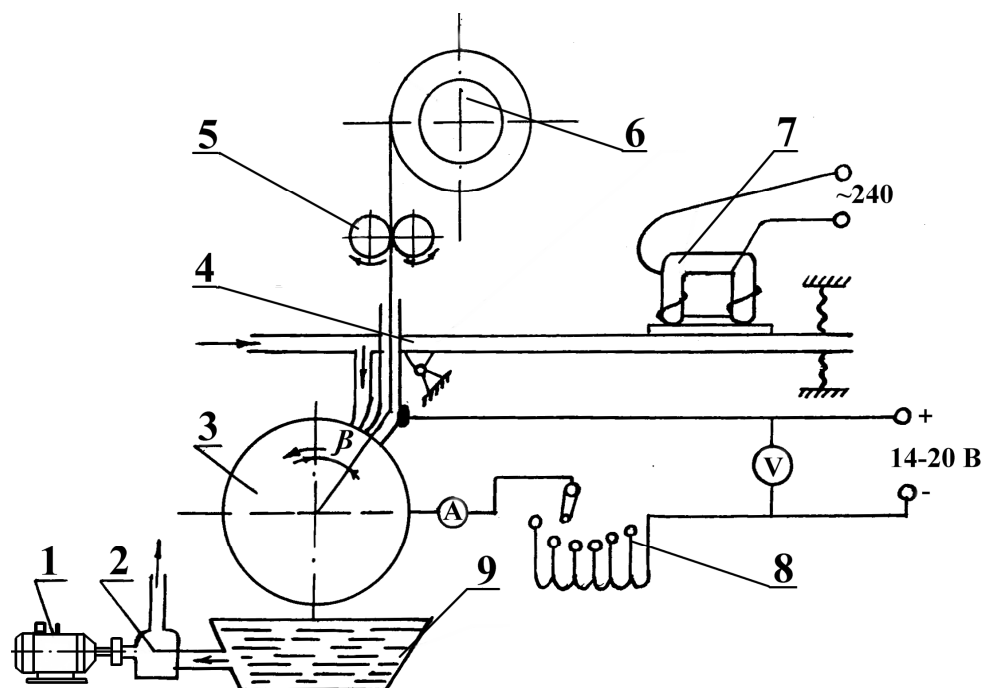


Рис. 1. Принципиальная схема вибродуговой наплавки:

1 - электродвигатель; 2 - насос; 3 - наплавляемая деталь; 4 - вибрирующий мундштук; 5 - механизм подачи проволоки; 6 - кассета; 7 - вибратор; 8 - индуктивное сопротивление; 9 - бак для жидкости.

Оптимальные значения скорости наплавки, обеспечивающие хорошее формирование наплавленного слоя, находятся в пределах 0,3-2,0 м/мин. Скорость подачи проволоки может изменяться в пределах от 50 до 110 м/час. Следует отметить, что низкая скорость приводит к образованию пропусков на наплавленной поверхности. При очень большой скорости не вся проволока расплавляется.

Шаг наплавки зависит от диаметра электрода, напряжения дуги и скорости подачи проволоки. Практика показывает, что шаг наплавки должен быть в 1-3 раза больше диаметра электродной проволоки. При малом шаге наплавки зона горения дуги находится между ранее наплавленным валиком и электродом. При этом наплавленный металл,

попадая на недостаточно разогретый основной металл, не сплавляется с ним, и образуются участки несплавления. Кроме того, при малом шаге твердость наплавленного слоя ниже, поскольку тепловое воздействие на наплавленный валик будет больше. Слой до 1 мм наплавляется обычно при подаче детали 1,2-2,0 мм/об, а толстые слои – при 1,7-3,0 мм/об.

Вибрация электродной проволоки относительно детали имеет небольшую амплитуду – 1-3 мм. В результате этого происходит чередование коротких замыканий. При малой амплитуде колебаний электрода повышается шероховатость. Увеличение амплитуды вызывает разбрызгивание металла.

Практикой установлено, что величина вылета электрода должна быть в пределах 5-10 мм. Большой вылет электрода рекомендуется для высокоуглеродистой проволоки.

Для охлаждения детали и мундштука вибратора, получения наплавленного слоя необходимой твердости и износостойкости, а также для защиты расплавленного металла от вредного воздействия на него азота воздуха чаще всего применяется 4-6%-ный водный раствор кальцинированной соды и 0,5% минерального масла. Расход жидкости рекомендуется в пределах 0,2-0,8 л/мин. Деталь при охлаждении должна находиться под тонким слоем раствора. Недостаток, а также излишек охлаждающей жидкости резко ухудшает стабильность процесса наплавки.

При определении толщины наплавленного слоя следует учитывать припуск на механическую обработку, который обычно составляет 0,6-1,2 мм на сторону. При наплавке в два или три слоя каждый предыдущий слой необходимо зачищать металлической щеткой.

Ориентировочные режимы вибродуговой наплавки приведены в табл. 1.

1. Рекомендуемые режимы вибродуговой наплавки

Наплавочный материал	Толщина наплаваемого слоя, мм	Скорость подачи электрода, м/мин	Ток, А	Частота вращения детали, мин ⁻¹	Подача суппорта станка, мм/об	Припуск на механическую обработку на сторону, мм
Проволока диаметром 1,6-1,8 мм	0,6-0,7	1,3	120-140	1200/πД	1,8-2,2	0,4
	1,5	1,7	160-190	1000/πД	2,3-2,8	0,8
	2,5-3,0	1,7	160-190	370/πД	2,8-3,6	1,0
Проволока диаметром 2,5 мм	2,5-3,0	1,7	300-350	200/πД	3,3-3,4	1,0
Лента сечения 0,5x10 мм ²	2,5-3,0	1,7	320-340	200/πД	7,9	1,0

Примечание: Д – диаметр наплаваемой детали, мм.

2. Изучить конструкцию и принцип действия наплавочной головки ОКС-6569

Назначение головки

Головка вибродуговая наплавочная предназначена для вибродуговой наплавки металла в струе жидкости и углекислом газе проволокой сплошного сечения диаметром 1,2...2 мм, а также для вибродуговой наплавки открытой дугой порошковой проволокой диаметром 2...3 мм (с внутренней защитой).

