Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Машиностроительный факультет
Кафедра «Машиноведение»

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой
_____ С. В. Савчук
«16» 06 2025 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета
_____ С. Р. Онысько
«16» 06 2025 г.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

(название дисциплины)

для специальности
6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты
Профилизация: Технология машиностроения
Технологическое оборудование машиностроительного производства

6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов
Профилизация: Автосервис
Техническая эксплуатация автомобилей

6-05-0714-04 Технологические машины и оборудование

Составители: Белозёров Роман Фёдорович, старший преподаватель
Мирошниченко Игорь Александрович, старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета университета 26.06.2025 г., протокол № 4.

рег. № УМК 24/25-232

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Материаловедение – наука о материалах, их строении и свойствах уходит своими корнями в далекое прошлое. Во все времена использование природных и созданных человеком материалов зависело от прочности, надежности и долговечности выполненных из них изделий. Сегодня металлы и их сплавы являются самым обширным и универсальным по применению классом материалов. Центральное место среди них зажимают две группы сплавов железа – стали и чугуны. Производство стали превышает производство алюминия – второго после железа металла по масштабам производства и применения - в несколько десятков раз.

Как всякая наука, материаловедение представляет собой, совокупность знаний, полученных расчетным и экспериментальным путем, которые позволяют сделать обобщения и выводы, а также предвидеть пути развития науки о материалах.

Во время изучения дисциплины рассматриваются следующие темы: строение и кристаллизация металлов, деформация и механические свойства металлов и сплавов, железо и его сплавы, теория и технология термической обработки стали, поверхностное упрочнение стальных деталей, конструкционные легированные стали, коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные материалы, инструментальные стали, алюминий, магний и их сплавы, медь и ее сплавы, титан и его сплавы, неметаллические материалы, композиционные материалы, порошковые материалы.

Цели дисциплины

– усвоение будущими специалистами знаний о материаловедении как науке, изучающей связи между структурой и свойствами материалов, а также методами их упрочнения для наиболее эффективного использования в технике.

Задачи дисциплины

– изучение основных групп современных металлических и неметаллических материалов, их свойств и область применения.

– изучение физической сущности явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации, их влияние на свойства материалов.

– изучение зависимости между составом, строением и свойствами материалов.

– изучение технологий различных способов упрочнения материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин, инструмента и других изделий.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизации «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства», специальности 6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов» профилизации «Автосервис», «Техническая эксплуатация автомобилей», специальности 6-05-0714-04 «Технологические машины и оборудование» дневной и заочной форм получения образования.

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г., № 427, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Материаловедение» для специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизации «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства», специальности 6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов» профилизации «Автосервис», «Техническая эксплуатация автомобилей», специальности 6-05-0714-04 «Технологические машины и оборудование».

Цели ЭУМК:

– обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;

– организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательному стандарту высшего образования специальности ОСВО 6-05-0714-02-2023 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты, ОСВО 6-05-0715-07-2023 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов, ОСВО 6-05-0714-04-2023 Технологические машины и оборудование, а также учебной программе дисциплины государственного компонента «Материаловедение». Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к

современным образовательным технологиям.

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Материаловедение»:

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций и презентациями.

Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения лабораторных учебных занятий в виде методических указаний для выполнения лабораторных работ.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для итоговой аттестации (вопросы к экзамену), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования, самостоятельные работы в виде тестовых заданий.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по дисциплине «Материаловедение».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов; при подготовке к экзамену, студенты могут использовать конспект лекций;
- экзамен проводится в письменном виде, вопросы к экзамену приведены в разделе контроля знаний.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Конспект лекций по дисциплине «Материаловедение»

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1. Наименование разделов, тем и содержание лекционных занятий

Введение. Дисциплина, ее предмет, цели и задачи.

Материаловедение в машиностроении как научная дисциплина. Роль материаловедения в обеспечении качества продукции и экономической эффективности в машиностроении. Цель, задачи и содержание курса, его значение в подготовке инженеров. Роль отечественных ученых в развитии науки о материаловедении.

