

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов направления подготовки 27.03.05 «Инноватика»
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 669.01
ББК 30.3
Х34

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «24» октября 2022 г.,
протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. А. И. Хабибуллин

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Содержатся основные теоретические положения и методические указания к выполнению практических занятий по курсу «Химия и материаловедение» для студентов направления подготовки 27.03.05 «Инноватика» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Правила техники безопасности при проведении практических занятий.....	4
1 Практическая работа № 1. Обработка металлов резанием. Общие сведения по обработке металлов резанием.....	5
2 Практическая работа № 2. Определение температурного интервала для горячей обработки давлением.....	11
3 Практическая работа № 3. Влияние перегрева, пережога, обезуглероживания, холодной пластической деформации, рекристаллизации на изменение микроструктуры	14
4 Практическая работа № 4. Получение заготовок и изделий методом прессования иковки	17
5 Практическая работа № 5. Анализ диаграмм состояния двойных сплавов	22
6 Практическая работа № 6. Макроскопический метод исследования металлов и сплавов.....	28
7 Практическая работа № 7. Пластические массы.....	36
8 Практическая работа № 8. Выбор стали и назначение режима термической обработки.....	41
Список литературы.....	43

Правила техники безопасности при проведении практических занятий

1 К работе с учебным оборудованием допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при проведении практических занятий.

2 Разрешается выполнять только ту работу, которая соответствует учебному плану.

3 Практические работы должны проводиться в соответствии с методическими указаниями и правилами эксплуатации учебного оборудования.

4 Запрещается:

- выполнять практические работы на оборудовании с неисправностями, которые могут привести к пожарам или поражению электрическим током;
- самостоятельно устранять неисправности оборудования.

5 В аудитории необходимо соблюдать правила внутреннего распорядка.

6 **Перед началом работы** необходимо:

- провести внешний осмотр оборудования, используемого в практической работе. Убедиться в наличии заземления, огнетушителя, отсутствии оголенной электропроводки;
- проверить наличие необходимых для выполнения работы образцов;
- обеспечить свободный доступ к используемому оборудованию.

7 **При выполнении практической работы** запрещается: включать оборудование и приборы без разрешения преподавателя; вращать без необходимости настроечные винты и рукоятки; перемещать приборы во время работы.

8 **По окончании работы** необходимо:

- отключить от электросети оборудование и приборы;
- убрать рабочее место;
- в случае неполадок оборудования и приборов сообщить об этом преподавателю.

1 Практическая работа № 1. Обработка металлов резанием.

Общие сведения по обработке материалов резанием

Цель работы: изучение видов движения в металлорежущих станках, основных методов обработки, элементов режима резания, процессов, происходящих при резании металлов.

Обработкой материалов резанием называется процесс отделения режущими инструментами слоя материала с заготовки для получения детали нужной формы, заданных размеров и шероховатости поверхностей.

Слой металла, удаляемый с заготовки при обработке, называется **припуском**. Обработка резанием определяет качество изготавливаемых машин, их точность, долговечность, а также надёжность и стоимость. Трудоемкость станочных работ в машиностроении составляет наибольшую часть, достигая до 50 % общей трудоемкости изготовления машин.

1.1 Виды движений в металлорежущих станках

Для обработки резанием (точение, сверление, фрезерование и др.) заготовка и режущий инструмент должны совершать определенные движения. Они подразделяются на **рабочие**, или движения резания, **установочные** (настроечные) и **вспомогательные**.

Рабочие движения предназначены для снятия стружки, а установочные и вспомогательные – для подготовки к этому процессу.

Установочные – движения рабочих органов станка, с помощью которых инструмент по отношению к заготовке занимает положение, позволяющее снимать с нее определенный слой материала.

Вспомогательные – движения рабочих органов станка, не имеющие прямого отношения к резанию. Примерами служат быстрые перемещения рабочих органов, переключение скоростей, подач и др.

Рабочие движения подразделяются на **главное** движение и движение **подачи**. С помощью **главного** движения осуществляется снятие стружки, а движение **подачи** дает возможность начатое резание распространить на необработанные участки поверхности заготовки. Например, при сверлении вращение сверла является главным движением, позволяющим начать резание, а перемещение сверла вдоль оси – движением подачи, дающим возможность распространить процесс резания на необходимую глубину.

Виды главного движения и движения подачи. В металлорежущих станках главное движение чаще всего бывает **вращательным** (токарные, сверлильные, фрезерные, шлифовальные станки) или **прямолинейным**, т. е. возвратно-поступательным (строгальные и долбежные станки). Главное движение может сообщаться заготовке (станки токарной группы, продольно-строгальные станки) или режущему инструменту (фрезерные, сверлильные, поперечно-строгальные станки).

В станках с главным вращательным движением подача *непрерывна* и резание *непрерывно*. В станках с возвратно-поступательным движением рабочий ход чередуется с холостым, движение подачи осуществляется перед началом каждого рабочего хода и, следовательно, резание *прерывисто*.

1.2 Основные методы обработки резанием

Точение (рисунок 1.1, а). Главным движением со скоростью V в этом случае является вращение заготовки 2 вокруг оси, а движением подачи – поступательное перемещение инструмента относительно заготовки (вдоль ее оси, перпендикулярно или под углом к ней). Точением обрабатывают преимущественно поверхности вращения на токарных, карусельных, револьверных и расточных станках. Оно применяется для обработки внешних и внутренних цилиндрических, конических, фасонных поверхностей, торцовых поверхностей, а также для нарезания резьб.

Сверление (рисунок 1.1, б). При обработке отверстий на сверлильных станках главным движением является вращение инструмента, а движением подачи – перемещение инструмента вдоль своей оси. Так обрабатывают отверстия в сплошном материале 2 или увеличивают размеры имеющихся отверстий. Сверлить можно также на токарных, револьверных, расточных, фрезерных станках и др. При сверлении отверстий на станках токарной группы главным движением является вращение заготовки, а движением подачи – перемещение сверла вдоль оси. Чтобы получить более точные отверстия, после сверления их необходимо зенкеровать, растачивать или развертывать.

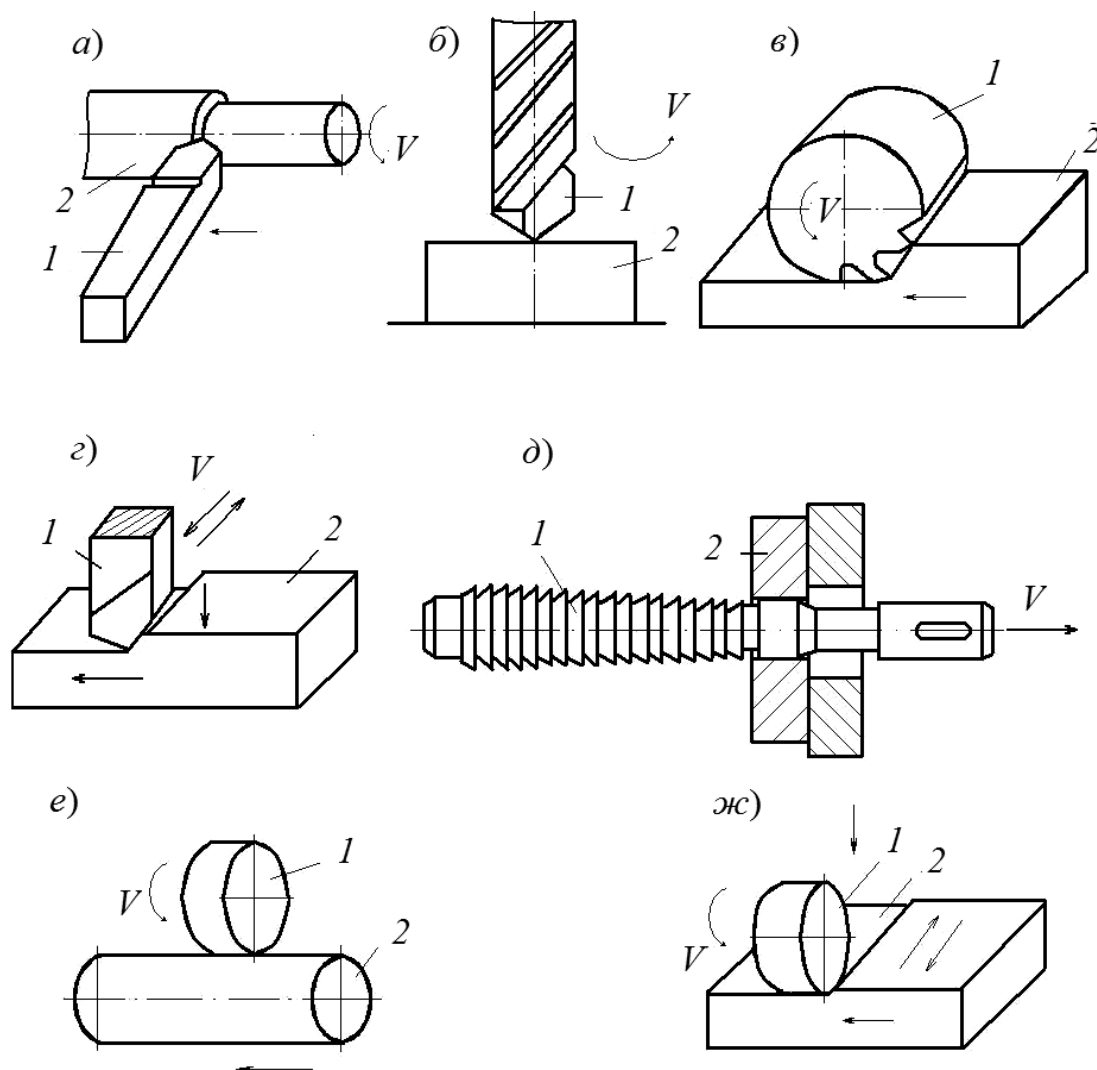
Фрезерование (рисунок 1.1, в). При фрезеровании главным движением является вращение инструмента 1, а движением подачи – поступательное перемещение заготовки 2 или фрезы. Применяя различные фрезы и фрезерные станки, можно обрабатывать разные поверхности: плоскости, криволинейные поверхности, уступы, пазы и др.

Строгание (рисунок 1.1, г). Главным движением при строгании является возвратно-поступательное перемещение резца 1 в поперечно-строгальных станках или заготовки 2 в продольно-строгальных. Движение подачи – периодическое перемещение заготовки или резца. Чаще всего строгание используют для обработки плоскостей.

Протягивание (рисунок 1.1, д) осуществляют с помощью специального инструмента – протяжки 1, имеющей на рабочей части зубья, высота которых равномерно увеличивается вдоль протяжки. Главным движением является продольное перемещение инструмента, движение подачи отсутствует. Протягивание – высокопроизводительный метод обработки, обеспечивающий высокую точность и малую шероховатость обработанной поверхности заготовки 2.

Шлифование (рисунок 1.1, е, ж). При шлифовании главным движением является вращение шлифовального круга 1. Движение подачи обычно комбинированное и складывается из нескольких движений. Например, при круглом внешнем шлифовании – это вращение заготовки 2, при продольном – перемещение заготовки относительно шлифовального круга и периодическое переме-

шение шлифовального круга относительно заготовки.



a – точение; *б* – сверление; *в* – фрезерование; *г* – строгание; *д* – протягивание; *е* – круглое шлифование; *ж* – плоское шлифование

Рисунок 1.1 – Основные методы обработки резанием

Шлифованием пользуются для окончательной обработки поверхностей деталей. Чаще всего применяют следующие методы: круглое внешнее шлифование (см. рисунок 1.1, *е*) – для обработки внешних поверхностей вращения; круглое внутреннее шлифование – для обработки отверстий; плоское шлифование (см. рисунок 1.1, *ж*) – для обработки плоскостей.

1.3 Процесс стружкообразования и сопутствующие ему явления

Схема процесса резания. Резец под действием силы P вдавливается в обрабатываемый материал, сжимая расположенный перед ним слой, вследствие чего в срезаемом слое образуются значительные напряжения, вызывающие упругие и пластические деформации. В момент, когда возникающие напряже-

ния превосходят прочность обрабатываемого материала, происходит сдвиг (скалывание) элемента стружки по плоскости сдвига (рисунок 1.2, а).

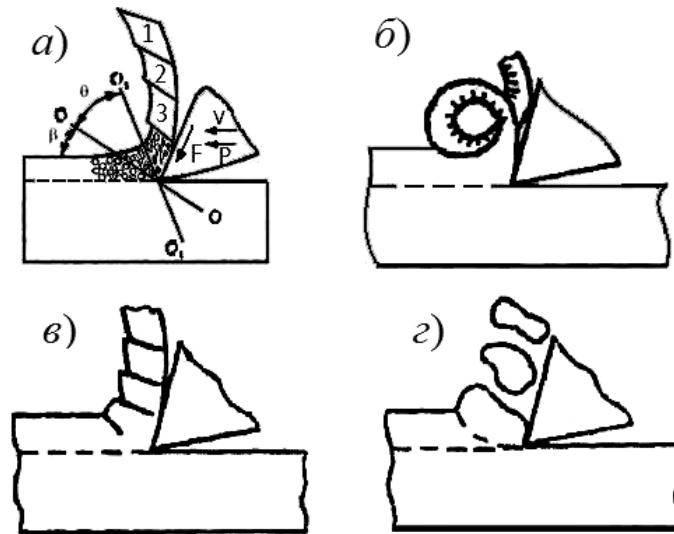


Рисунок 1.2 – Схема процесса резания и виды стружек

Типы стружек. В зависимости от обрабатываемого материала, условий резания, геометрической формы режущей части резца характер стружки изменяется. Установлено три типа стружек: *сливная, скалывания, надлома*.

Сливная стружка – сплошная лента, завивающаяся в спираль (рисунок 1.2, б). Она образуется при обработке пластичных металлов (мягкая сталь, латунь, алюминий и др.).

Стружка скалывания (рисунок 1.2, в) состоит из отдельных связанных между собой элементов. Обращенная к резцу сторона ее гладкая, а противоположная – пилообразная. Стружка скалывания образуется при обработке металлов средней твердости с невысокими скоростями резания и значительными подачами резцов, имеющих небольшие передние углы.

Стружка надлома (рисунок 1.2, г) состоит из отдельных не связанных или слабо связанных между собой кусочков металла неправильной формы. Образуется при обработке хрупких металлов (чугун, бронза, некоторые сплавы алюминия).