Кроме того, головка может быть использована для наплавки без вибрации электрода в углекислом газе проволокой сплошного сечения и открытой дугой порошковой проволокой с внутренней защитой.

Устройство и принцип работы головки

Наплавочная головка (рис.2) состоит из следующих основных частей: электродвигателя 1, механизма подачи электрода 2, вибратора 3, сменных мундштуков 4, опоры с зажимом 5, механизма подъема 6, опорной плиты 7 и защитного щитка 8.

Болт 14 фиксирует поворот головки вокруг горизонтальной оси, а гайкой 15 с контргайкой фиксируется положение эксцентриковой втулки на валике вибратора.

В комплект головки входят также кислородный редуктор, подогреватель газа, осушитель газа, отсекающий газ, пульт управления и кассета.

Кинематическая схема головки показана на рис. 3.

Механизм подачи электрода (рис. 4) включает в себя редуктор, сменные подающие ролики, сменные шестерни и прижимное устройство.

Двухступенчатый червячный редуктор подает электродную проволоку в мундштук роликами 1, сменные шестерни 2 обеспечивают скорость подачи электрода от 0,25 до 4,5 м/мин.

Прижимное устройство надежно захватывает электрод роликами при помощи пружины 3 и упора 4 (см. рис.4).

Скорость подачи электрода, в зависимости от числа зубьев ведущей и ведомой шестерен, указана в табл. 2.

2. Число зубьев ведущей и ведомой шестерен редуктора и скорость подачи проволоки

Число зубьев шестерен		Подача, V_n	
ведущей Z_1	ведомой Z_2	м/мин	м/час
18	53	0,52	31,20
21	50	0,65	39,00
24	47	0,79	47,40
27	44	0,95	57,00
31	40	1,19	71,40
35	36	1,50	90,00
36	35	1,59	95,40
40	31	1,99	119,40
44	27	2,50	150,00
47	24	3,20	192,00
50	21	3,66	219,00
53	18	4,50	270,00

Механический вибратор создает вибрацию электрода посредством шкива 9 (см. рис. 2), передающего вращение эксцентриковому валику 10, на котором находится эксцентриковая втулка 11. С втулкой шарнирно соединен шатун 12, который при

вращении эксцентрикового валика передает колебания через коромысло 13 сменным мундштукам 4.

Мундштуки служат для подвода электрода, охлаждающей жидкости или газа к месту наплавки, а также для сообщения вибрации концу электрода и для подвода тока. Наплавочная головка имеет комплект мундштуков:

- для вибродуговой наплавки в углекислом газе проволокой диаметром 1,2...2 мм;
- для вибродуговой наплавки в струе жидкости проволокой диаметром 1,6 мм;
- для наплавки в углекислом газе без вибрации электрода;
- для вибродуговой наплавки открытой дугой порошковой проволокой диаметром 2...3 мм.

3. Практически освоить процесс полуавтоматической наплавки детали вибродуговым способом

Выбрать режим наплавки вала для получения слоя толщиной 1,5 мм

1) Диаметр электродной проволоки: при наплавке слоя толщиной менее 1 мм применяют проволоку диаметром 1,0...1,2 мм, толщиной 1,5 мм – диаметром 1,6 мм, толщиной 2 мм – диаметром 1,6...2,0 мм.

2) Твердость наплавленного слоя зависит от материала применяемой проволоки – сталь углеродистая (Св-0,8, Св-0,8А, Св-0,8ГА), сталь легированная (Св-18ХГСА, Св-10ХМ), сталь углеродистая пружинная второго класса (ГОСТ 9389-60). Ориентировочно твердость может быть получена в 230 ед. НВ при использовании проволоки Св-0,8, 250 ед. – Св-0,8ГА, 480 ед. – Нп30ХГСА, 520 ед. – пружинной второго класса.

3) Ток: полярность обратная, величина – 60...65 А на 1 мм² сечения электродной проволоки (при диаметре проволоки до 2 мм), 50...60 А/мм² (при диаметре проволоки более 2 мм); сечение проволоки – это площадь поперечного сечения, мм².

4) Напряжение: 12...15 В – при наплавке слоя толщиной до 1 мм, 15...20 В при наплавке слоя толщиной более 1 мм.

5) Подача суппорта: для слоя толщиной до 1 мм – 1,2 мм/об, для более толстых слоев – 1,7...2,5 мм/об; положение рукояток коробки подач станка 163 при установке шага наплавки (от винта) показаны в табл. 7.3.

6) Амплитуда вибрации электрода должна быть в пределах 1,8...2,2 мм; амплитуда регулируется изменением положения эксцентриковой втулки относительно вала, связанного с шатуном.