Тема 1. Строение и кристаллизация металлов

Атомно-кристаллическое строение металлов. Основные типы кристаллических решеток. Дефекты кристаллического строения и их влияние на физико-механические свойства металлов. Энергетические условия, механизм и кинетика кристаллизации металлов.

Тема 2. Деформация и механические свойства металлов и сплавов

Напряжение и деформации. Упругая и пластическая деформации. Механизмы пластической деформации. Хрупкое и вязкое разрушение. Механические свойства и методы их определения. Теоретическая и реальная прочность металлов. Пути повышения прочности металлов и сплавов. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Наклеп, возврат и рекристаллизация.

Тема 3. Железо и его сплавы

Компоненты, фазы и структурные составляющие в сплавах железа с углеродом, их характеристики, условия образования и свойства. Диаграмма состояния железо - углерод. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали. Классификация и маркировка углеродистых сталей. Автоматные стали. Чугуны: виды, микроструктура, свойства и маркировка. Факторы, способствующие графитизации.

Тема 4. Теория и технология термической обработки стали

Превращения в стали при нагреве. Образование аустенита. Превращения в стали при охлаждении. Диаграмма изотермического превращения аустенита.

Мартенсит, его строение и свойства. Мартенситное превращение и его особенности. Отжиг и нормализация. Закалка стали. Закаливаемость и прокаливаемость стали. Методы определения прокаливаемости. Отпуск закаленной стали. Обработка стали холодом. Термомеханическая обработка стали.

Тема 5. Поверхностное упрочнение стальных деталей

Поверхностное упрочнение методом пластического деформирования.

Поверхностная закалка, ее виды и области применения. Химико-термическая обработка стали. Физические основы химико-термической обработки. Диффузионное насыщение углеродом и азотом. Диффузионное насыщение металлами и неметаллами.

Тема 6. Конструкционные легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Маркировка легированных конструкционных сталей и роль отдельных легирующих элементов. Стали цементируемые, улучшаемые, высокопрочные, пружинные, подшипниковые, износостойкие.

Тема 7. Коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные материалы

Виды коррозии, методы защиты. Коррозионностойкие стали: хромистые и хромоникелевые. Жаростойкость и методы ее повышения. Жаростойкие стали. Жаропрочность и методы ее повышения. Явление ползучести. Жаропрочные стали. Жаропрочные сплавы на железоникелевой и никелевой основах. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе.

Тема 8. Инструментальные стали

Стали для режущего инструмента: углеродистые, легированные, быстрорежущие. Требования к сталям. Стали для измерительного инструмента. Штамповые стали.

Тема 9. Алюминий, магний и их сплавы

Алюминий и его сплавы. Применение и основные свойства. Деформируемые и литейные алюминиевые сплавы. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Магний и его сплавы. Литейные и деформируемые сплавы магния. Термическая обработка магниевых сплавов.

Тема 10. Медь и ее сплавы

Медь, ее свойства и сплавы. Применение меди. Латуни деформируемые и литейные, их свойства, маркировка и применение. Бронзы деформируемые и литейные. Состав и свойства бронз, их марки и области применения.

Тема 11. Титан и его сплавы

Титан, его свойства и сплавы. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титана. Деформируемые и литейные сплавы титана, их свойства, маркировка и применение. Термическая обработка титановых сплавов.

Тема 12. Неметаллические материалы

Общие сведения о неметаллических материалах. Полимеры: молекулярная структура и свойства. Пластмассы: термопластичные и термореактивные, их свойства, состав, области применения. Резина. Формообразование деталей из резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резины.

Тема 13. Композиционные материалы

Принципы создания и основные виды композиционных материалов. Армирующие материалы и их свойства. Композиционные материалы с металлической и неметаллической основой.

Тема 14. Порошковые материалы

Порошковые материалы: свойства и способы получения. Конструкционные, специальные порошковые материалы. Области применения в машиностроении.

1.2. Перечень тем лабораторных занятий, их название

1.2.1 Методы измерения твердости конструкционных и инструментальных материалов (4 часа).