Образование нароста. При резании пластичных материалов, таких как сталь, латунь, образуется плотное скопление частиц металла, прочно укрепляющееся на передней поверхности резца. Большое трение стружки о резец, удаление оксидных пленок и молекулярное взаимодействие между ними помогают нижнему слою стружки затормаживаться, т. е. скорость его становится меньшей, чем скорость движения всей стружки. Этот слой задерживается на передней поверхности резца, отделяется от стружки и под действием высокого давления и высокой температуры образуется *нарост*.

Металл нароста деформирован, и твердость его значительно (в 2–3 раза) превосходит твердость обрабатываемого металла. Нарост образуется в зоне отделения стружки и участвует в резании. Он периодически разрушается, уносит-

ся сходящей стружкой и деталью, образуется вновь.

Нарост защищает вершину резца и режущую кромку от преждевременного изнашивания, улучшает теплоотвод от режущего инструмента. Точность и качество обработки поверхностей при наросте ухудшаются, т. к. форма его неправильна и непостоянна. Поэтому при **черновой обработке**, где качество поверхности не имеет особого значения, нарост благоприятно влияет на резание, но при **чистовой обработке**, когда качество обработанной поверхности особенно важно, образование нароста вредно и его следует избегать.

При **средних скоростях** (15...40 м/с) образование нароста особенно интенсивно и нарост достигает максимума. Дальнейшее увеличение скорости резания приводит к уменьшению нароста и его исчезновению. Поэтому чистовую обработку выполняют на повышенных скоростях резания. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей и тщательно доведенных резцов со значительными передними углами уменьшает наростообразование.

Упрочнение при обработке металлов резанием. При резании металлов поверхностный слой обработанной детали пластически деформируется на глубину от нескольких сотых до целого миллиметра и более в зависимости от различных факторов. Пластическое деформирование поверхностного слоя изменяет его структуру и свойства, вызывая упрочнение или наклеп.

Упрочнение поверхностного слоя при чистовой обработке повышает износостойкость, усталостную прочность и другие эксплуатационные свойства детали. Но это может оказаться вредным при дальнейшей ее обработке. Упрочнение при черновой обработке отрицательно влияет на резание при чистовой обработке: срезаются тонкие стружки, происходит быстрое затупление инструмента, увеличивает шероховатость поверхности.

Механизмы изнашивания. Под изнашиванием режущего инструмента понимают разрушение его контактных поверхностей в результате трения стружки о переднюю поверхность инструмента, а задней поверхности – о заготовку. Физические процессы, протекающие при изнашивании инструмента, аналогичны трению и изнашиванию трущихся пар, но они происходят обычно при очень большом давлении, больших скоростях и высокой температуре.

Интенсивное разрушение поверхностей инструмента обусловлено наличием в обрабатываемом материале достаточно твердых составляющих (карбиды, оксиды, поверхностная корка), которые царапают поверхности трения (**абразивный механизм изнашивания**). Изнашивание тем больше, чем меньше твердость инструмента и выше твердость обрабатываемого материала.

Высокое давление и температура резания вызывают **адгезионные** процессы на контактных поверхностях – схватывание материала инструмента с материалом заготовки под действием атомарных сил. При этом частички инструментального материала беспрерывно вырываются и уносятся сходящей стружкой и обрабатываемой заготовкой. При невысоких скоростях резания изнашивание инструментов из твердых сплавов вызывается именно адгезионными процессами.

При больших скоростях, когда в зоне резания развивается очень высокая температура, твердосплавный инструмент интенсивно изнашивается под дей-

ствием *диффузионного механизма*. Происходит взаимное проникновение и растворение структурных составляющих инструментального и обрабатываемого материалов. Интенсивной диффузии благоприятствует то, что в контакт с инструментом непрерывно вступают все новые участки обрабатываемого материала и стружки.

Изнашивание за счет *абразивного и адгезионного механизмов* происходит, главным образом, по *задней поверхности* инструмента при обработке твердых и хрупких материалов, а *диффузионное* изнашивание наблюдается на *передней поверхности* – при обработке сталей с высокими скоростями резания без охлаждения с толщиной срезаемого слоя более 0,5 мм (резцы).

Изнашивание может происходить по *передней и задней поверхностям одновременно*. Этот вид наиболее распространен и характерен при снятии стружек с толщиной более 0,1 мм.

Критерий затупления. Предельно допустимая величина изнашивания, при которой инструмент теряет нормальную работоспособность, называется **критерием затупления**. С увеличением изнашивания задней поверхности инструмента возрастают силы резания, увеличивается работа трения, повышается температура, резко возрастают вибрации, увеличивается шероховатость обработанной поверхности. Поэтому **критерием затупления** выбирают определенную величину изнашивания *задней поверхности* инструмента (например, величина стертой фаски на задней поверхности резца при черновой обработке может составлять 0,5 мм).

Стойкостью инструмента называют время его работы между переточками при определенном режиме резания. На стойкость влияют обрабатываемый материал и материал режущего инструмента, режим резания и другие условия обработки. Стойкость оказывает большое влияние на производительность и стоимость обработки; ее выбирают такой, чтобы стоимость выполняемой операции была минимальной. Сложные дорогие инструменты, устанавливаемые на станках со сложной наладкой, должны иметь большой период стойкости.

Значения стойкости различных инструментов приведены в справочниках по режимам резания. Например, стойкость токарных резцов из быстрорежущих сталей составляет 45...60 мин, твердосплавных резцов – 45...90 мин, фрез цилиндрических – 180...240 мин и т. п.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Виды движения в металлорежущих станках.
- 3 Основные методы обработки резанием и их схемы.
- 4 Типы стружки, механизмы изнашивания инструмента, критерий затупления.
- 5 Нарост и наклеп, возникающие при обработке резанием, положительные и отрицательные стороны этих явлений. Меры борьбы с наростом.

Контрольные вопросы

- 1 Виды движения в металлорежущих станках.
- 2 Основные методы обработки резанием.
- 3 Процесс стружкообразования при резании металлов и сопутствующие ему явления (типы стружек, образование нароста, упрочнение поверхностного слоя).
- 4 Механизмы изнашивания резцов и стойкость инструмента.

2 Практическая работа № 2. Определение температурного интервала для горячей обработки давлением

Цель работы: определение температурного интервала обработки давлением сталей и цветных металлов; определение времени нагрева заготовок перед обработкой давлением.

Основные теоретические положения

Металлы перед горячей обработкой давлением нагревают. Нагрев осуществляют с целью повышения пластичности металла и снижения его сопротивления деформированию. При этом для каждого металла назначается максимально допустимая температура нагрева, называемая температурой начала обработки t_n (выше которой возникает явление перегрева). По мере обработки металла температура будет снижаться. Заканчивается обработка при некоторой минимально допустимой температуре конца обработки t_k (ниже которой возникает явление наклепа, сопровождаемого охрупчиванием). Промежуток температур между температурами начала и конца обработки называется температурным интервалом горячей обработки давлением.

Существует несколько способов определения температурного интервала.

1 Для сталей определение температурного интервала обработки давлением осуществляют с помощью диаграммы Fe–Fe₃C (рисунок 2.1), благодаря которой можно найти температурный интервал обработки сталей следующим образом: температура начала обработки t_n назначается на 100 °С...150 °С ниже линии солидуса АЕ, а температура конца обработки t_k – на 50 °С...70 °С выше линии GS – для сталей, содержащих углерода до 0,8 %, и выше линии SK – для сталей, содержащих углерода более 0,8 %. На рисунке 2.1 показано определение температурного интервала для стали 50, содержащей 0,5 % углерода: t_n – 1410 °С и t_k – 915 °С.

2 По формулам Губкина. Чистые металлы имеют постоянную температуру плавления, поэтому температуры начала t_n и конца t_k определяются в зависимости от температуры плавления металла:

$$t_n = 0,9 (t_{пл.} + 273) - 273;$$

$$t_k = 0,7 (t_{пл.} + 273) - 273.$$

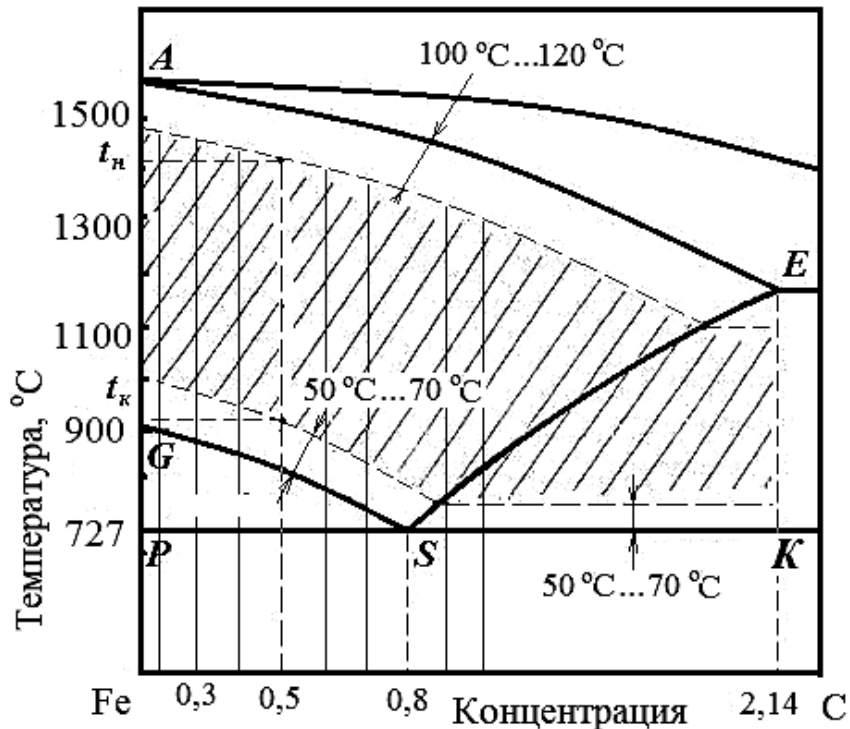


Рисунок 2.1 – Стальной участок диаграммы Fe–Fe₃C

3 Важным моментом при нагреве заготовок перед обработкой давлением является определение времени нагрева. Время нагрева может быть найдено по специальным таблицам, графикам или по формуле Доброхотова

$$T = \kappa v D \sqrt{D},$$

где T – время нагрева, ч;

D – диаметр или сторона заготовки, м;

v – коэффициент, учитывающий расположение заготовок на поду (для одной круглой заготовки $v = 1$);

κ – коэффициент, учитывающий теплопроводность стали в зависимости от содержания углерода (для низкоуглеродистых сталей $\kappa = 10$; для среднеуглеродистых – $\kappa = 15$; для высокоуглеродистых – $\kappa = 20$).

Задание

1 Из таблицы 2.1 выбрать цветной металл и по формулам Губкина определить температуры начала t_n и конца t_k его обработки давлением.

2 Выбрать вариант из таблицы 2.2 и с помощью диаграммы Fe–Fe₃C (см. рисунок 2.1) определить температурный интервал обработки давлением для двух сталей, т. е. указать t_n и t_k .

3 Из предложенных значений (80, 160, 250, 300, 360, 400, 490, 520, 580, 630, 700, 750 и 800 мм) выбрать размер диаметра заготовки.

4. Определить значение коэффициента κ для двух марок сталей и определить продолжительность их нагрева.

Таблица 2.1 – Температуры плавления цветных металлов

Номер варианта	Металл	Температура плавления, °С
1	Олово	232
2	Свинец	327
3	Алюминий	658
4	Медь	1083
5	Молибден	2623
6	Вольфрам	3380
7	Ванадий	1920
8	Иттрий	1528
9	Барий	727
10	Кобальт	1494
11	Цирконий	1852
12	Висмут	271

Таблица 2.2 – Варианты марок сталей

Номер варианта	Конструкционная сталь		Инструментальная сталь	
	Марка	Содержание углерода, %	Марка	Содержание углерода, %
1	20	0,20	У7	0,7
2	25	0,25	У11	1,1
3	30	0,30	У8	0,8
4	35	0,35	У9	0,9
5	40	0,40	У8	0,8
6	45	0,45	У10	1
7	50	0,50	У11	1,1
8	55	0,55	У12	1,2
9	60	0,60	У13	1,3
10	25	0,25	У9	0,9
11	40	0,40	У12	1,2
12	55	0,55	У7	0,7

Контрольные вопросы

1 С какой целью осуществляется нагрев металла перед обработкой давлением?

2 При какой температуре начинается и заканчивается горячая обработка давлением по диаграмме Fe–FeC?

3 При какой температуре начинается и заканчивается горячая обработка давлением для чистых металлов?

4 Факторы, влияющие на продолжительность нагрева в печи.

3 Практическая работа № 3. Влияние перегрева, пережога, обезуглероживания, холодной пластической деформации, рекристаллизации на изменение микроструктуры

Цель работы: изучение влияния перегрева, пережога, обезуглероживания, холодной пластической деформации и рекристаллизации на изменение микроструктуры стали.

Основные теоретические положения

1 **Перегрев.** При нагреве стали до температуры выше верхнего предела температурного интервала (1000 °С...1300 °С) происходит интенсивный рост зерна металла (рисунок 3.1).

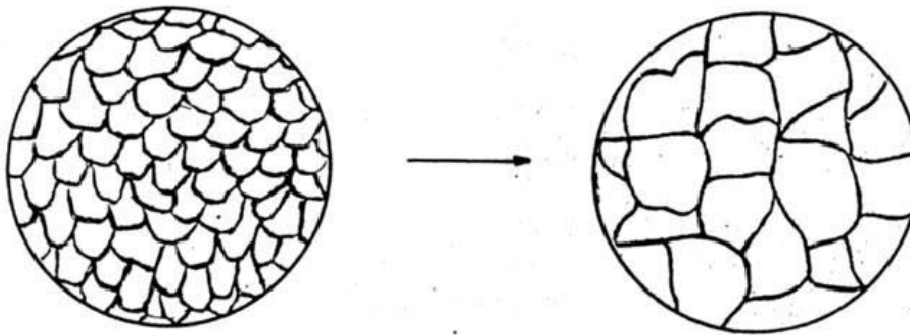


Рисунок 3.1 – Влияние перегрева на микроструктуру металла

Согласно второму закону термодинамики, любая система стремится к снижению количества свободной энергии. У группы мелких зерен площадь поверхности значительно больше, чем у одного крупного зерна, занимающего тот же объем. Термодинамически выгодно иметь меньшую площадь поверхности, поэтому в условиях, обеспечивающих диффузию (нагрев), происходит коагуляция группы зерен в одно большое зерно.