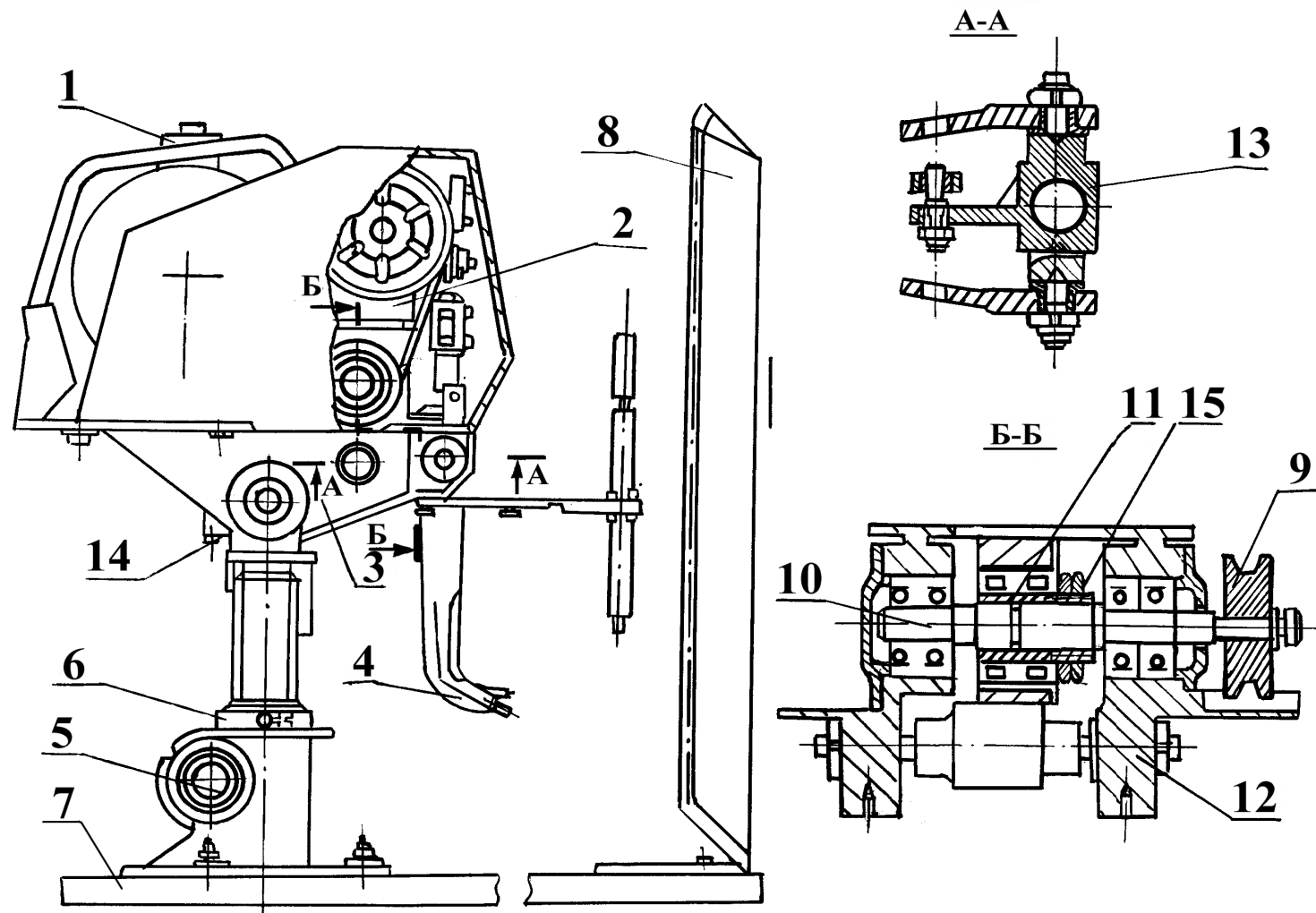
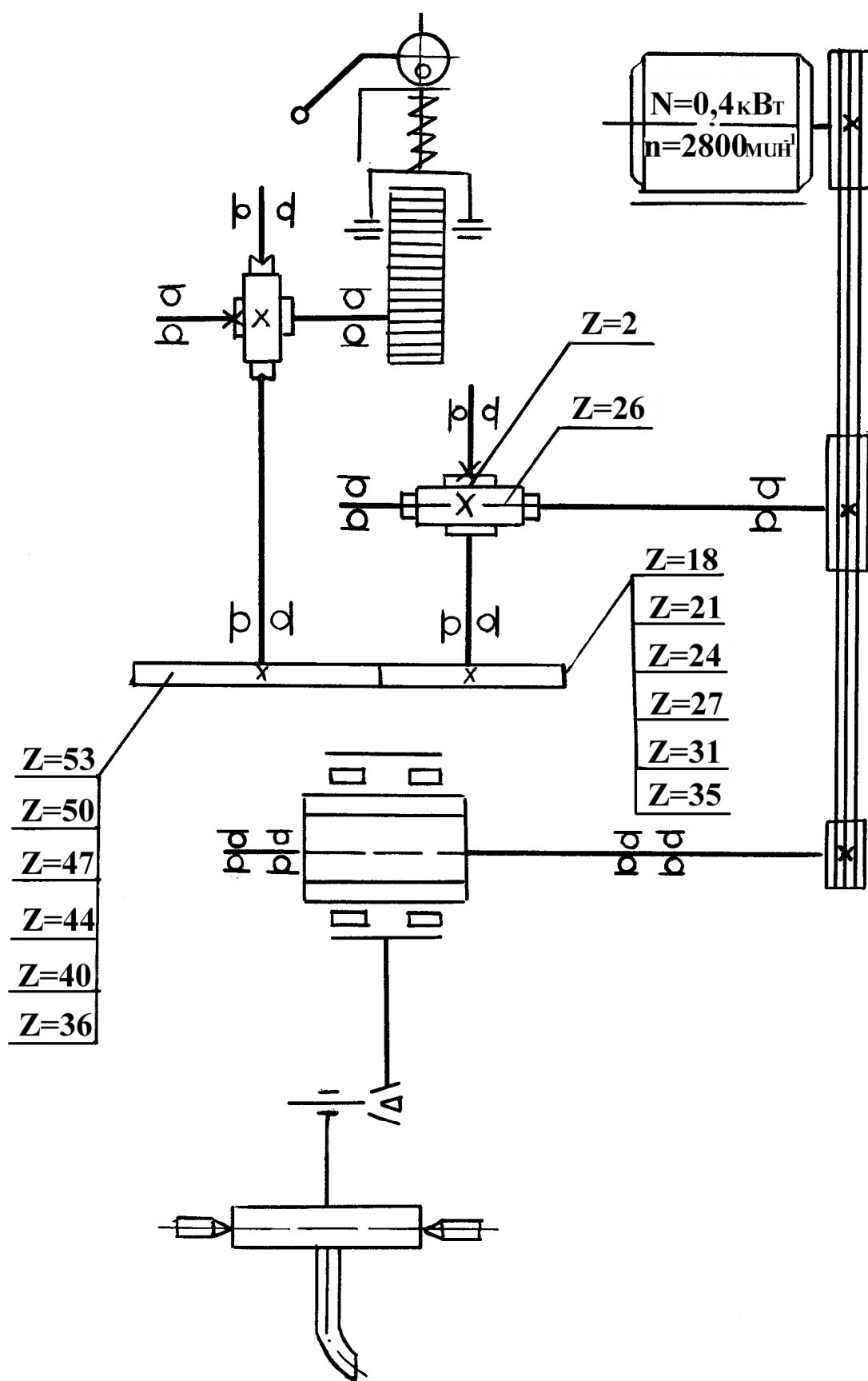


Рис. 2. Общий вид наплавочной головки:

1 - электродвигатель; 2 - механизм подачи проволоки; 3 - вибратор; 4 - мундштук; 5 - опора с зажимом; 6 - механизм подъема; 7 - плита; 8 - щиток; 9 - шкив ведомый; 10 - эксцентриковый валик; 11 - втулка эксцентриковая; 12 - шатун; 13 - коромысло; 14 - болт; 15 - гайка крепления втулки на валике.