1.2.2. Определение строения металлов и сплавов методами макроскопического и микроскопического анализов (4 часа).

1.2.3. Микроструктурный анализ чугунов (2 часа).

1.2.4. Закалка и отпуск углеродистой и легированной стали (6 часов).

Введение. Дисциплина, ее предмет, цели и задачи.

Материаловедение - это наука о взаимосвязи электронного строения, структуры материалов с их составом, физическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Целью изучения дисциплины является усвоение знаний о материаловедении как науке, изучающей связи между структурой и свойствами материалов, а также методами их упрочнения для наиболее эффективного использования в технике.

Задачами изучения дисциплины является приобретение следующих теоретических знаний:

– основные группы современных металлических и неметаллических материалов, их свойства и области применения.

– физическая сущность явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации, их влияние на свойства материалов.

– зависимости между составом, строением и свойствами материалов.

– технология различных способов упрочнения материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин, инструмента и других изделий.

Создание научных основ металловедения по праву принадлежит. Чернову Д.К., который установил критические температуры фазовых превращений в сталях и их связь с количеством углерода в сталях. Этим были заложены основы для важнейшей в металловедении диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.

Открытием аллотропических превращений в стали, Чернов заложил фундамент термической обработки стали. Критические точки в стали, позволили рационально выбирать температуру ее закалки, отпуска и пластической деформации в производственных условиях.

В своих работах по кристаллизации стали, и строению слитка Чернов изложил основные положения теории литья, не утратившие своего научного и практического значения в настоящее время.

Великий русский металлург Аносов П.П. впервые применил микроскоп для исследования структуры металлов. Ему принадлежит приоритет в создании легированных сталей. Разработал теорию и технологию изготовления клинков из булатной стали. Из его работ стало ясно, что так называемый булатный узор на поверхности стали, непосредственно зависит от ее внутренней структуры.

В 1873-1876 г.г Гиббс изложил основные законы фазового равновесия и, в частности, правило фаз, основываясь на законах термодинамики. Для решения практических задач знание фазового равновесия в той или иной системе необходимо, но недостаточно для определения состава и относительного количества фаз. Обязательно знать структуру сплавов, то есть атомное строение фаз, составляющих сплав, а также распределение, размер и форму кристаллов каждой фазы.

Определение атомного строения фаз стало возможным после открытия Лауэ (1912 г), показавшего, что атомы в кристалле регулярно заполняют пространство, образуя пространственную дифракционную решетку, и что рентгеновские лучи имеют волновую природу. Дифракция рентгеновских лучей на такой решетке дает возможность исследовать строение кристаллов.

В последнее время для структурного анализа, кроме рентгеновских лучей, используют электроны и нейтроны. Соответствующие методы исследования называются электронографией и нейтронографией. Электронная оптика позволила усовершенствовать микроскопию. В настоящее время на электронных микроскопах полезное максимальное увеличение доведено до 100000 раз.

В пятидесятых годах, когда началось исследование природы свойств металлических материалов, было показано, что большинство наиболее важных свойств, в том числе сопротивление пластической деформации и разрушению в различных условиях нагружения, зависит от особенностей тонкого кристаллическо строения. Этот вывод способствовал привлечению физических теорий о строении реальных металлов для объяснения многих непонятных явлений и для конструирования сплавов с заданными механическими свойствами. Благодаря теории дислокаций, удалось получить достоверные сведения об изменениях в металлах при их пластической деформации.

Особенно интенсивно развивается металловедение в последние десятилетия. Это объясняется потребностью в новых материалах для исследования космоса, развития электроники, атомной энергетики.

Основными направлениями в развитии металловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты, с которыми преимущественно работают. Генеральной задачей материаловедения является создание материалов с заранее расчитаными свойствами применительно к заданным параметрам и условиям работы. Большое внимание уделяется изучению металлов в экстремальных условиях (низкие и высокие температуры и давление).