Перегретый металл после охлаждения характеризуется крупнозернистой структурой с резкими прямолинейными границами между структурными составляющими, имеет пониженные механические свойства, особенно ударную вязкость. Перегрев может иметь место и при более низкой температуре, если металл нагревается чрезмерно долго. Склонность сталей к перегреву зависит от их химического состава и существенно снижается в случае введения в сталь небольших количеств ванадия, титана, алюминия, бора, образующих тугоплавкие соединения, препятствующие диффузионным процессам.

Перегрев является браком термической обработки. Структуру перегретой стали можно исправить рекристаллизационным отжигом.

2 **Пережог.** При нагреве стали до температуры, значительно превышающей верхний предел температурного интервала обработки давлением, близкой к температуре плавления, имеет место пережог. При пережоге, наряду с ростом

зерна, происходит окисление границ, связанное с увеличением интенсивности диффузии кислорода вдоль границ зерен, или даже частичное оплавление (рисунок 3.2). В результате окисления границ зерен связь между зернами ослабевает, металл теряет пластичность и становится хрупким. Такой материал совершенно непригоден для использования. Пережог является неисправимым браком нагрева и металл приходится отдавать на переплавку.

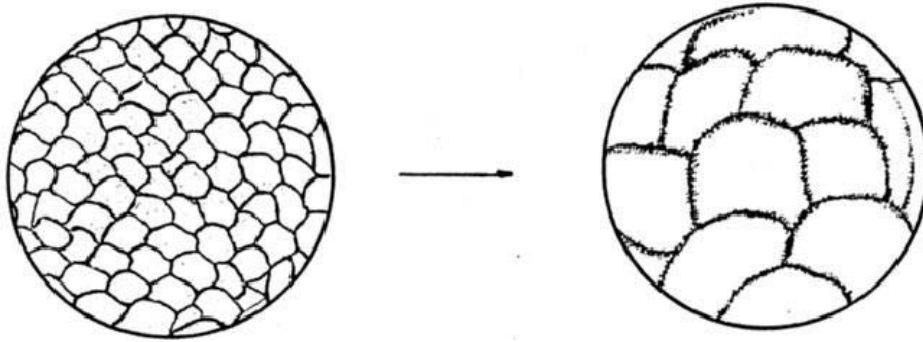


Рисунок 3.2 – Влияние пережога на микроструктуру металла

3 Обезуглероживание. При нагреве стали в присутствии кислорода происходит обезуглероживание, сущность которого состоит в выгорании углерода в поверхностном слое на глубину 1,5...2 мм. Химический состав поверхностного слоя при этом изменяется в сторону уменьшения содержания углерода, а вместе с изменением химического состава изменяются структура и свойства поверхностного слоя (рисунок 3.3). Обезуглероживание резко снижает прочностные свойства конструкционной стали. Кроме того, обезуглероживание поверхности может вызвать образование закалочных трещин и коробление детали.

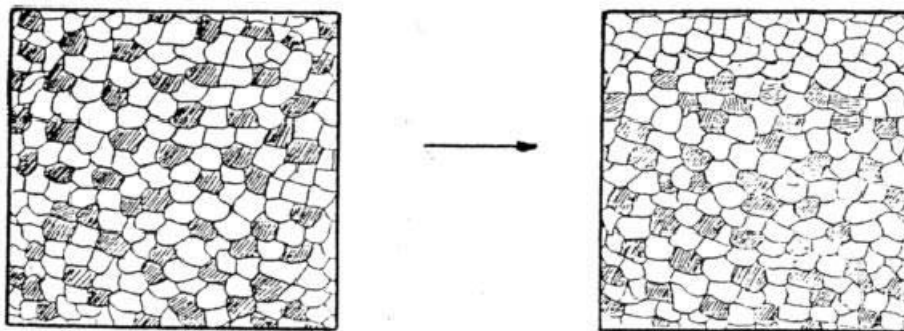


Рисунок 3.3 – Влияние обезуглероживания на микроструктуру металла

Для предохранения деталей от окисления, а следовательно, и от обезуглероживания при термической обработке применяют электронагрев, а также безокислительные (защитные) газы, которые вводят в рабочее пространство печи.

4 Пластическое холодное деформирование. При пластическом холодном деформировании металла происходит изменение микроструктуры. Зерна металла становятся вытянутыми в направлении перемещения металла при деформации (рисунок 3.4). При деформировании металлов повышается плотность

дефектов кристаллического строения (плотность дислокаций) и возрастает сопротивление перемещению слоев металла. С увеличением степени деформации пределы прочности и текучести, а также твердость увеличиваются, а пластичность (относительное удлинение, относительное сужение) и вязкость (ударная вязкость) снижаются. В случае больших степеней пластической деформации в металле могут появляться трещины. Явление упрочнения и охрупчивания металлов при пластической деформации называется наклепом.

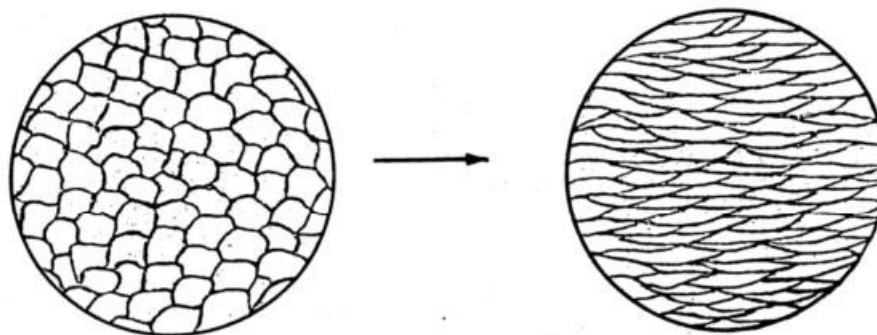


Рисунок 3.4 – Влияние холодной деформации на микроструктуру металла

5 Рекристаллизация. Если наклепанный металл, имеющий вытянутую микроструктуру, нагреть до температуры $\geq 0,4 T$ (абсолютной температуры плавления), то образуются новые равноосные зерна и свойства металла возвращаются к их исходным значениям до деформации (рисунок 3.5). Это связано с тем, что деформированный металл стремится освободиться от искажений кристаллической решетки и запаса накопленной энергии (вытянутые зерна имеют большую поверхностную энергию) и перейти в устойчивое состояние. Но при комнатной температуре диффузионная подвижность атомов недостаточна для упорядочения строения кристаллической решетки. При повышении температуры увеличивается подвижность атомов и происходят процессы, возвращающие металл в устойчивое состояние.

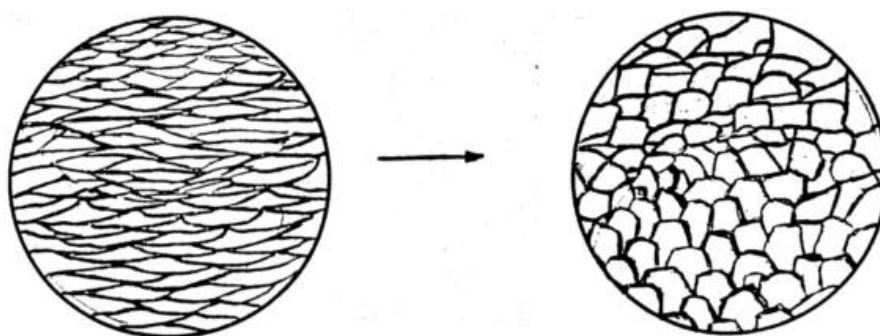


Рисунок 3.5 – Влияние рекристаллизации на микроструктуру деформированного металла

Процесс образования при нагреве новых центров кристаллизации и новых равноосных зерен в деформированном металле, сопровождающийся уменьшением прочности, увеличением пластичности и восстановлением других свойств,

называется рекристаллизацией. Рекристаллизацию проводят, к примеру, для наклепанных заготовок перед обработкой резанием.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Рисунки микроструктур, описание происходящих процессов.
- 3 Выводы о влиянии перегрева, холодного деформирования и рекристаллизации на изменение микроструктуры стали.

Контрольные вопросы

- 1 Что происходит при нагревании стали до температуры выше верхнего предела температурного интервала обработки давлением?
- 2 Как влияют перегрев, пережог, пластическая деформация, рекристаллизация на механические свойства стали?
- 3 Какой дефект является неустраняемым?
- 4 Чем объясняется упрочнение металла при наклепе?
- 5 Как устраняется наклеп?

4 Практическая работа № 4. Получение заготовок и изделий методом прессования иковки

Цель работы: изучение технологии получения изделий методом прессования иковки.

4.1 Прессование

Прессование является одним из высокопроизводительных и экономичных способов обработки металлов и сплавов, которым можно получать сплошные и полые профили. Оно заключается в выдавливании металла из замкнутого объема через отверстие в матрице. Исходной заготовкой для прессования является слиток или круглый прокат. Получаемый профиль прессованного изделия соответствует сечению этого отверстия. Данным способом изготавливают заготовки в виде прутков диаметром 5...250 мм, проволоки диаметром 5...10 мм, трубы с наружным диаметром 20...400 мм и толщиной стенки 1,5...12 мм, а также различные профили сложного сечения (рисунок 4.1).

Прессование металла происходит в условиях всестороннего неравномерного сжатия. При такой схеме деформирования металл наиболее пластичен, поэтому прессованием можно обрабатывать как пластичные, так и малопластичные сплавы: медные, алюминиевые, магниевые, титановые, стали и др. Коэффициент, характеризующий степень деформации и определяемый как отно-

шение площади сечения заготовки к площади сечения прессуемого профиля, при этом составляет 10–50.

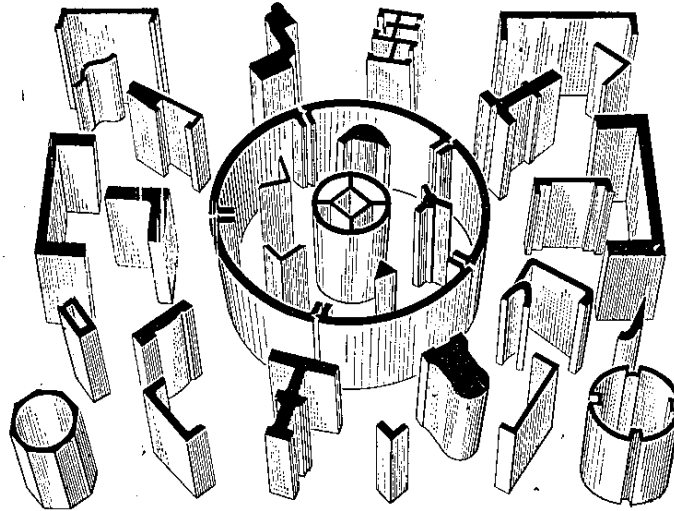
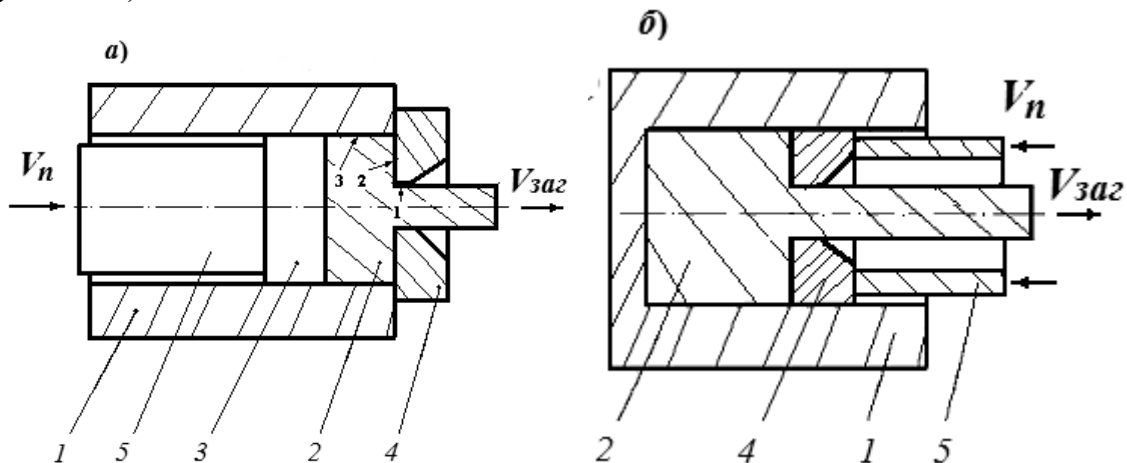


Рисунок 4.1 – Прессованные профили

Методы прессования. Различают прямое и обратное прессование (рисунок 4.2).



a – прямое; *б* – обратное

Рисунок 4.2 – Основные схемы прессования

При **прямом прессовании** (см. рисунок 4.2, *a*) технологическая оснастка с плоской матрицей состоит из трех участков: цилиндрического калибрующего пояса *1*; зоны деформации *2*; зоны контейнера *3*, являющейся цилиндрическим каналом для размещения исходной заготовки. Усилие на пуансоне *5* складывается из совокупности сил сопротивления движению материала на указанных участках. При данной схеме направление выхода металла через отверстие матрицы *4* совпадает с направлением движения пуансона, давление которого на заготовку *2* передается через пресс-шайбу *3*. Часть заготовки, которая остается в контейнере *1*, называют пресс-остатком. Данный метод характеризуется более

высокими усилиями при прессовании, относительно простой оснасткой. Масса пресс-остатка при данной схеме прессования составляет обычно 8 %...12 % от массы слитка. Схема течения слоев металла при прямом прессовании приведена на рисунке 4.3.

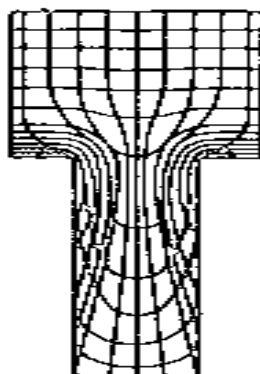


Рисунок 4.3 – Схема течения слоев металла при прямом прессовании

При *обратном прессовании* (см. рисунок 4.2, б) матрица 4 устанавливается в конце полого пуансона 5 и металл выдавливается в направлении, обратном перемещению пуансона. Этот метод характеризуется меньшими отходами (масса пресс-остатка в 1,5 раза меньше) и меньшим усилием прессования (из-за отсутствия трения заготовки о стенки контейнера усилие снижается на 30 %). Оборудованием для прессования служат гидравлические прессы.

К достоинствам прессования относятся: высокая производительность процесса; максимальная пластичность материала из-за реализации схемы всестороннего сжатия; высокая гибкость процесса (легкость переналадки на изготовление другого профиля), позволяющая изготавливать даже малые серии профилей; высокая точность размеров.