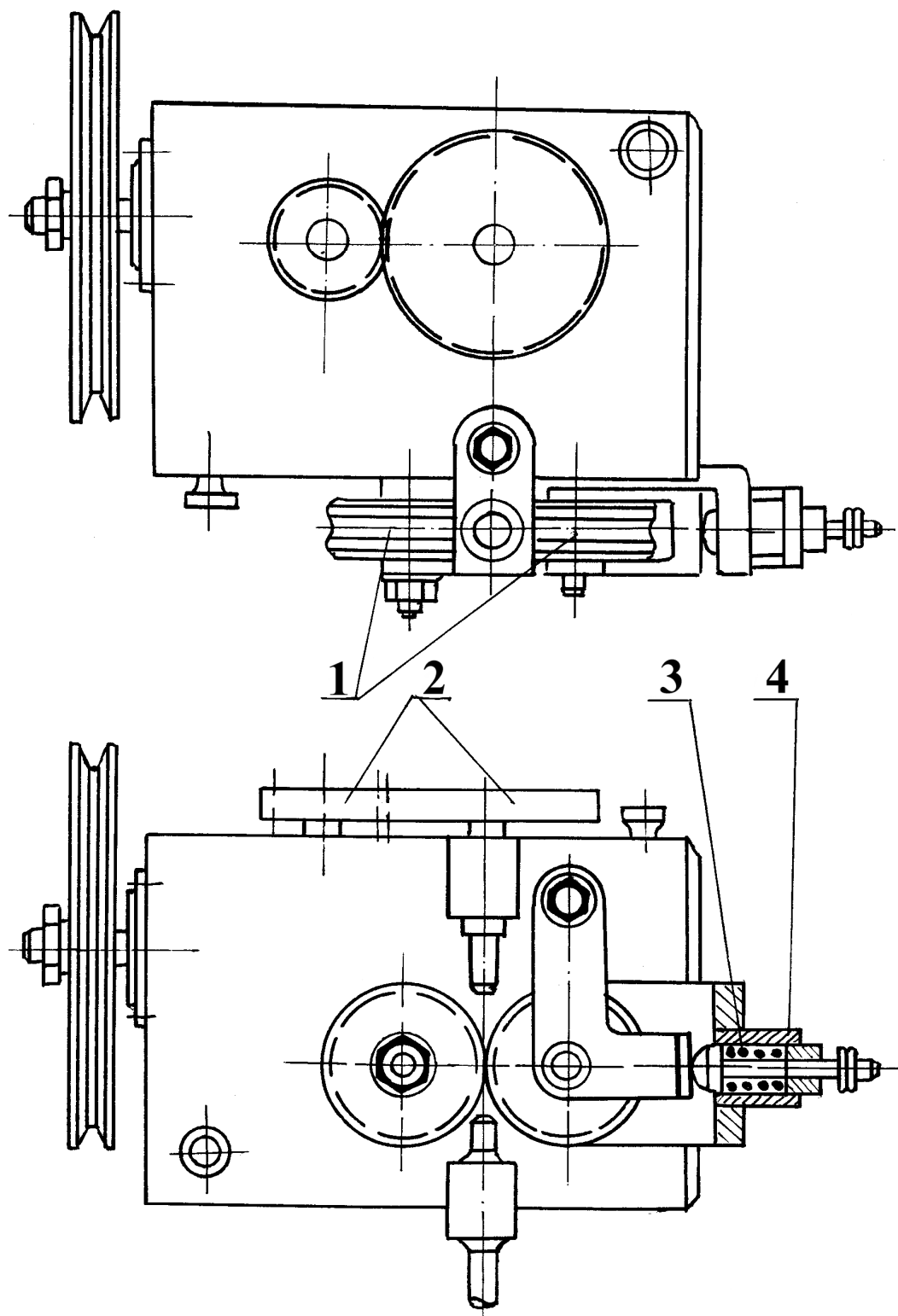


Рис. 4. Механизм подачи электродной проволоки:

1 - подающие ролики; 2 - сменные шестерни; 3 - пружины; 4 - упор.

3. Положение рукояток коробки подач станка 163 при установке шага наплавки, мм (от винта)

Рукоятка “Б”	Рукоятка “В”			
	1	2	3	4
4	–	–	–	–
2	–	1,75	3,50	7,00
3	1,00	2,00	4,00	8,00
6	–	–	4,50	9,00
8	–	–	–	–
7	1,25	2,50	5,00	10,00
5	–	–	5,50	11,00
1	1,50	3,00	6,00	12,00

Примечания: 1. Рукоятка для установки нормального или увеличенного шага резьбы должна быть в положении “Нормальный шаг” (рукоятка находится на панели коробки скоростей).
2. Рукоятка для настройки на метрическую или дюймовую резьбу должна быть в положении “метрическая резьба”.

7) Скорость подачи проволоки (м/ч):

$$V_n = 4 I_k / (\pi d^2 \rho), \quad (1)$$

где I – ток, А (см. п.3);

k – коэффициент наплавки (8 г/А·ч);

d – диаметр электродной проволоки, мм (см. п.1);

ρ – плотность материала проволоки (7,5 г/см³).

Подсчитанная скорость подачи проволоки корректируется в соответствии с паспортными данными головки (см. табл.2 и рис.3).

8) Скорость наплавки (м/ч):

$$V_n = 0,785 d^2 V_n \eta / (h S a), \quad (2)$$

где η – коэффициент перехода электродного материала в наплавленный металл (0,9);

h – толщина наплавляемого слоя, мм;

S – шаг наплавки, мм/об;

a – коэффициент, учитывающий отклонение фактической площади сечения слоя от площади четырехугольника с высотой h ($a=0,9$).

9) Частота вращения детали (мин⁻¹):

$$n = 1000 V_n / (60 \pi D), \quad (3)$$

где D – диаметр наплавляемой детали, мм.

10) Получение широкой и относительно короткой сварочной ванны и соответствующего валика наплавленного металла обеспечивается боковым подводом проволоки, под углом 30...45° к вертикальной оси детали, когда образующийся валик уходит вверх от электрода.