До настоящего времени основной материальной базой машиностроения служит черная металлургия, производящая стали и чугуны. Эти материалы

имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают высокую конструкционную прочность деталей машин. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки как большая плотность, низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют 20% годового производства стали и чугуна. Поэтому, по данным научных исследований, через 20…40 лет все развитые страны перестроятся на массовое использование металлических сплавов на базе титана, магния, алюминия. Эти легкие и прочные сплавы позволяют в 2-3раза облегчить станки и машины, в 10 раз уменьшить расходы на ремонт.

По данным института имени Байкова А.Н. в нашей стране есть все условия чтобы в течении 10…15 лет машиностроение могло перейти на выпуск алюминиево-титановой подвижной техники, которая отличается легкостью, коррозионной стойкостью и большим безремонтным ресурсом.

Важное значение имеет устранение отставания нашей страны в области использования новых материалов взамен традиционных (металлических) – пластмасс, керамики, материалов порошковой металлургии, особенно композиционных материалов, что экономит дефицитные металлы, снижает затраты энергии на производство материалов, уменьшает массу изделий.

Расчетами установлено, что замена ряда металлических деталей легкового автомобиля на углепластики из эпоксидной смолы, армированной углеродными волокнами, позволит уменьшить массу машины на 40%; она станет более прочной; уменьшится расход топлива, резко возрастет стойкость против коррозии.

ТЕМА 1. СТРОЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

1.1 Атомно-кристаллическое строение металлов. Виды кристаллических решеток

В огромном ряду материалов, с незапамятных времен известных человеку и широко используемых им в своей жизни и деятельности, металлы всегда занимали особое место.

Подтверждение этому: и в названиях эпох (золотой, серебряный, бронзовый, железный века), на которые греки делили историю человечества: и в археологических находках металлических изделий (кованые медные украшения, сельскохозяйственные орудия); и в повсеместном использовании металлов и сплавов в современной технике.

Причина этого - в особых свойствах металлов, выгодно отличающих их от других материалов и делающих во многих случаях незаменимыми.

Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определенным набором свойств:

- «металлический блеск» (хорошая отражательная способность);
- пластичность;
- высокая теплопроводность;
- высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбитам вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объему металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов. Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа».

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определенным порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием *кристаллическая решетка.*

Другими словами, кристаллическая решетка это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

• размеры ребер элементарной ячейки. a, b, c – периоды решетки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными;

• углы между осями (α, β, γ);

• координационное число (К) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке;

• базис решетки - количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки;

• плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-

центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74)

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа;

- примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- базоцентрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;
- объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней

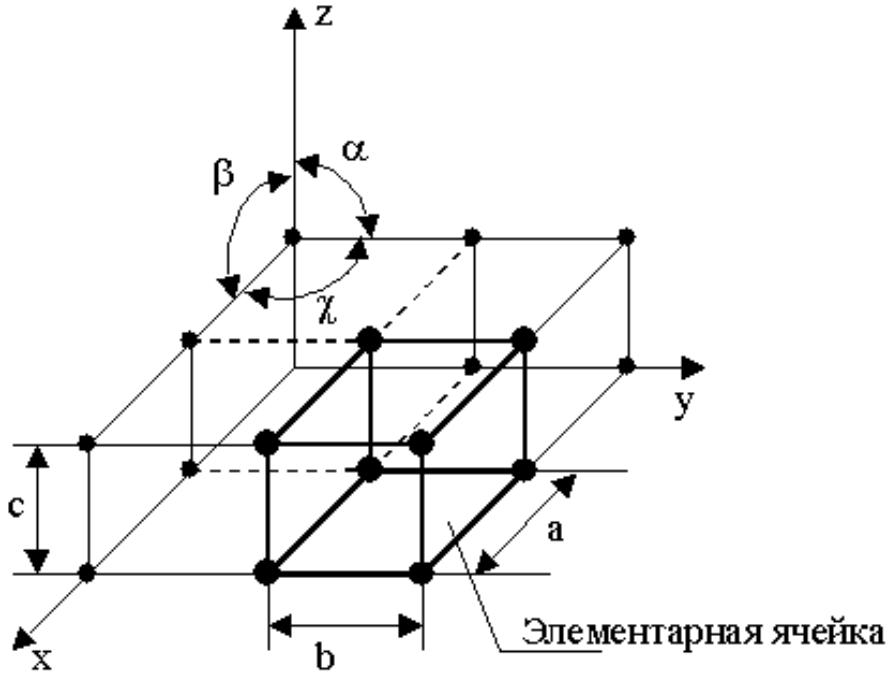


Рис.1.1. Схема кристаллической решетки

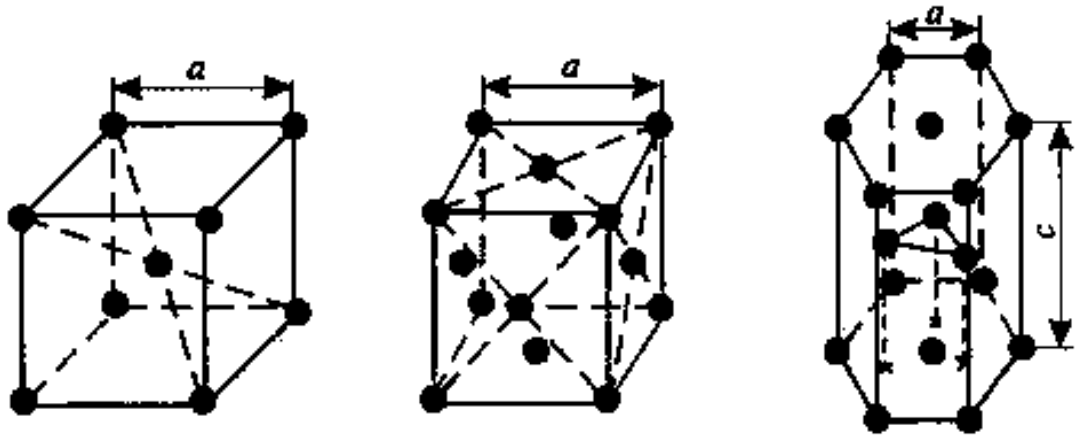


Рис. 1.2. Основные типы кристаллических решеток: а – объемно-центрированная кубическая; б– гранецентрированная кубическая; в – гексагональная плотноупакованная

Основными типами кристаллических решеток являются:

1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК) (см. рис.1.2а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe_{α})
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (см. рис. 1.2б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней (Ag, Au, Fe_{γ})
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
   - простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);
   - плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк).

1.2 Свойства кристаллов. Понятие об изотропии и анизотропии

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела *изотропны.*

В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется *анизотропией*

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить кристаллографические плоскости и кристаллографические направления в кристалле.

Плоскость, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется *кристаллографической плоскостью.*

Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется *кристаллографическим направлением.*