К недостаткам процесса можно отнести: значительные отходы металла в пресс-остаток; низкий срок службы оснастки, применяемой для прессования, обусловленный тем, что контейнеры и матрицы находятся в тяжелых температурно-силовых условиях.

4.2 Ковка

Ковка – процесс деформирования нагретой заготовки между верхним и нижним бойками молота с помощью универсального инструмента. Ковка может быть машинной и ручной. Ручная ковка применяется в основном в ремонтном деле для мелких работ. Кованые заготовки для последующей обработки резанием называются поковками (массой от 0,1 кг до 300 т). Самую сложную поковку можно получить, выполняя в определенной последовательности основные операции ковки (рисунок 4.4): протяжку, осадку, прошивку, гибку, закручивание, рубку.

Протяжку (вытяжку) применяют для увеличения длины заготовки и уменьшения ее поперечного сечения (см. рисунок 4.4, а). Протяжку можно вы-

полнять плоскими и фигурными бойками. Ковка в фигурных бойках (см. рисунок 4.4, б) позволяет избежать ковочных трещин при ковке низкопластичных сталей и получить более точные поковки.

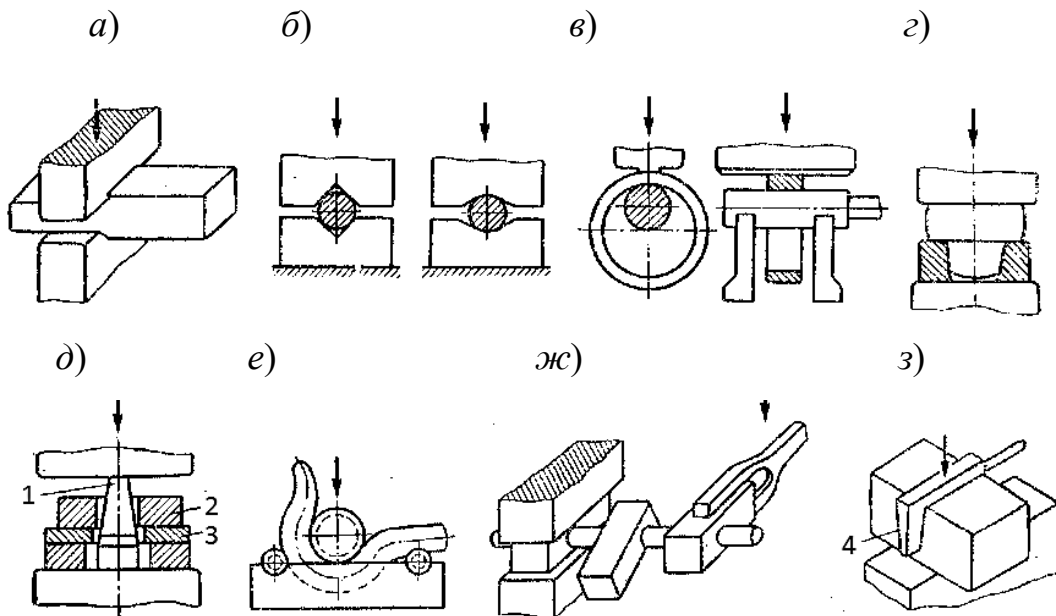


Рисунок 4.4 – Основные операцииковки

Разновидности протяжки: **разгонка** (расширение части заготовки, см. рисунок 4.4, а); **протяжка полого цилиндра** на оправке, применяемая при ковке барабанов, труб; **раскатка** колец на цилиндрической оправке для увеличения диаметра (см. рисунок 4.4, в).

Осадка – увеличение поперечного сечения исходной заготовки за счет уменьшения ее высоты. Местное утолщение заготовки называется **высадкой** (см. рисунок 4.4, з).

Прошивка – получение в заготовке сквозного отверстия или углубления. Для выполнения этой операции применяют сплошные и пустотелые инструменты (для диаметров 400...900 мм) – **прошивки** 1 (см. рисунок 4.4, д). Прошивку сквозных отверстий в тонких поковках 2 производят с подкладными кольцами 3 (см. рисунок 4.4, д).

Гибка применяется для изготовления крюков, коленчатых валов, скоб и аналогичных изделий. При гибке могут использоваться подкладки и специальные приспособления (см. рисунок 4.4, е).

Закручивание – поворот одной части заготовки относительно другой на заданный угол. Применяется при изготовлении коленвалов, сверл и т. п. При закручивании используют ключи, воротки, лебедки (см. рисунок 4.4, ж).

Рубка применяется для разделения заготовки на части, отделения излишка металла и с целью образования в поковке уступов, заплечиков (**надрубка**). Инструментом для рубки служат прямые и фигурные топоры 4 и зубила (см. рисунок 4.4, з).

Чертеж поковки (рисунок 4.5, а) составляется на основании чертежа готовой детали с учетом допусков на поковку, припусков на механическую обработку и напусков. Для деталей сложной формы (с фланцами, уступами, выемками) форма поковки упрощается. Увеличенный в таком случае припуск называется напуском. Выбор операцийковки зависит от формы поковки и технических требований на нее. На рисунке 4.5 показана схема технологического процессаковки рычага с вилкой (см. рисунок 4.5, б), включающая операции протяжки (см. рисунок 4.5, г–з), надрубки (см. рисунок 4.5, в, з, ж) и гибки (см. рисунок 4.5, ж).

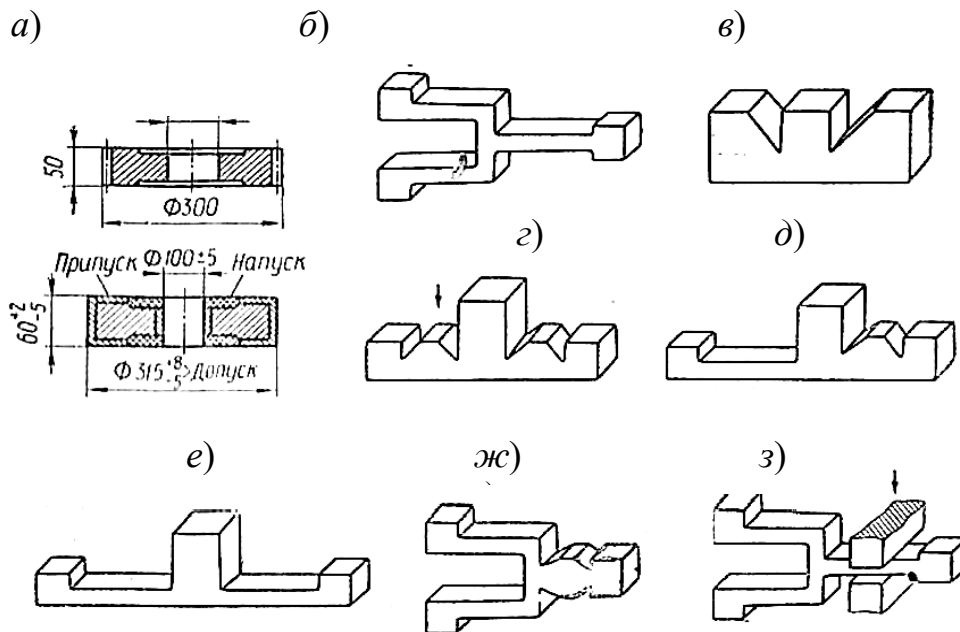


Рисунок 4.5 – Чертеж поковки (а) и схемы процессаковки рычага с вилкой (б–з)

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Основные теоретические положения процесса прессования (схема прямого и обратного прессования, состав технологической оснастки, преимущества и недостатки прессования).
- 3 Схема течения слоев материала при прямом прессовании.
- 4 Основные операцииковки и их разновидности.
- 5 Схема процессаковки рычага с вилкой.

Контрольные вопросы

- 1 Объясните сущность, преимущества и недостатки прямого и обратного прессования.
- 2 Укажите состав технологической оснастки для прессования.
- 3 Перечислите основные операцииковки и их разновидности.

4 Перечислите основные операцииковки, необходимые для получения топора (или крюка) из призматической заготовки.

5 Практическая работа № 5. Анализ диаграмм состояния двойных сплавов

Цель работы: изучение основных типов диаграмм состояния двойных систем; приобретение практических навыков изучения превращений, протекающих при кристаллизации сплавов; анализ полученных данных и определение возможности их использования на практике.

По диаграмме состояния сплава (ДСС) можно представить полную картину образования сплава, его переход из жидкого состояния в твердое, процессы перекристаллизации в твердом состоянии; оценить технологические свойства сплава. По ней можно определить, какую термическую обработку может воспринимать сплав, и какие температурные режимы будут рациональными.

ДСС (рисунок 5.1) показывает графически, как с изменением химического состава и температуры изменяются структура, количество и состав фаз, находящихся в равновесии. **Фаза** – это однородная часть системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую все свойства изменяются скачком.

Любая точка ДСС показывает:

- химический состав сплава;
- температуру сплава;
- фазовый и структурный состав сплава.

В качестве примера на рисунке 5.1 приведена ДСС для металлов *A* и *B*. По оси ординат располагается температура, по оси абсцисс – концентрация компонента *B*. Из диаграммы видно, что выше заштрихованных областей (выше линии ликвидуса) сплавы находятся в жидком состоянии (от лат. Liquidus – жидкий); ниже заштрихованных областей (ниже линии солидуса) сплавы находятся в твердом состоянии (от лат. Solidus – твердый). В заштрихованных областях присутствуют две фазы (жидкая и кристаллы твердой фазы).

Два металла *A* и *B* (компоненты) могут образовывать в рассматриваемой системе фазы, указанные на рисунке 5.1:

- химическое соединение определенного состава, которое может быть выражено формулой A_mB_n , где *m* и *n* простые целые числа, например A_2B ;
- твердые растворы α , β , γ , ..., ω , например α -твердый раствор на основе компонента *A*;
- механические смеси фаз.

Предельная растворимость компонента *B* в компоненте *A* определяется вертикальной штриховой линией.

Из диаграммы видно, что с понижением температуры растворимость компонента *B* в α -твердом растворе уменьшается.

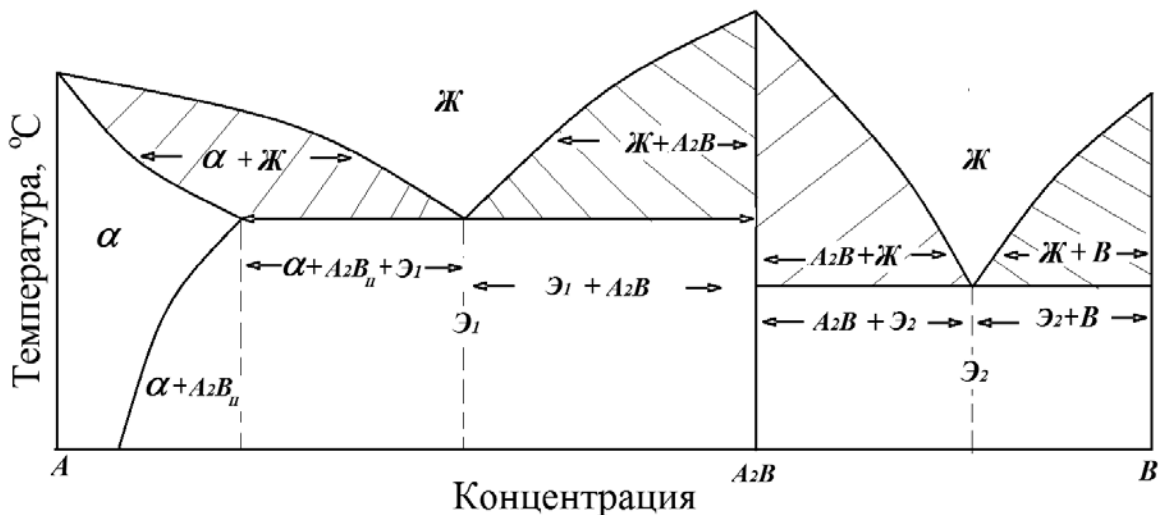


Рисунок 5.1 – Диаграмма состояния для компонентов А и В

На горизонтальных линиях происходят **эвтектические превращения**: жидкий раствор превращается в механическую смесь – эвтектику (от греч. εὐτηκτός – легкоплавкий). Например, первая эвтектика \mathcal{E}_1 состоит из кристаллов тех фаз, которые находятся на концах горизонтальной кривой (кристаллов α -твердого раствора и кристаллов химического соединения A_2B).

Эвтектические сплавы являются более легкоплавкими, чем все остальные сплавы и обладают **наилучшими литейными свойствами**, но очень низкой пластичностью.

В отличие от них **однофазные твердые растворы** всегда отличаются **высокой пластичностью** (что позволяет производить обработку давлением без нагрева) и низкими литейными свойствами. В технологическом смысле сплавы с эвтектикой и однофазными твердыми растворами являются антиподами.

Алгоритм анализа диаграмм состояния сплавов

1 Под **наклонным** участком линии солидус находится только одна фаза – α -твердый раствор (рисунок 5.2).

2 Если имеется **эвтектика**, необходимо из самой низкотемпературной точки опустить перпендикуляр и указать состав эвтектики (ее состав смотри на концах прямой эвтектического превращения, смесь зерен α и В).

3 Под **горизонтальной прямой** линии солидус находится механическая смесь фаз, состав этой смеси смотри на «боковых стенках», ограничивающих эту область (под левым участком прямой – смесь зерен $\alpha + В_{II} + \mathcal{E}$, под правым участком прямой – смесь зерен $\mathcal{E} + В$).

4 Если имеется **линия понижения растворимости**, то необходимо из ее вершины опустить перпендикуляр и указать состав выделяющейся **вторичной фазы**. Состав появляющейся под линией понижения растворимости вторичной фазы смотри на противоположном конце прямой эвтектического превращения (из пересыщенного α -твердого раствора выделяются кристаллы $В_{II}$).

Вторичная фаза, в отличие от первичной, образуется в пересыщенном **твердом растворе** (а не жидком) и поэтому имеет высокую степень дисперсности (ее размеры могут быть в 1000 раз меньше размеров зерен твердого раствора). Появляющаяся в объеме зерен твердого раствора высокодисперсная вторичная фаза является препятствием для скольжения слоев металла и приводит к упрочнению сплава в 3–4 раза.

Явление упрочнения сплава, происходящее в процессе распада пересыщенного твердого раствора называется **старением**. Оно характерно для упрочняемых термообработкой алюминиевых, медных и никелевых сплавов (Д1, АК8, В95, Бр.Б2, Бр.Х и т. д.).