11) Формулы и результаты расчетов внести в отчет о работе.

Наплавить участок детали длиной 8...10 мм в соответствии с выбранным режимом

1) Закрепить деталь 1 в патроне 2 токарного станка 3 модели 163 (рис.5).

2) Установить на станке необходимую подачу суппорта и нужную частоту вращения детали, принимая во внимание передаточное число дополнительного редуктора ($i=57$).

3) Подвести наконечник мундштука наплавочной головки 4 к наплавляемому участку детали на расстояние 5...9 мм.

4) Включить общий рубильник 5 на щите управления и рубильник 6 подачи напряжения на станок и на пульт управления 7 (загорается сигнальная лампа 8 на щите пульта управления).

5) Кнопкой 9 магнитного пускателя 10 включить преобразователь 11 и установить соответствующее напряжение (по вольтметру 12) регулятором 13.

6) Отрегулировать подачу охлаждающей жидкости (3...4% – раствор кальцинированной соды) из бака 14 так, чтобы струя охлаждала головку мундштука, не попадая в зону горения дуги и на поверхность детали.

7) Дать вращение детали (кнопкой “пуск” станка и рычагом муфты сцепления) и нажатием пусковой кнопки 15 “Проволока” включить подачу проволоки при положении переключателя 16 “вперед”; наплавить 3...4 витка.

8) По окончании процесса наплавки выключить подачу проволоки нажатием кнопки 17 “стоп” и подачу жидкости поворотом крана 18, остановить станок и выключить преобразователь нажатием кнопки 19 “стоп”, отвести мундштук головки от детали на 20...25 мм.

Измерить твердость наплавленного слоя твердомером ТШ-2

- 1) Проточить на токарном станке наплавленную поверхность до устранения раковин.
- 2) Измерить твердость слоя с помощью твердомера ТШ-2.
- 3) Результаты измерения внести в отчет о работе.

отчет по работе

Лабораторная работа

Тема:

Цель работы:

Результаты работы:

- 1) Вычертить принципиальную схему процесса вибронаплавки (рис..1);
- 2) Привести результаты расчета и расчетные формулы по режиму наплавки;
- 3) Привести данные по качеству и твердости наплавленного слоя.

2.9 Лабораторная работа № 9 (2 часа).

Тема: «Влияние элементов режима резания на тангенциальную оставляющую силы резания и на температуру в зоне резания при точении»

2.9.1 Цель работы: Ознакомиться с методами и приборами для измерения силы резания при точении, исследования тепловых явлений в процессе резания; установить влияние глубины резания, подачи и скорости на силу и температуру резания с применением метода обработки экспериментальных данных в логарифмической системе координат.

2.9.2 Задачи работы:

1. Определить величины сил резания при заданных режимах резания .
2. Определить величины температуры в зоне резания при заданных режимах резания

2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Токарно-винторезный станок 1А616.
2. Заготовка из стали.
3. Тензоусилитель 8АНЧ-7М с блоком питания.
4. Электрический тензометрический динамометр.
5. Резцы, подготовленные для образований термопары.
6. Миллиамперметр, набор электропроводов.
7. Штангенциркуль.

2.9.4 Описание (ход) работы

Общие сведения

В процессе резания на лезвие инструмента действуют силы сопротивления перемещению его по траектории относительного рабочего движения. Результирующая этих сил называется силой резания. Силы сопротивления рабочему движению лезвия не стабильны. По тем же причинам нестабильно и направление действия силы резания, которое изменяется одновременно с текущим значением силы резания. Периодические изменения (колебания) силы резания могут привести к нежелательным вибрациям.

Источники возникновения силы резания

Источниками препятствия рабочему движению лезвий являются:

- сопротивление обрабатываемых материалов пластической деформации стружкообразования;
- сопротивление пластически деформированных металлов разрушению в местах возникновения новых поверхностей;
- сопротивление срезаемой стружки дополнительной деформации изгиба и ломанию;
- силы трения на лезвии и других трущихся поверхностях рабочей части инструмента.

Порядок выполнения работы

1. Установить проходной резец ГОСТ 10047-62 с наклеенными тензодатчиками и заданными геометрическими параметрами в резцовую головку суппорта или проверить правильность установки резца.

2. Прогреть тензоусилитель 8АНЧ-7М в течение 30 минут.

3. Провести тарировку электрического тензометрического динамометра

Тарировка тензометрического динамометра

Тарировочные устройства (см. рис.1) представляют собой рычаг, опирающийся регулировочным винтом 1 на вершину резца с плечом, равным 50 мм, передвижным грузом $P_{гр}$, приложенным на плечи L_i . Изменение нагрузки на резец производится перемещением груза по рычагу 2 в направлении от вершины резца к концу рычага.

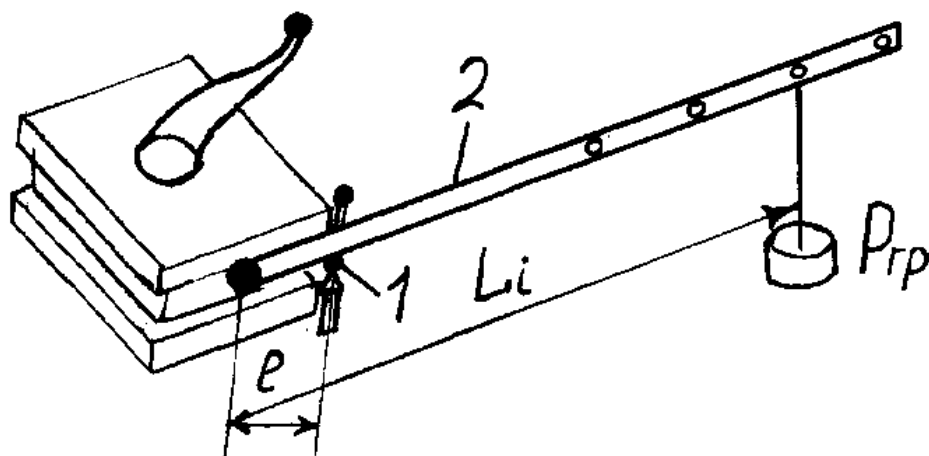


Рисунок 1. Схема тарировки тензометрического динамометра.

При тарировке каждому положению груза P_i будет соответствовать показание прибора. Зная плечо приложения груза и его вес, определяем момент, действующий на вершину резца, он равен $M_i = P_{гр} \cdot L_i$. Плечо приложения момента на резец известно и равно 50 мм. Определяем силу, действующую на вершину резца. Зафиксировав показания прибора, определим цену деления в Н.

$$N_{при} = \frac{PL_i}{50n_{пр}}; [Н] \quad (1)$$

Проделав несколько нагружений, определим среднее значение цены деления прибора:

$$N_{ср.} = \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot N_3}{3}; \quad (2)$$

Это значение $N_{ср}$ используется при проведении двух серий опытов при определении влияния глубины резания и подачи на силу резания P_z . При проведении опыта производим отсчет по прибору и эту величину умножаем на цену деления, получаем величину P_z в Н

$$P_z = n_{пр} \cdot N_{ср} \quad (3)$$

где $n_{пр}$ - показания прибора динамометра; $N_{ср}$ - цена деления прибора.

Для измерения сил резания на токарном станке поставлена установка однокомпонентного динамометра, дающая возможность производить замер силы резания.

В резцедержательную головку установлен тензометрический резец, подключенный к усилителю. Усиленный сигнал с тензометрического резца подается на усилитель и фиксируется гальванометром, подключенным к усилителю. Тензометрический резец под действием силы резания пропорционально силе деформируется, величина деформации преобразуется в напряжение и подается на усилитель. Усиленный сигнал замеряется гальванометром, протарированным в Н.

Затем тарировочное устройство снимается и устанавливается обрабатываемая заготовка.

4. Установить стальную заготовку, один конец которой закрепить в патроне, а второй подпереть центром задней бабки.

5. Штангенциркулем в месте точения заготовки измерить её диаметр.

6. Ручками станка установить заданное число оборотов.

7. Рукояткой ручного поперечного перемещения суппорта

установить глубину резания.

8. Провести первую серию опытов, при этом V , t остаются постоянными, а три раза меняем величину продольной подачи суппорта с помощью рукоятки управления коробкой подач. Исходные данные и показания регистрирующего прибора заносим в таблицу.

9. Провести вторую серию опытов, при этом V , S , остаются постоянными, а три раза меняем глубину резания с помощью рукоятки ручного поперечного перемещения суппорта. Исходные данные и показания регистрирующего прибора также заносим в таблицу.

10. Используя показания регистрирующего прибора определяем величину силы P_z , а результаты заносим в таблицу.

11. Проводим обработку экспериментальных данных

При обработке экспериментальных данных, полученных во время опыта, необходимо найти функцию. Степенная функция вида:

$$P_z = Cp_z \cdot t^{xp_z} \cdot S^{yp_z}; \quad (4)$$

При определении коэффициентов x_{pz} : y_{pz} степенной функции используется метод приведения уравнения к линейному виду при помощи логарифмирования

$$P_z = Cp_z \cdot t^{xp_z} \cdot S^{yp_z}; \quad (5)$$

$$\lg P_z = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg t + Y_{pz} \lg S; \quad (6)$$

В общем виде функция двух переменных, но в первой серии опытов меняем только одну переменную, тогда глубину резания можно принять как функцию одной переменной вида: $P_z = C'_{pz} \cdot t^{xp_z}$, во второй серии опытов меняем подачу, функция принимает вид $P_z = C''_{pz} \cdot S^{yp_z}$.

Подставив результаты опыта в линейные уравнения, и вычтя значение одной функции из другой получим следующее выражение:

$$\lg P_{z_2} = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg t_2 \quad (7)$$

$$\lg P_{z_1} = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg t_1$$

$$X_{z_2} = \frac{\lg Cp_{z_2} - \lg Cp_{z_1}}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (8)$$

$$\lg P_{z_2} - \lg P_{z_1} = x_{pz} (\lg t_2 - \lg t_1)$$

Решаем эти выражения относительно искомых величин:

$$\lg P_{z_2} = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg S_2 \quad (9)$$

$$\lg P_{z_1} = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg S_1$$

$$y_{z_2} = \frac{\lg Cp_{z_4} - \lg Cp_{z_3}}{\lg S_2 - \lg S_1} \quad (10)$$

$$\lg P_{z_5} - \lg P_{z_4} = y_{pz} (\lg S_2 - \lg S_1)$$

Определив показатели степени x_{pz} при глубине резания и y_{pz} подачи, подставив в функцию, определим коэффициент C_{pz} . Этот коэффициент характеризует обрабатываемый материал. Материал в процессе опыта не меняли поэтому он во всех расчетах численно равен $P_z = C_{pz} \cdot t_z^{xp} \cdot S_z^{yp}$

$$C_{pz1} = \frac{P_{z1}}{t_1^{xp} S_1^{yp}}, C_{pz2} = \frac{P_{z2}}{t_2^{xp} S_2^{yp}}, C_{pz3} = \frac{P_{z3}}{t_3^{xp} S_3^{yp}},$$

$$C_{pz4} = \frac{P_{z4}}{t_4^{xp} S_4^{yp}}, C_{pz5} = \frac{P_{z5}}{t_5^{xp} S_5^{yp}}, C_{pz6} = \frac{P_{z6}}{t_6^{xp} S_6^{yp}}$$

$$C_{pzcp} = \frac{C_{pz1} + C_{pz2} + C_{pz3} + C_{pz4} + C_{pz5} + C_{pz6}}{6} \quad (11)$$

12. Получить расчетную формулу для определения силы резания P_z . Результаты расчетов занести в таблицу.

13. Написать выводы по работе.

Влияние элементов режима резания на температуру в зоне резания при точении

Методы измерения температуры при резании

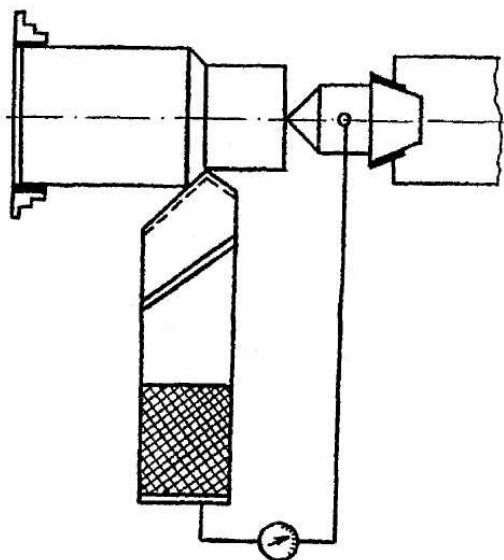


Рисунок 2. Схема измерения температуры резания методом естественной термопары.