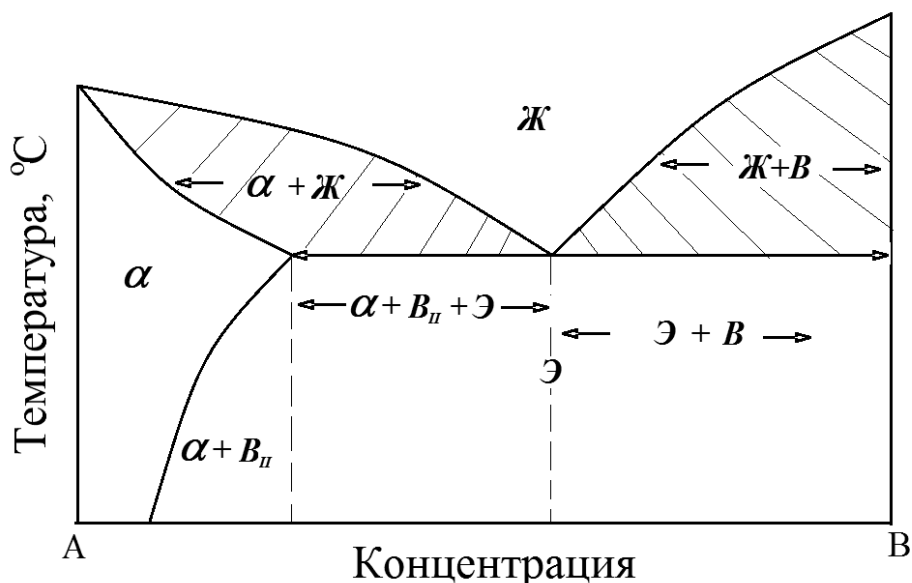


Рисунок 5.2 – Пример анализа диаграммы состояния сплава

Исходя из диаграмм состояния можно определить технологические свойства сплавов:

- сплавы, состоящие из однофазных твердых растворов, можно подвергать **холодной штамповке** (вследствие высокой пластичности);
- сплавы, содержащие твердый раствор и вторичную фазу, можно подвергать **горячей штамповке** (при нагреве вторичная фаза растворяется, и сплав становится высокопластичным однофазным твердым раствором);
- сплавы, содержащие **твердый раствор и вторичную фазу**, можно подвергать **закалке** и **старению** (термообработке, повышающей прочностные свойства в 3–4 раза);
- сплавы, включающие в себя **эвтектику**, используют только в качестве литейных («то, что льется, то не гнется, и наоборот»).

Задание

- 1 Дать определение понятию «фаза», записать характерные свойства эвтектики и однофазных твердых растворов.
- 2 Начертить заданную преподавателем диаграмму состояния (рисунок 5.3, варианты 1–18).

3 Записать алгоритм анализа диаграмм состояния сплавов.

4 Провести фазовый анализ всех областей диаграммы. Во всех областях диаграммы указать структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия.

5 Исходя из указанной диаграммы, определить характерные технологические свойства сплавов разной концентрации.

Контрольные вопросы

1 Какие сплавы обладают высокими литейными свойствами, а какие высокой пластичностью?

2 Указать механизм повышения прочности сплавов, подвергаемых старению.

3 Провести фазовый анализ в любой из предлагаемых диаграмм состояния.

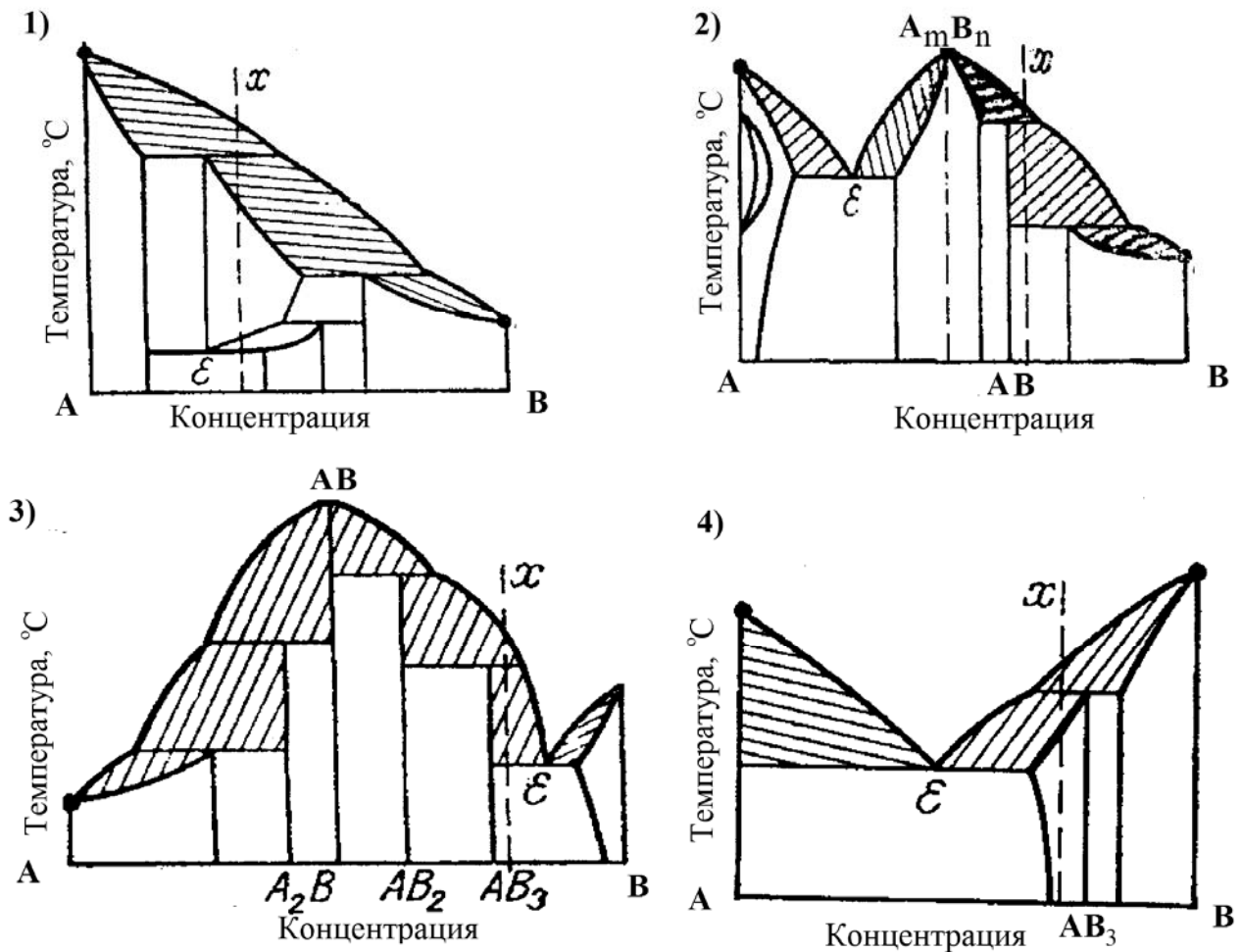
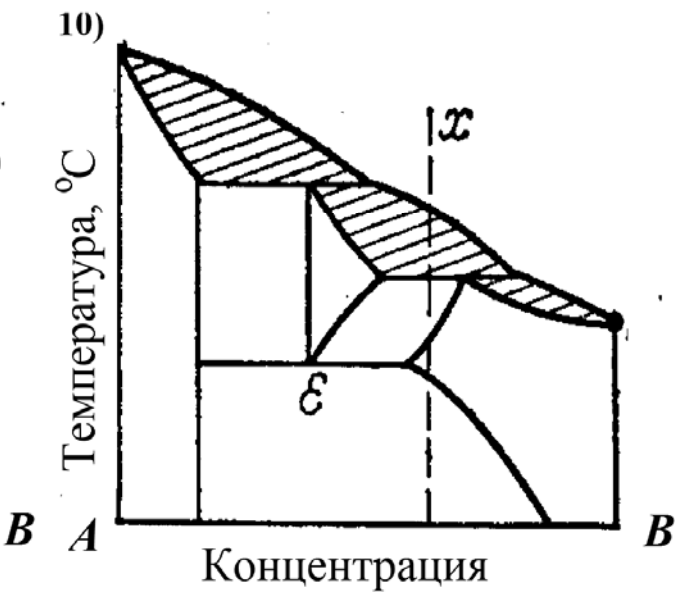
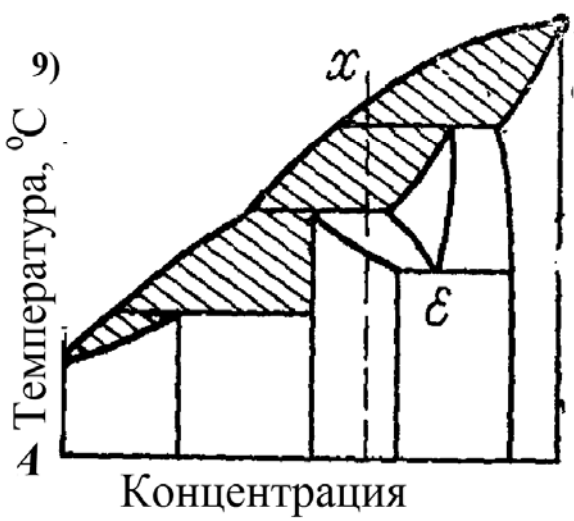
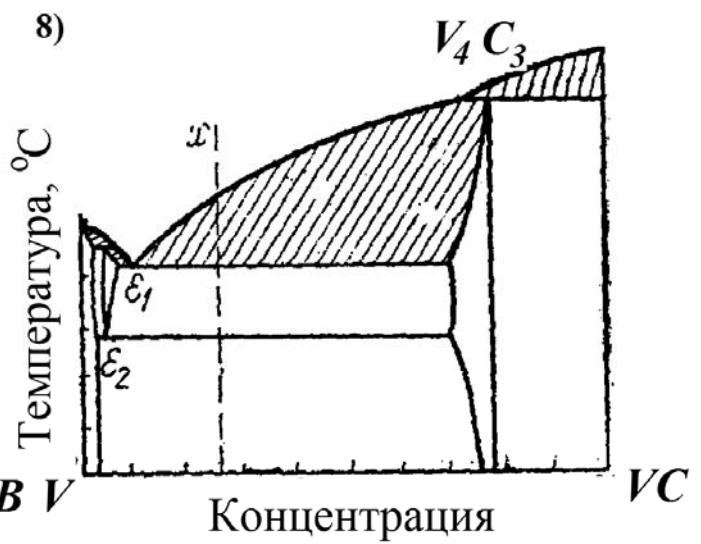
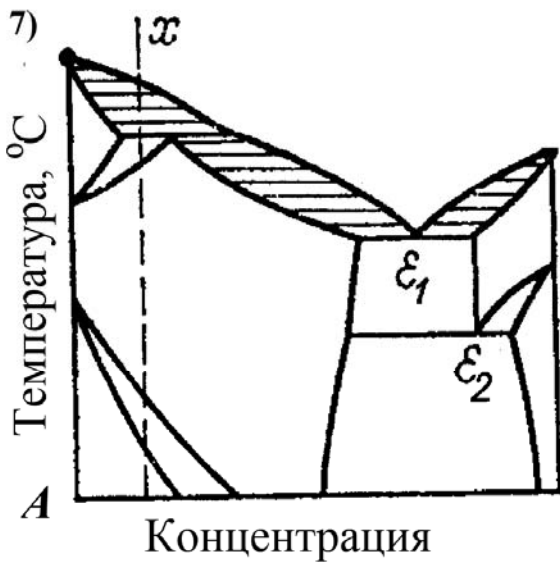
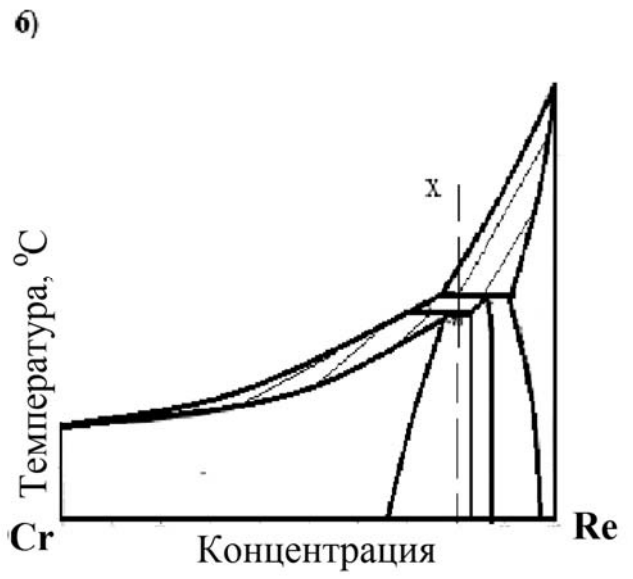
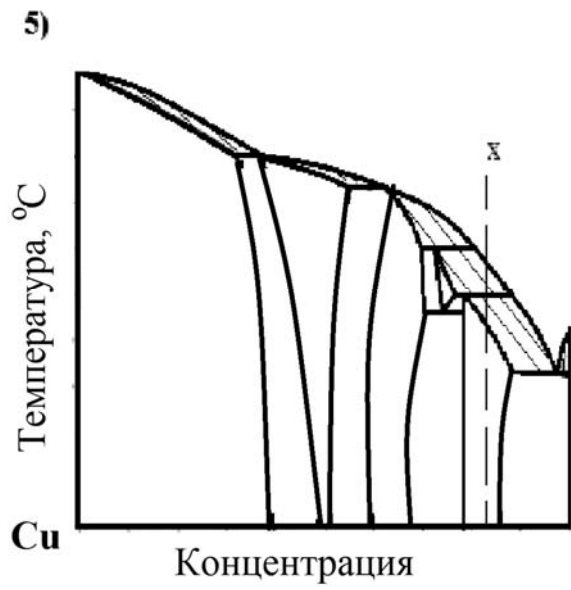
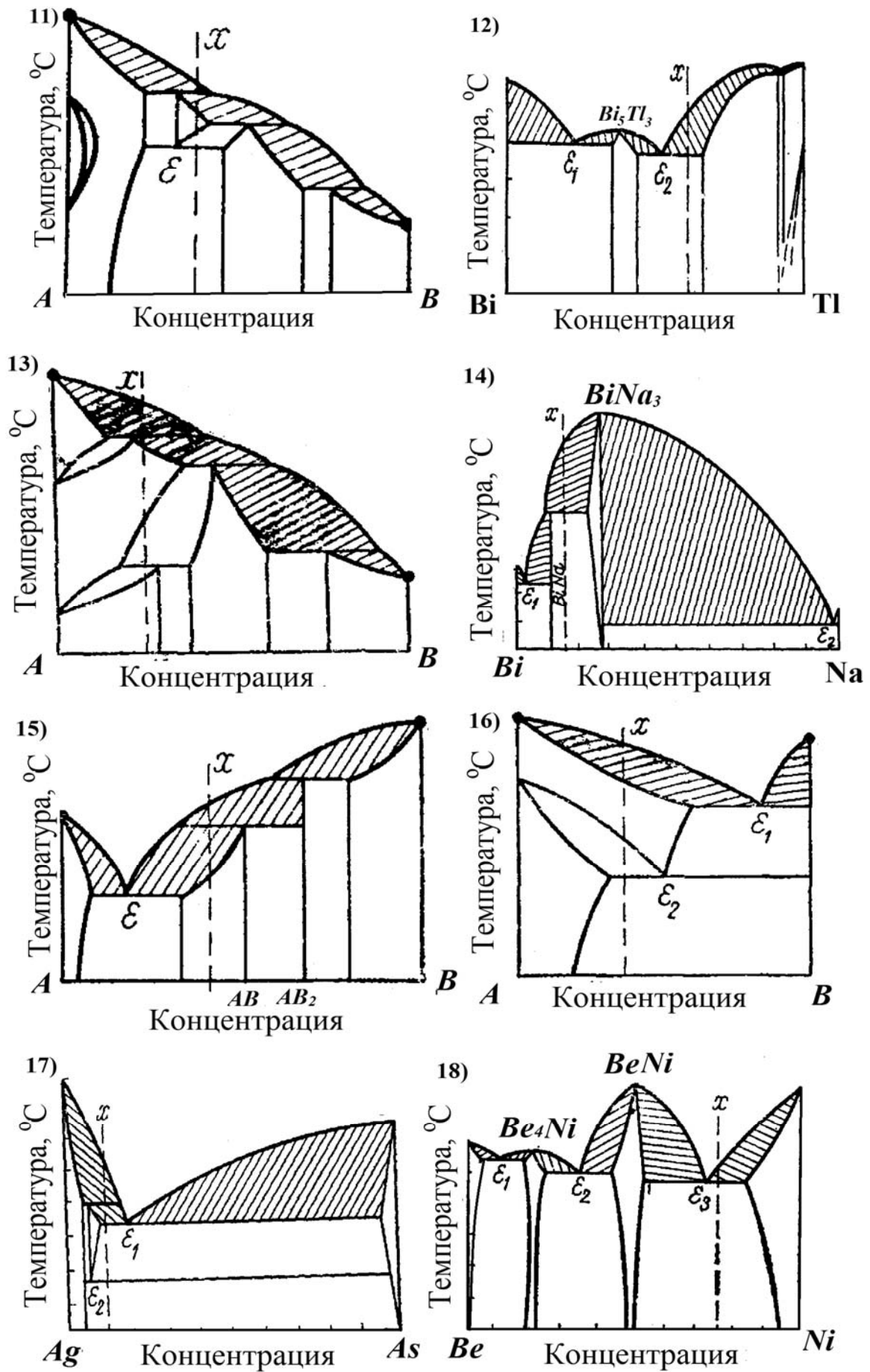


Рисунок 5.3 – Варианты диаграмм состояния сплавов



Продолжение рисунка 5.3



Окончание рисунка 5.3

6 Практическая работа № 6. Макроскопический метод исследования металлов и сплавов

Цель работы: ознакомление с методикой проведения макроанализа, изучение макрошлифов, поверхностей изломов, приобретение навыков зарисовки макроструктур; выявление дефектов и причин разрушения металлов.

Изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом, а также при помощи лупы микроскопа с увеличением 40 крат, носит название макроанализа. Макроскопическому исследованию могут подвергаться различные объекты: поверхности отливок и поковок; изломы изделий; макрошлифы не травленные или с выявленной специальными методами структурой.

Макроанализ дает представление об общем строении металла, позволяет оценить его качество после различных видов обработки: литья, обработки давлением и пр. С его помощью можно определить:

- вид излома – вязкий, хрупкий, нафталинистый, усталостный и др.;
- нарушения сплошности металла – усадочная рыхлость, центральная пористость, свищи, дефекты сварки (непровары, газовые пузыри) и др.;
- различные поверхностные дефекты заготовок;
- дендритное строение, зону транскристаллизации, размеры и ориентацию зерен в металле;
- химическую неоднородность литого металла (ликвацию) и присутствие в нем грубых инородных включений, волокнистую структуру деформированного металла;
- неоднородность металла, вызванную термической или химико-термической обработкой и др.

Макроанализ излома металла. По виду излома устанавливают размеры зерна, характер и причины разрушения изделия, неоднородность структуры, обусловленную термической и химико-термической обработкой (толщину цементованного, закаленного, обезуглероженного слоя) и другие особенности строения. Существует связь между наблюдаемой на изломе величиной зерна и свойствами металла. Особенно резко величина зерна влияет на сопротивление металла динамическим нагрузкам, на его вязкость. Чем крупнее зерно, тем сплав становится более хрупким. Хрупкость металла может явиться причиной разрушения деталей машин в процессе их эксплуатации.

Величина зерна зависит от многих факторов: химического состава сплава, условий его кристаллизации, условий последующей пластической деформации, термической обработки.

При ускоренном охлаждении жидкого металла или при введении в жидкий металл специальных присадок-модификаторов, структура получается мелкозернистой.

Однако при последующем высокотемпературном и длительном нагреве металла зерна могут увеличиваться до значительных размеров. Причиной такого роста зерен является стремление уменьшить свою поверхностную энергию,

при этом происходит слияние отдельных мелких зерен в более крупные с меньшей площадью поверхности.

Пластическая деформация (прокатка, ковка, штамповка), термическая обработка (отжиг, нормализация, закалка) могут вернуть сплаву мелкозернистое строение, измельчить крупное зерно.

Хрупкий излом имеет кристаллическое строение. В нем обычно можно видеть форму и размер зерен металла. Такой излом проходит или по границам зерен (межкристаллический) или по зернам (транскристаллический). Его разновидностями являются нафталинистый, камневидный изломы (рисунки 6.1 и 6.2). Хрупкий излом характеризуется четко выраженными границами зёрен, без следов их пластической деформации. Такой металл может разрушиться даже под действием небольших внешних сил.

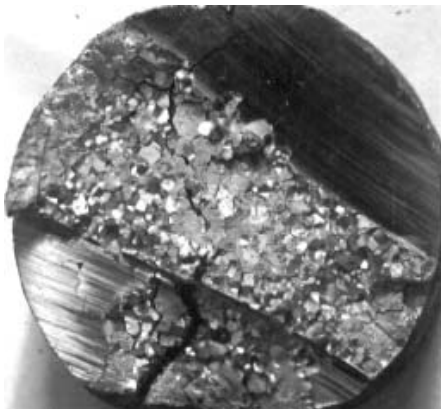


Рисунок 6.1 – Нафталинистый излом

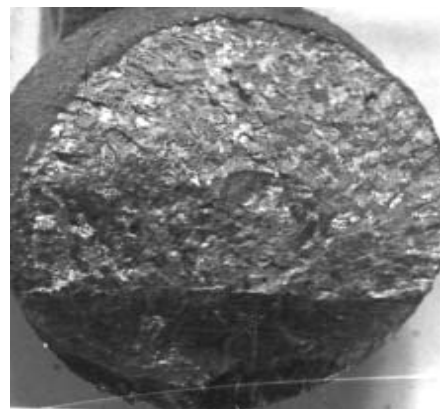


Рисунок 6.2 – Камневидный излом

Вязкий излом имеет волокнистое строение. Из-за значительной степени пластической деформации форма и размеры зерен не различаются (рисунок 6.3). Характер излома, полученного в результате разрушения деталей машин, может указать, произошло ли их разрушение мгновенно, или процесс разрушения развивался постепенно (часы, сутки, месяцы).

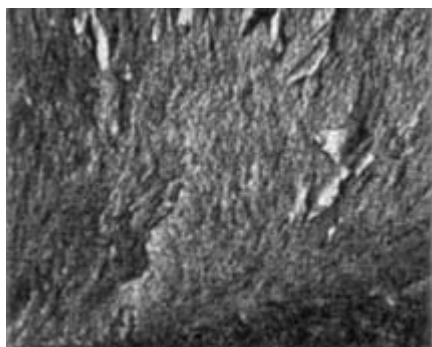


Рисунок 6.3 – Внешний вид вязкого излома

При постепенном развитии процесса разрушения образуется характерный излом, называемый *усталостным*. Процесс разрушения в этом случае обычно

начинается у поверхности детали и постепенно распространяется вглубь, давая сглаженную поверхность в местах зарождения трещин.

Сглаженная поверхность получается в результате длительного контакта (трения) двух поверхностей образовавшейся микротрещины. Усталостная зона начинается от так называемого очага разрушения, каким может выступать микронесплошность, шлаковое включение и пр.

Когда сечение детали значительно ослабевает, в результате роста протяженности трещины, происходит мгновенное разрушение детали с кристаллическим строением второй части излома. Таким образом, усталостный излом имеет две зоны разрушения: усталостную с мелкозернистым, фарфоровидным, часто ступенчато-слоистым строением, с отдельными участками блестящей гладкой поверхности и зону обычного разрушения.

Если деталь работала без перегрузок, а металл обладал высокой пластичностью, то зона медленного разрушения значительно больше зоны мгновенного разрушения, И наоборот, если работа детали сопровождалась временными перегрузками, или металл имел высокую твердость и низкую вязкость, то зона медленного разрушения занимает малую площадь в сечении излома, а зона мгновенного излома – большую площадь.

Макроанализ шлифов. Образцы (*темплеты*) для макроанализа вырезают из наиболее характерных участков заготовок. Например, при исследовании разрушенных изделий макрошлиф должен выявлять те дефекты, которые явились причиной разрушения. Направление вырезки образцов выбирается в зависимости от целей анализа. При изучении строения слитка обязателен продольный осевой разрез. Макроструктуру катаных заготовок, как правило, изучают в поперечном сечении, кованных – в поперечном или продольном сечениях и т. д.

Обработка образцов заключается в шлифовании их с охлаждением на станках или с помощью шлифовальной бумаги. Со шлифованной поверхности удаляются следы грязи, масла и т. д. Ряд дефектов макроструктуры уже может быть рассмотрен на полученном макрошлифе, но часто требуются дополнительные меры для их выявления. Они делятся на три основные группы:

1) метод глубокого травления, позволяющий выявить трещины различного типа, обезуглероженный или цементованный слой, дендритную структуру и т. д.;

2) метод поверхностного травления, позволяющий выявить отдельные детали структуры (размеры зерна, направление роста кристаллов, неоднородность структуры), макроструктуры сварного шва и др. В состав реактивов входят различные кислоты, соли и другие вещества;

3) метод отпечатков, позволяющий получить изображение макроструктуры на фотобумаге или фотопленке. При этом материал с нанесённым на него реактивом прижимается к поверхности шлифа, реактив реагирует с определенными структурными составляющими, в результате чего происходит характерное окрашивание определенных участков. Этим методом определяют в сталях количество, размер и форму зернистых включений, распределение оксидных включений, фосфора.

Дефекты макроструктуры.

Центральная пористость (усадочная) в непрерывно-литой заготовке (рисунок 6.4).

Пористость по оси – мелкие пустоты, не заварившиеся при горячей обработке давлением слитка (рисунок 6.5). Развитие дефекта определяется количеством и размерами отдельных пор.

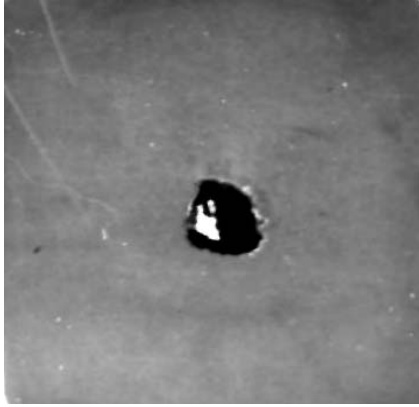


Рисунок 6.4 – Единичная пора



Рисунок 6.5 – Пористость по оси

Причины возникновения: не обеспечивается достаточное поступление жидкого металла в объемы, где заканчивается затвердевание.

Предупреждение: оптимальная температура металла при разливке, соблюдение скорости разливки.

Примечание – Если усадочные поры не вскрыты, то при горячей деформации они завариваются.

Усадочная раковина – полость, возникающая в прибыльной части слитка вследствие усадки стали (см. на стенде образцы 1 и 2). При неполном удалении прибыли остатки усадочной раковины переходят в прокат.

Пористость по сечению – мелкие травящиеся точки, расположенные по всему сечению макрошлифа.

Причины возникновения: недостаточное раскисление стали, при быстром затвердевании из расплава не полностью удалились газы.

Пустоты различной величины и формы, чаще одиночные, образуются вследствие раскрытия и неполной заварки термических трещин и называются скворечниками.

Ковочные трещины. Неверный режимковки может вызвать появление ковочных трещин, которые появляются внутри заготовки около осевой зоны в виде трещин по диагоналям (ковочного креста) либо нескольких трещин, направленных от оси заготовки в стороны.

Рванины – раскрытые разрывы, образовавшиеся вследствие пониженной пластичности металла, расположенные поперек направления деформации (см. образец 3). Причиной понижения пластичности может являться перегрев металла или слишком низкая температура заготовки при горячей обработке давлением. Дефекты имеют вид разветвленных разрывов с окисленной поверхностью.

Осевые интеркристаллитные трещины в отличие от ковочных более прямолинейные и широкие. В изломе межкристаллитные трещины имеют вид грубых окисленных расслоений. Вследствие чрезмерного повышения температуры, вызывающего диффузию кислорода вдоль границ зерен, возникает явление пережога. На темплете пережог выглядит в виде сильно разветвленных трещин, часто расположенных в виде сетки (рисунок 6.6). В процессе горячей пластической деформации при пережоге может произойти разрушение по границам зерен. Такой вид дефекта называется *черновиной*, которая на макрошлифе выявляется в виде рыхлой, сильно травящейся зоны.

Внутренние трещины от напряжений обусловлены чрезмерно высокими внутренними напряжениями, возникающими в процессе формирования заготовки, и пониженной прочностью и пластичностью стали в различных температурных интервалах. Степень развития трещин зависит от величины напряжений, а также от содержания в металле вредных примесей.