Метод естественной термопары (рис.2) дает среднее значение температуры зоны резания. Элементами термопары является обрабатываемый материал и резец. Токоъемник выполнен на базе вращающегося центра. Деталь изолирована от патрона, вращающийся центр - от задней бабки, резец - от суппорта. Термодвижущая сила поступает от токоъемника и резца на гальванометр. Метод термокрасок состоит в том, что специальные краски в зависимости от температуры меняют свои первоначальный цвет. Набор из 14 красок позволяет измерять температуры от 45 до 780 °С.

Метод микроструктурного анализа основан на анализе разовых и микроструктурных изменений, которые происходят в наружных слоях поверхности инструмента в результате воздействия тепла. Микроструктурные изменения, определяемые при помощи металломикроскопа, и изменения твердости в поверхностных слоях инструмента дают возможность судить о температуре, которая имела место в той или иной точке поверхности.

Кроме определения температуры резания представляет интерес и характер распределения теплоты в резце и обрабатываемом материале, т.е. определение температурного поля в зоне резания. Температурное поле в зоне резания обычно рассчитывают на основе теории теплообмена в твердых телах с применением ЭВМ.

Тарировка термопары

Прежде чем приступить к экспериментам, термопару следует тарировать, т.е. установить зависимость между температурой резца и показателями милливольтметра. Тарировочное устройство состоит из электропечи, ванны для плавки алюминия, контрольного термометра, соединительных проводов, гальванометра, твердосплавной пластинки и пластинки из материала заготовки. В ванну с расплавленным алюминием погружают пластинку из обрабатываемого материала, резец с твердосплавной пластинкой и контрольный термометр (рис. 3.). Пластинку и резец соединительными проводами соединяют с гальванометром. При нагреве ванны записывают показания контрольного термометра и показания гальванометра. По результатам показаний строится тарировочный график $\theta = f(n)$. Естественная термопара обеспечивает удовлетворительные результаты, но требует относительно сложного тарирования, т.к. для каждого вида обрабатываемого материала и материала резца необходимо строить отдельные тарировочные графики.

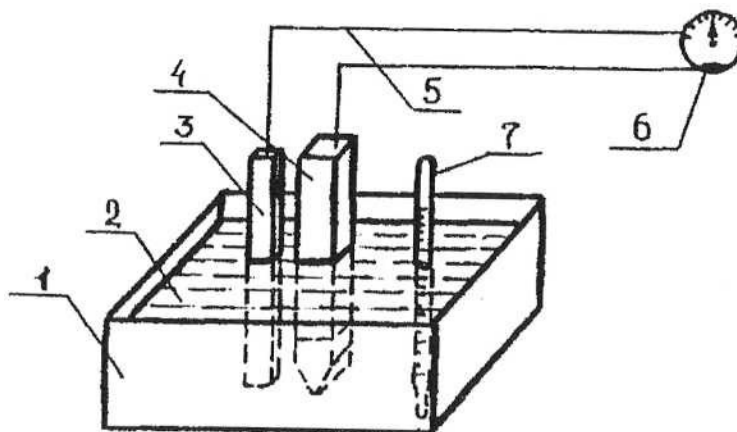


Рисунок 3. Схема установки для тарировки термопары.

1 - ванночка для металла; 2 - расплавленный металл; 3 - пластина из материала заготовки; 4 - твердосплавная пластина резца; 5 -электропровода; 6 -гальванометр; 7 - теометр.

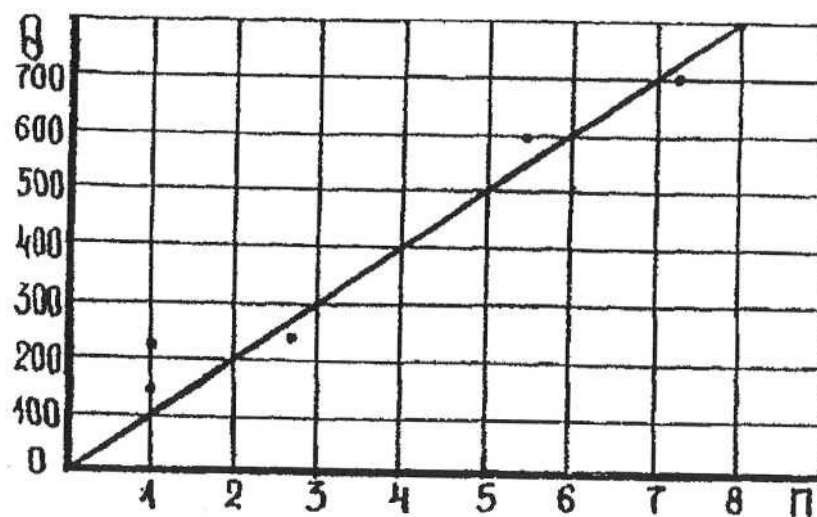


Рисунок 17. Тарировочный график естественной термопары

Порядок выполнения работы

1. Установить стальную заготовку в станок при этом один конец жестко закрепить в патроне, а второй подпереть центром задней бабки.
2. Установить резец в резцедержатель или проверить правильность его установки.
3. Провести тарировку естественной термопары по ранее изложенной методике.
4. Штангенциркулем в месте точения измерить диаметр заготовки.
5. Настроить станок для проведения трех серий опытов, но при этом учесть, что в первой серии величина подачи и глубина резания постоянные, а измеряем величину скорости резания, во второй серии скорость и глубина постоянные, а измеряем величину продольной подачи, в третьей серии скорость и подача постоянные, а измеряем глубину резания.
- Результаты опытов и исходные данные записываем в таблицу.
6. Определить скорость резания при точении V , м/мин по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (12)$$

где D - диаметр заготовки, мм; n - число оборотов шпинделя, об/мин.