Диагональные трещины в отливках (рисунок 6.7) возникают вследствие неравномерного охлаждения слитка в кристаллизаторе. Трещины, расположенные перпендикулярно к поверхности заготовки, возникают из-за резкого охлаждения, из-за высоких напряжений, появляющихся при деформации поверхности заготовки. Трещины, не выходящие на поверхность заготовки, в дальнейшем завариваются при горячей деформации, т. к. границы их не окислены.

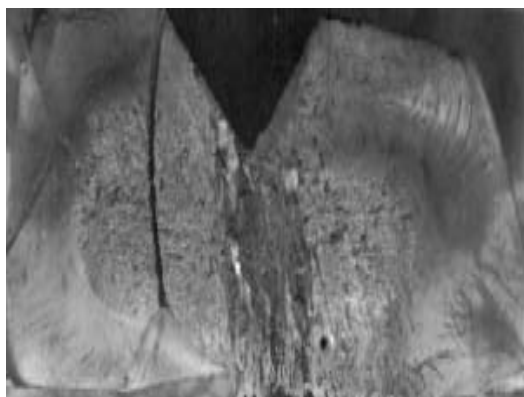


Рисунок 6.6 – Пережог

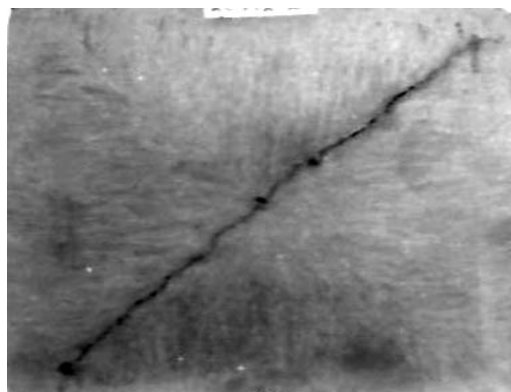


Рисунок 6.7 – Диагональные трещины

Меры предупреждения: регламентировать содержание вредных примесей в металле, соблюдать температурный интервал разливки, оптимизировать процесс ОМД (не превышать предельно допустимые значения скорости и степени деформации).

Флокены – тонкие извилистые трещины длиной до 30 мм, образующиеся в стали при повышенном содержании водорода (рисунок 6.8). В изломе флокены выявляются в виде округлых или эллиптических пятен серебристого или светлого оттенка. В поперечном макрошлифе флокены обнаруживаются в виде мелких трещин, количество которых увеличивается к сердцевине заготовки. Такая сталь не пригодна для применения. Флокены могут встречаться во всех сталях, но наиболее часто встречаются в сталях, легированных хромом.

Появление флокенов связано с растворением в стали водорода, который

при быстром охлаждении выделяется из раствора и создает значительные внутренние напряжения, приводящие к образованию трещин. Для устранения флокенов массивные поковки подвергают длительному обезводороживающему отжигу. При последующей горячей деформации в заготовке могут образоваться скворечники от флокенов (рисунок 6.9).

Свищи в прокате представляют собой крупные газовые включения, располагающиеся отдельно или группами по сечению заготовки. Выявляются в виде отдельных крупных пустот и пор круглой, овальной или вытянутой формы.

Инородные металлические или неметаллические включения – кусочки различного рода нерастворившихся ферросплавов, утеплительных засыпок, шлака или случайно попавших в слиток частичек окисленного металла. Имеют различную с основным металлом травимость.

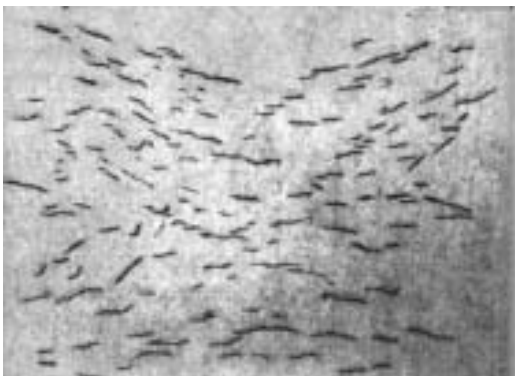


Рисунок 6.8 – Флокены

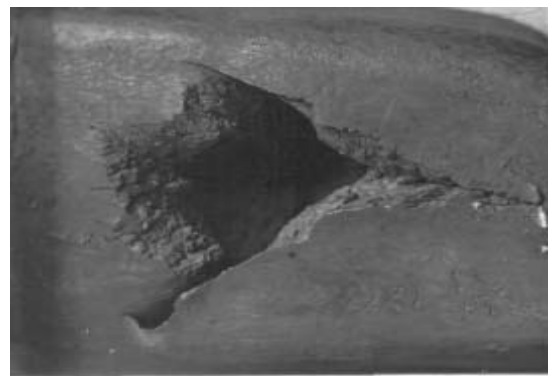


Рисунок 2.9 – Скворечник

В прокате обнаруживаются в виде волосовин (рисунок 6.10), неправильных по форме полостей, заполненных неметаллическими включениями (рисунок 6.11), расслоений (рисунок 6.12). Чем острее форма включения, тем большая опасность возникновения в этих местах высоких напряжений. При переменных нагрузках эти места могут явиться началом возникновения трещин усталости.



Рисунок 6.10 – Волосовины

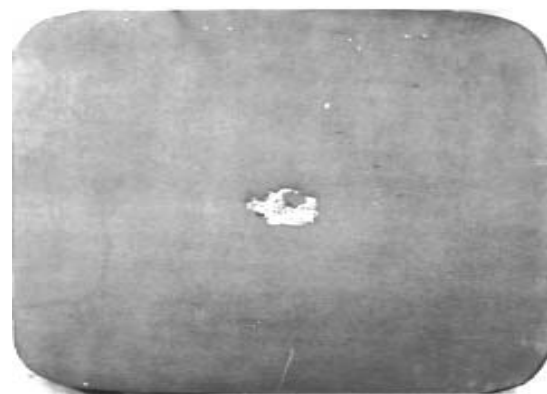


Рисунок 6.11 – Включения шамота

Ликвация – неоднородность участков металла по химическому составу и структуре. **Ликвационный квадрат** представляет собой контуры ликвации, определяемые конфигурацией слитка (рисунки 6.13 и 6.14).

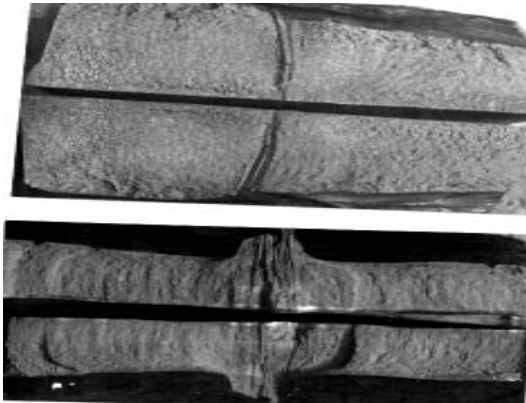


Рисунок 6.12 – Расслоения

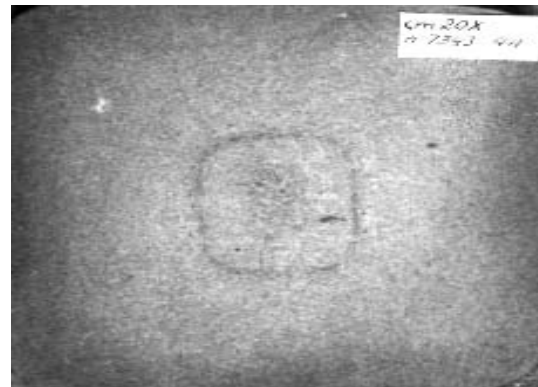


Рисунок 6.13 – Ликвация

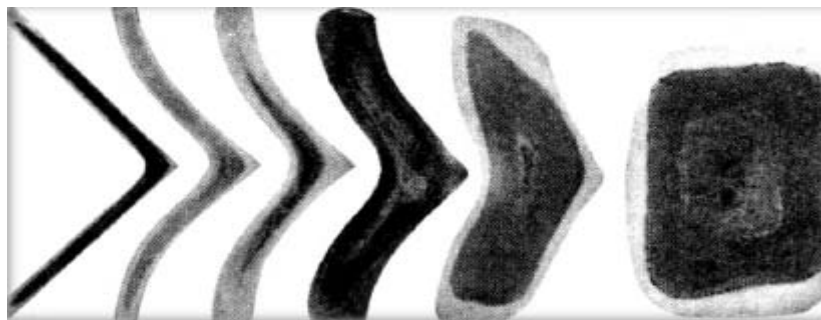


Рисунок 6.14 – Наследование прокатом распределения серы в слитке

Дефекты поверхности.

1 **Трещины от напряжений** – угловые, поперечные, продольные – обусловлены, соответственно, искажением профиля, высокой скоростью разливки металла, высоким содержанием вредных примесей, неравномерным затвердеванием, трением слитка в кристаллизаторе и другими причинами, вызывающими высокие термические и фазовые напряжения.

2 **Поры** возникают из-за избыточной влажности, газовыделения формы или смазки кристаллизатора, недостаточной раскисленности стали.

3 **Загрязнения на поверхности заготовки, вкатанные металлические и неметаллические частицы** – скопления неметаллических включений в виде пристывших, прикатанных кусочков шлака, металла или инородных частиц (см. образец 4), попавших в металл вследствие размыва огнеупоров ковша, переполнения металла в калибрах.

4 **Отслоения** возникают на поверхности проката из-за наличия газовых пузырей, неметаллических включений, усадочной раковины и т. д.

5 **Рябизна** – углубления от вдавленной окалины, образовавшиеся при ковке, прокатке или правке металла (см. образец 5).

6 **Закат** – прикатанный продольный выступ металла с одной или двух

диаметрально противоположных сторон, образовавшийся в результате вдавливания уса, подреза (см. образец 6).

Дефекты формы.

1 **Раздутие (выпуклость) заготовки** возникает из-за деформации корки заготовки под действием статического давления жидкого металла при недостаточном охлаждении в кристаллизаторе или при износе его гильз (см. образец 7).

2 **Отклонения от формы** – овал (вместо окружности), не квадратность (см. образец 7) и др.

3 **Усы** – продольные выступы на поверхности профилей проката, возникающие из-за неправильной калибровки, выработка калибра, низкой температуры деформируемого металла (см. образец 8).

В сварных соединениях могут иметь место следующие дефекты: горячие трещины (см. образец 9), холодные трещины, зоны несплавления, непровары (см. образец 10), подрезы, наплывы, прожоги и др.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определения основным видам дефектов.
- 2 Указать причины возникновения типовых дефектов.
- 3 Чем отличаются различные виды трещин?
- 4 Как влияют типовые дефекты на эксплуатационные свойства изделий?

Задание

- 1 Изучить сущность, возможности и методы макроанализа.
- 2 Изучить основные виды макродефектов заготовок, сварных соединений и готовых изделий.
3. Используя стереоскопический микроскоп СМ0665 определить и описать вид излома предложенного образца.
- 4 Для выданного образца (выдаются по бригадам или индивидуально):
 - зарисовать дефект и определить его вид (дать описание);
 - установить причину возникновения дефекта (использовать материал курса «Технология конструкционных материалов» и данной инструкции);
 - дать рекомендации для устранения дефекта;
 - описать влияние дефекта на эксплуатационные характеристики металлоизделий.

7 Практическая работа № 7. Пластические массы

Цель работы: ознакомление с принципами классификации пластических масс по характеру связующего вещества и по назначению; определение отличительных признаков различных видов пластмасс: по внешнему виду; характерным механическим свойствам; реакции на открытое пламя; по органолептическим показателям.

Оборудование и инструмент: стенд с образцами изделий из пластмасс.

Замена металлических изделий на пластмассовые весьма эффективна: *вес конструкции, трудоемкость изготовления, себестоимость продукции снижаются до 5 раз.*

Полимерные органические соединения являются основой пластических масс. Полимерами называют вещества, макромолекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев – мономеров одинаковой структуры. Макромолекулы могут быть построены из одинаковых по химическому строению мономеров или разнородных звеньев, в первом случае соединения называются *гомополимерами*, во втором – *сополимерами*.

По отношению к нагреву полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные. Термопластичные полимеры при каждом нагревании переходят из твердого состояния в вязкотекучее, а при охлаждении вновь затвердевают. Термореактивные пластмассы при нагреве первоначально размягчаются, а затем переходят в неплавкое, нерастворимое, твердое состояние.

7.1 Термопластичные полимеры

К термопластичным полимерам относятся полиолефины, полиамиды, поливинилхлорид, фторопласты, полиуретаны.

Термопласты имеют невысокую температуру перехода в вязкотекучее состояние, хорошо перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются термопласты в качестве изоляторов, химически стойких конструкционных материалов, прозрачных оптических стекол, пленок, волокон, а также в качестве связующих для получения композиционных материалов, лаков, клеев и др.

Полиэтилен представляет собой продукт полимеризации этилена (СН₂). Это относительно твердый и упругий материал, без запаха, белый в толстом слое и прозрачный в тонком. Полиэтилен легко перерабатывается различными методами, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам, агрессивным средам и воздействию радиации, обладает высокой морозостойкостью (до минус 70 °С). Полиэтилен склонен к старению при воздействии на него света. Для подавления необратимых процессов старения полиэтилена в него (как и в другие термопласты) вводят специальные добавки – стабилизаторы. Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных не силовых деталей, пле-

нок, изоляции проводов и кабелей, а также в качестве защитных покрытий металлов от коррозии.

Полипропилен – производная этилена, жесткий нетоксичный материал с более высокими физико-механическими свойствами. По сравнению с полиэтиленом более теплостоек, сохраняет форму до 150 °С, однако морозостойкость ниже (до минус 15 °С).

Применяется для изготовления труб, деталей автомобилей, мотоциклов, холодильников, корпусов насосов, емкостей, пленок, посуды для горячих пищевых продуктов (стаканы, тарелки, вилки, ложки, маркируется PP).

Поливинилхлорид (ПВХ) – аморфный полимер белого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, химической стойкостью, негорюч. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласт имеет высокую механическую прочность и обладает хорошими электроизоляционными свойствами, легко формуется, хорошо поддается механической обработке, склеивается и сваривается, хрупок при отрицательных температурах (рабочий диапазон температур от минус 10 °С до плюс 70 °С). При нагревании разлагается с образованием ядовитых веществ и при пожаре представляет значительную опасность. Из винипласта изготавливают различные изделия – краны, клапаны, задвижки, детали насосов, вентиляторов, облицовочную плитку, трубы, обложки тетрадей и др.