7. Используя данные таблицы построить в логарифмической системе координат график зависимости температуры в зоне резания θ от скорости резания V , график зависимости температуры в зоне резания θ от подачи S и график зависимости температуры в зоне резания θ от глубина резания t .

Математическое выражение приведенных графических зависимостей записывается как:

$$\lg \theta = \lg C_{\theta 1} + Z_{\theta} \cdot \lg V, \quad (13)$$

$$\lg \theta = \lg C_{\theta 2} + Y_{\theta} \cdot \lg S, \quad (14)$$

$$\lg \theta = \lg C_{\theta 3} + X_{\theta} \cdot \lg t, \quad (15)$$

Выражения (68), (69) и (70) являются уравнениями первой степени. Показатели степени Z_θ , Y_θ и X_θ численно равны тангенсу угла наклона прямых линий.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} = Z_\theta, \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{a_2}{b_2} = Y_\theta, \operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{a_3}{b_3} = X_\theta,$$

Отрезки прямых $a_1 b_1$, $a_2 b_2$ и $a_3 b_3$ пересекающие линию наклона в направлении осей координат выбирают произвольно. Замерив значения этих отрезков, которые представляют катеты прямоугольных треугольников, подсчитывают значения Z_θ , Y_θ и X_θ . Коэффициенты $C_{\theta 1}$, $C_{\theta 2}$ и $C_{\theta 3}$ зависят от свойств обрабатываемого материала и условий обработки. Из логарифмических уравнений (13), (14) и (15) следует, что

$$\theta = C_{\theta 1} \cdot V^{Z_\theta}, \theta = C_{\theta 2} \cdot S^{Y_\theta}, \theta = C_{\theta 3} \cdot t^{X_\theta}. \quad (16)$$

В общем виде зависимость температуры в зоне резания θ от скорости резания V , подачи S и глубины резания t будет иметь вид

$$\theta = C_\theta \cdot V^{Z_\theta} \cdot S^{Y_\theta} \cdot t^{X_\theta}, \quad (17)$$

где; Z_θ , Y_θ и X_θ - показатели степеней; C_θ - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий обработки.

Численное значение коэффициента C_θ определяется решением уравнения (23). Для этого значения θ , V , S и t берут из таблицы, а значения степеней Z_θ , Y_θ и X_θ из построенных графиков или полученных аналитическим путем (порядок расчета приводится ниже).

Решение функции аналитическим способом:

8. Определить показатели степени Z_θ , Y_θ и X_θ , решив уравнения (13), (14) и (15).

Из таблицы берем значения θ и V и подставляем в уравнение (13):

$$Z_\theta = \frac{\lg \theta_2 - \lg \theta_1}{\lg V_2 - \lg V_1}, \quad (18)$$

Решением уравнения (3) для трех опытов первой серии получим значения $Z_{\theta 1}$, $Z_{\theta 2}$, $Z_{\theta 3}$.

9. Определить среднее значение $Z_{\theta \text{ ср.}}$.

$$Z_{\theta \text{ ср.}} = \frac{Z_{\theta 1} + Z_{\theta 2} + Z_{\theta 3}}{3}, \quad (19)$$

10. Из таблицы берем значения θ и S подставляем в уравнение (14)

$$Y_\theta = \frac{\lg \theta_2 - \lg \theta_1}{\lg S_2 - \lg S_1}, \quad (20)$$

Решением уравнения (20) для трех опытов второй серии получим значения $Y_{\theta 1}$, $Y_{\theta 2}$, $Y_{\theta 3}$.

11. Определить среднее значение $Y_{\theta \text{ ср.}}$.

$$Y_{\theta \text{ ср.}} = \frac{Y_{\theta 1} + Y_{\theta 2} + Y_{\theta 3}}{3}, \quad (21)$$

12. Из таблицы берем значения θ и t и подставляем в уравнение (21)

$$X_{\theta} = \frac{\lg \theta_2 - \lg \theta_1}{\lg t_2 - \lg t_1}, \quad (22)$$

Решением уравнения (22) для трех опытов третьей серии получим значения $X_{\theta 1}$, $X_{\theta 2}$, $X_{\theta 3}$.

13. Определить среднее значение $X_{\theta \text{ср}}$.

$$X_{\theta \text{ср}} = \frac{X_{\theta 1} + X_{\theta 2} + X_{\theta 3}}{3}, \quad (23)$$

14. Определить коэффициент C_{θ} по формуле (23). Для этого прологарифмируем обе части уравнения (12) и получим уравнение

$$\lg \theta = \lg C_{\theta} + Z_{\theta} \lg V + Y_{\theta} \lg S + X_{\theta} \lg t.$$

Подставляя табличные значения θ ; V ; S и t из каждого опыта определяем девять значений C_{θ} .

15. Определить среднее значение коэффициента $C_{\theta \text{ср}}$.

$$C_{\theta \text{ср}} = \frac{C_{\theta 1} + C_{\theta 2} + C_{\theta 3} + C_{\theta 4} + C_{\theta 5} + C_{\theta 6} + C_{\theta 7} + C_{\theta 8} + C_{\theta 9}}{9}, \quad (24)$$

Подставить в выражение (17) полученные значения C_{θ} , Z_{θ} , Y_{θ} , X_{θ} и написать расчетную формулу для определения температуры в зоне резания θ .

Форма отчета

Лабораторная работа № 9

Тема: Влияние элементов режима резания на тангенциальную составляющую силы резания и на температуру в зоне резания при точении.

Тангенциальную составляющую силы резания

1. Изложить методику и аппаратуру для измерения силы резания
2. Заполнить протокол наблюдений
3. Ознакомиться с формулами для определения сил резания

Результаты эксперимента обрабатываем и заносим в таблицу.

Таблица 1

N	Pz	T	S	Xpz	Ypz	X/Yср	Сpz	Сpzср
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Температура в зоне резания при точении

1. Тарировочный график.

Таблица 2 Результаты расчетов функций и опытов.

№ серии			№ опыта			Диаметр, мм			Число оборотов шпинделя,
									Скорость резания, м/мин
									Логарифм скорости
									Глубина резания
									Логарифм глубины резания
									Подача
									Логарифм подачи
									Показания прибора
									Значение температуры
									Логарифм температуры
									Показатели степени
									Средняя величина показателей
									Логарифм постоянной
									Постоянная
									Средняя величина