Политетрафторэтилен $[\text{CF}_2\text{-CF}_2]_n$ – (фторопласт-4) является фторопродуктом этилена. В вязкотекучее состояние переходит при температуре 423 °С, прессование изделий производят при температуре 380 °С, т. к. при более высоких температурах выделяется токсичный фтор. Материал обладает высокой термостойкостью, стоек к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей. Фторопласт-4 имеет **очень низкий коэффициент трения** ($f = 0,04$), сохраняет упругие свойства до 269 °С.

Фторопласт-4 применяется для изготовления уплотнительных элементов, мембран, фурнитуры, работающих в агрессивных средах; антифрикционных покрытий на металлических изделиях; высокочастотной аппаратуры, кабелей, конденсаторов, тонких изоляционных пленок толщиной до 0,005 мм.

Полистирол – твердый, жесткий, прозрачный полимер (пропускает 90 % света), обладает хорошими диэлектрическими свойствами, обладает высокой химической стойкостью, хорошо склеивается и окрашивается. Имеет низкую теплостойкость (до 80 °С) и ударную вязкость. Поэтому используется только для изготовления посуды для холодных пищевых продуктов (маркируется PS). Применяется для изготовления химически стойких сосудов, деталей электротехнического назначения (корпуса телевизоров, радиоприемников, телефонных аппаратов, магнитофонов), для получения электроизоляционных пленок для радиодеталей, нитей, а также упаковочной пленки. Из него изготавливают предметы домашнего обихода, детские игрушки, школьно-канцелярские принадлежности (авторучки и пр.), тару для упаковки, трубы, внутреннюю отделку холодильников (морозостойчивость до минус 70 °С), облицовочные материалы для внутренней отделки помещений, салонов автомобилей и т. д.

Полистирол, полученный эмульсионным методом, используется для производства пенопластов, применяемых в качестве термоизоляционного материала в строительстве, при изготовлении холодильников, а также для упаковки. Для повышения ударной вязкости производят сополимеризацию стирола с каучуками и получают ударопрочные АБС-пластики (акрилонитрил бутадиен стирол), применяемые в качестве бамперов и приборных панелей автомобилей, корпусных деталей телевизоров, ноутбуков, стрелкового оружия и пр.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный полимер (пропускает 92 % света), стойкий к действию разбавленных кислот и щелочей, бензо- и маслостоек, морозостоек (до минус 60 °С), растворяется в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводородах. При температуре +105 °С...+150 °С пластичен. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией. Имеет невысокую твердость. Применяется для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей.

Полиамиды (капрон, нейлон и др.) – полимер, обладающий хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью. Полиамиды не набухают в масле и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к ударным нагрузкам и вибрациям. Используются с наполнителями, в качестве которых применяется стекловолокно до 30 % или графит до 10 %. Применяются для изготовления канатов, зубчатых колес, звездочек цепных передач, колес центробежных насосов, подшипников скольжения, а также нанесения защитных покрытий на металлах.

Полиуретаны – полимеры, обладающие высокой эластичностью, морозостойкостью (до минус 70 °С), износостойкостью, устойчивы к действию разбавленных органических и минеральных кислот и масел. Применяются для изготовления труб, шлангов, уплотнителей, обувных подошв, приготовления клеев для склеивания металлов, стекла, керамики.

Полиэтилентерефталат (маркируется РЕТ) (аббревиатура – ЛАВСАН-лаборатория высокомолекулярных соединений Академии наук) – полиэфир, обладающий высокими прочностными свойствами, устойчивый к действию ультрафиолетовых и рентгеновских излучений, негорюч, диапазон рабочих температур от минус 70 °С до плюс 255 °С, в 10 раз прочнее полиэтилена, хорошо сваривается и склеивается. После быстрого охлаждения приобретает аморфную структуру и становится стеклообразным. Лавсан применяется для теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, электродвигателей, кабелей, деталей радиоаппаратуры, а также в качестве корда в ременных передачах, в покрышках, различных транспортерных лентах, основы магнитофонных лент, в качестве материала (ПЭТ) бутылок для газированных напитков.

Поликарбонат – полиэфир угольной кислоты, после быстрого охлаждения приобретает аморфную структуру и становится стеклообразным. Обладает высокими прочностью, ударной вязкостью, гибкостью, химически стоек. Из него изготавливают небьющуюся посуду, защитные маски, а также шестерни, подшипники и другие детали.

7.2 Терморезактивные полимеры

Фенолоформальдегидные смолы – представляют собой продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. Фенолоформальдегидные смолы обладают высокими атмосферо- и термостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот, за исключением концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей (азотной, хромовой).

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп, способные превращаться в полимеры пространственного строения. Для холодного отверждения эпоксидных смол применяют в качестве отвердителей алифатические полиамины (полиэтиленполиамин, 5 %...15 % от массы смолы). Длительность отверждения – 24 ч. Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины. Отверждение проводят при температуре 100 °С ...180 °С в течение 16...4 ч. Прочность, химическая стойкость и теплостойкость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам.

7.3 Композиционные материалы

Композиционные материалы (композиты) представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более разнородных компонентов. Компонент, непрерывный по всему объему материала, обеспечивающий его монолитность, называется матрицей, или связующим. Компоненты, распределенные в матрице, называются наполнителями. В качестве матрицы могут применяться материалы на **полимерной, металлической и керамической** основе. В зависимости от вида и структуры наполнителя композиты делятся на *дисперсно-упрочненные, упрочненные волокнами, слоистые и газонаполненные*.

7.3.1 Пластмассы с порошковыми наполнителями.

В качестве дисперсных наполнителей применяются органические порошки – древесная мука, порошкообразная целлюлоза, а также минеральные – молотый кварц, тальк, графит. Свойства порошковых пластмасс характеризуются изотропностью, невысокими прочностью и ударной вязкостью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами. На основе формальдегидных смол с органическими наполнителями изготавливают несилевые конструкционные и электроизоляционные детали: рукоятки, детали и корпуса приборов. В случае применения в качестве связующего – кремнийорганических полимеров и наполнителей – кварцевого порошка или асбеста теплостойкость пластмасс достигает 300 °С.

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов, станочных приспособлений, литейных моделей и пр.

7.3.2 Пластмассы с волокнистыми наполнителями.

Волокниты – пластмассы на основе волокон, пропитанных фенолоформальдегидной смолой. В качестве волокнистых наполнителей используются хлопковые очесы (волокниты), кордовые нити (кордоволокниты), асбестовое волокно (асбоволокниты), стекловолокно (стекловолокниты).

Применяются они для изготовления изделий общетехнического назначения с повышенной стойкостью к вибрациям и ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение, например, шкивов ременных передач, фланцев, рукояток, крышек и др.

Карбоволокниты (углепластики) – композиционные материалы на основе полимерного связующего и углеродных волокон. Углеродные волокна отличаются высокой теплостойкостью, удельной прочностью, химической стойкостью, низким коэффициентом термического линейного расширения. В качестве связующих используют термореактивные полимеры.

Углепластики обладают хорошими механическими свойствами, химической стойкостью. Применяются углепластики для изготовления конструктивных деталей авиационной и космической техники, антенн, автомобилей, судов, спортивного инвентаря.

7.3.3 Слоистые пластмассы.

Слоистые композиционные материалы имеют листовые наполнители (ткани, бумагу и т. д.), пропитанные и скрепленные между собой полимерным связующим. Эти материалы обладают анизотропией свойств. В качестве волокнистых армирующих элементов используют ткани на основе высокопрочных волокон различной природы: хлопчатобумажные, стеклоткани и пр.

Гетинакс – пластик на основе фенольных смол и различных сортов бумаги. Рабочая температура – до 140 °С. По назначению гетинакс подразделяется на декоративный и электротехнический. Декоративный гетинакс применяется для внутренней облицовки салонов самолетов, вагонов, лифтов и т. д. Электротехнический гетинакс используется для изготовления панелей, приборных щитков и других целей.

Текстолит – слоистый пластик на основе термореактивных смол и хлопчатобумажных тканей. Материал обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к вибрациям. В зависимости от основного назначения текстолиты подразделяются на конструкционные и электротехнические. Конструкционный текстолит используется для изготовления зубчатых колес, подшипников скольжения, работающих при температурах не выше 90 °С, в прокатных станах, турбинах, насосах и др.

Стеклотекстолиты изготавливают на основе стеклотканей и различных полимерных связующих. На кремнийорганических смолах имеют более высокую тепло- и морозостойкость, обладают высокой химической стойкостью. Эпоксидные смолы обеспечивают стеклотекстолитам наиболее высокие механические свойства и позволяют изготавливать из них крупногабаритные детали.

Стеклопластики являются конструкционными материалами для силовых изделий деталей летательных аппаратов, кузовов и кабин автомобилей, автоци-

стерн, корпусов лодок, вагонов, судов, контейнеров, корпусов машин, кожухов, защитных ограждений. По удельной жесткости эти материалы не уступают металлам, а по удельной прочности в 2–3 раза превосходят их.

7.4 Композиционные материалы с газообразными наполнителями

Газонаполненные материалы представляют собой структуру, состоящую из твердой и газообразной фаз. Такая структура обеспечивает чрезвычайно низкий вес и высокие теплозвукоизоляционные характеристики. Их подразделяют на две группы: **пенопласты** и **поропласты**. Пенопласты имеют ячеистую структуру, поры которой изолированы друг от друга полимерной прослойкой. Поропласты имеют открыто пористую систему и сообщаются с окружающей средой.

Пенопласты используют для тепло- и звукоизоляции кабин, теплоизоляции рефрижераторов, труб, приборов, для повышения плавучести, удельной прочности, жесткости и вибростойкости элементов конструкций, а также как упаковочный материал. Поропласты применяют для изготовления амортизаторов, мягких сидений, губок, фильтров, в качестве вибродемпфирующих и звукоизоляционных прокладок в глушителях, в касках и шлемах и т. д.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение полимеров, их классификацию по отношению к нагреву.
- 2 Описать разновидности термопластов, реактопластов, композиционных материалов, указать их состав, свойства и назначение.
- 3 Перечислить пластмассы с высокими оптическими свойствами, сравнить их характеристики.

Задание

- 1 Привести классификацию пластических масс: по характеру связующего вещества; по назначению.
- 2 Найти отличительные признаки различных видов пластмасс: по внешнему виду; характерным механическим свойствам; реакции на открытое пламя; по органолептическим показателям.

8 Практическая работа № 8. Выбор стали и назначение режима термической обработки

Цель работы: освоение методики выбора марки стали исходя из технологических требований и условий эксплуатации; изучение влияния легирующих элементов на структуру и свойства сталей.

Задание

Согласно варианту (таблица 8.1) укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки и обоснуйте его

выбор, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Опишите микроструктуру стали и ее эксплуатационные свойства.

Таблица 8.1 – Варианты заданий

Номер варианта	Конструкционная сталь	Инструментальная сталь
1	110Г13	Р6М5
2	35ХМЮА	ХВСГ
3	14Х17Н2	9ХС
4	12Х1МФ	Х05
5	60СХФА	5ХНТ
6	40Х12Н8Г8МФБ	Р10К5Ф5
7	18ХГТ	3Х2В8
8	38ХМФА	Р9Ф5
9	20ХГР	6ХС
10	15Х12ВНМФ	Х12М
11	Сильхром	ХВ5
12	50ХГФА	5ХНСВ
13	12Х13	Р6М5К5
14	30ХМ	9Х18М
15	12Х17	Х6ВФ
16	ШХ15	4Х3ВМФ
17	70С3А	Х12Ф1
18	12ХН3А	9ХФ
19	40ЧР3	Р18
20	38ХВФЮА	В1
21	40ХФА	5ХНВ
22	ШХ15СГ	9Х18
23	38Х2МЮА	ХВ1

Пример выполнения задания

Сталь 38ХМЮА.

Для этой стали оптимальным вариантом упрочнения является улучшение с последующими шлифовкой и азотированием. Обладая повышенной хрупкостью, азотированный слой должен опираться на упрочненную подложку. В данном процессе ее формируют закалка и высокий отпуск.

Нагрев под закалку стали 38ХМЮА следует проводить с учетом ее легированности. Для получения однородного легированного аустенита нагрев проводят до 920 °С. Хром, молибден и особенно алюминий сдерживают рост аустенитного зерна при нагреве, поэтому формирование крупного зерна в стали 38ХМЮА не происходит. Легирующие элементы хром и молибден увеличива-

ют прокаливаемость стали, критический диаметр $d_{кр} = 45$ мм (при закалке в масле).

После закалки проводят высокий отпуск. Температура отпуска должна на $50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышать температуру азотирования. Назначаем температуру отпуска $600\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 650\text{ }^{\circ}\text{C}$. В процессе выдержки при отпуске протекает распад $M_{зак}$ на зернистую среднедисперсную смесь феррита и цементита, называемую сорбитом отпуска. После отпуска следует окончательная механическая обработка (шлифование) и азотирование. Для обеспечения требуемой твердости 1000 HV азотирование проводят при $520\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 540\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение $20 \dots 30$ ч, при этом образуется диффузионный слой толщиной $0,2 \dots 0,3$ мм. Наличие хрома и алюминия способствует формированию в поверхностном слое специальных нитридов CrN , MoN и AlN , что приводит к повышению твердости слоя до 1000 HV . Механические свойства в готовом изделии: $\sigma_{\sigma} = 900\text{ МПа}$, $\delta = 10\%$, $\psi = 45\%$, $\text{КСУ} = 80\text{ Дж/см}^2$.

Аналогично выполняется задание по инструментальным сталям.

Контрольные вопросы

- 1 Как отличаются по содержанию углерода группы сталей различного назначения?
- 2 Дать объяснение повышенной теплостойкости быстрорежущих сталей.
- 3 Изложить особенности закалки и отпуска различных групп сталей по назначению, указать образуемые структуры и приобретаемые свойства.

Список литературы

- 1 Материаловедение. Технология композиционных материалов: учебник / А. Г. Кобелев [и др.]. – Москва: КНОРУС, 2020. – 270 с.
- 2 **Богодухов, С. И.** Материаловедение: учебник / С. И. Богодухов, Е. С. Козик. – 3-е изд., стер. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 536 с.
- 3 **Бондаренко, Г. Г.** Материаловедение: учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 2-е изд. – Москва: Юрайт, 2021. – 327 с.