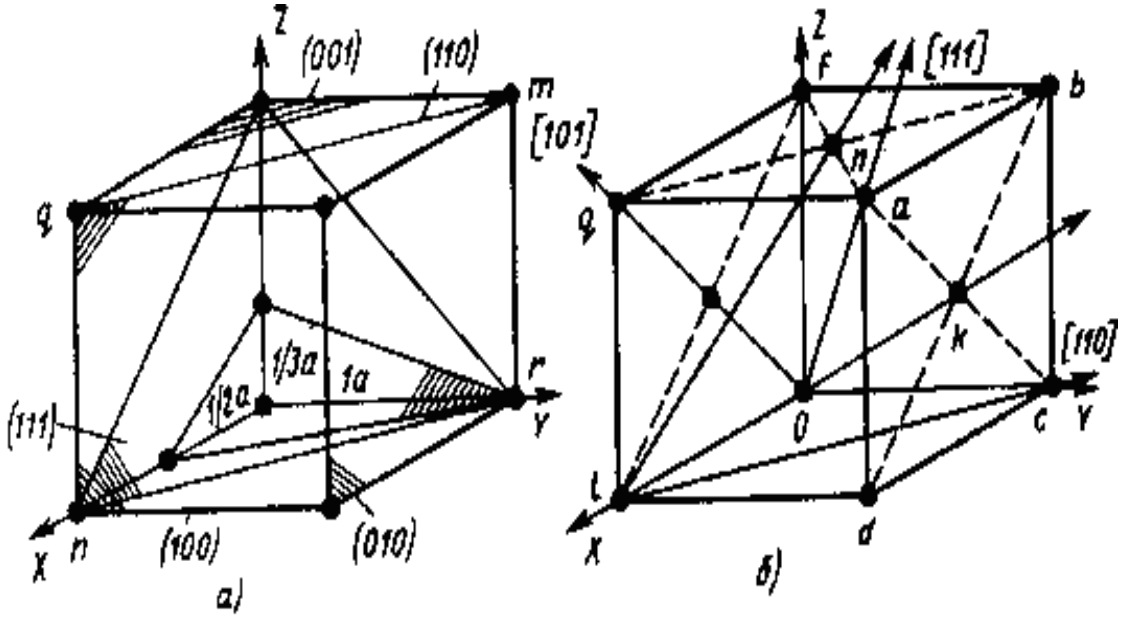


Рис.1.3. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей (а) и кристаллографических направлений (б)

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются *индексами Миллера.* Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X,Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

Для определения индексов кристаллографической плоскости необходимо:
- установить координаты точек пересечения плоскости с осями координат в единицах периода решетки;
- взять обратные значения этих величин;
- привести их к наименьшему целому кратному, каждому из полученных чисел.

Полученные значения простых целых чисел, не имеющие общего множителя, являются индексами Миллера для плоскости, указываются в круглых скобках. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей на рис. 1.3 а.

Другими словами, индекс по оси показывает, на сколько частей плоскость делит осевую единицу по данной оси. Плоскости, параллельные оси, имеют по ней индекс 0 (110).

Ориентация прямой определяется координатами двух точек. Для определения индексов кристаллографического направления необходимо:
- одну точку направления совместить с началом координат;
- установить координаты любой другой точки, лежащей на прямой, в единицах периода решетки;
- привести отношение этих координат к отношению трех наименьших целых чисел.

Индексы кристаллографических направлений указываются в квадратных скобках[111].

В кубической решетке индексы направления, перпендикулярного плоскости (hkl) имеют те же индексы [hkl].

Аллотропия или полиморфные превращения.

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется *аллотропией или полиморфизмом.*

Каждый вид решетки представляет собой *аллотропическое видоизменение* или *модификацию.*

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

Fe: $t < 911^0 C$ – ОЦК - Fe_α;

$911 < t < 1392^0 C$ – ГЦК - Fe_β;

$1392 < t > 1539^0 C$ – ОЦК - Fe_δ; (высокотемпературное Fe_α)

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

Магнитные превращения

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа – $768^0 C$). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменени-

ем кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

1.3 Процесс кристаллистазии. Дефекты кристаллического строения

1. Точеные дефекты
2. Линейные дефекты:
3. Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Из жидкого расплава можно вырастить монокристалл. Их обычно используют в лабораториях для изучения свойств того или иного вещества.

Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зернами. Они имеют неправильную форму и различно ориентированы в пространстве. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зерен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдается

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.

Точеные дефекты

Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей (рис. 1.4.).

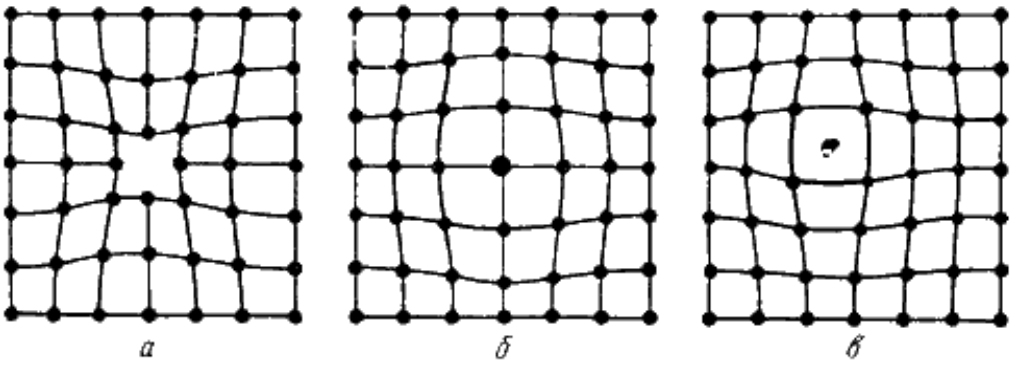


Рис.1.4. Точечные дефекты

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин.

Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронной облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела.

Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии. Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлие.
Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

Линейные дефекты:

Основными линейными дефектами являются дислокации.

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей.

Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Краевая дислокация представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край “лишней“ полуплоскости (рис. 1.5) а) б)

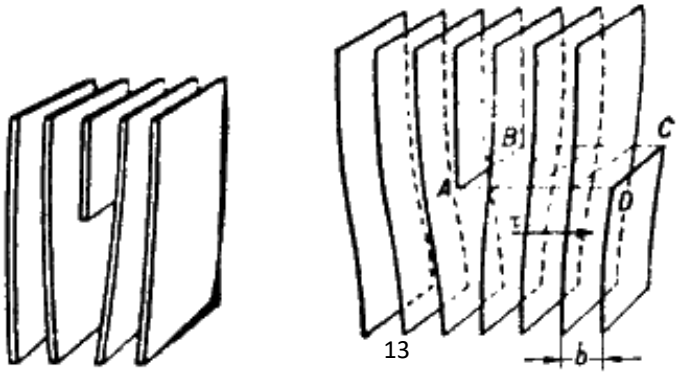


Рис. 1.5. Краевая дислокация (а) и механизм ее образования (б)

Неполная плоскость называется *экстраплоскостью*.

Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма. Ее образование можно описать при помощи следующей операции. Надрезать кристалл по плоскости ABCD, сдвинуть нижнюю часть относительно верхней на один период решетки в направлении, перпендикулярном AB, а затем вновь сблизить атомы на краях разреза внизу.

Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстраплоскости. Вправо и влево от края экстраплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстраплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть очень велики (тысячи периодов решетки) (рис. 1.6).

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная ($\perp$), если в нижней, то – отрицательная ($\top$). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

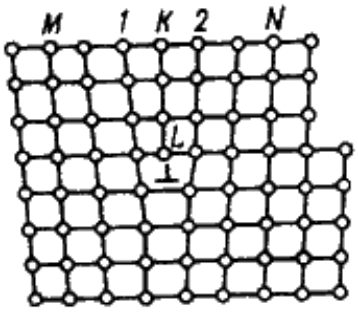


Рис. 1.6. Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации

Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название *винтовая дислокация*

Винтовая дислокация получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии EF (рис. 1.6) На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки E до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов.

Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется поворотом по часовой стрелке, то дислокация *правая,* а если поворотом против часовой стрелки – *левая.*

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла.

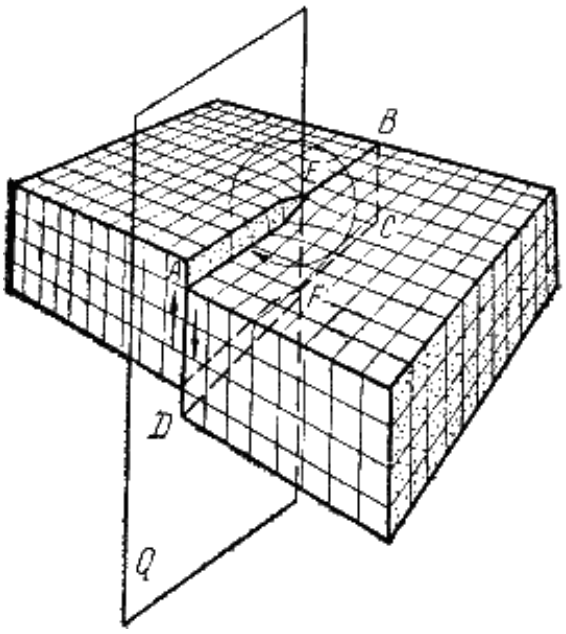


Рис. 1.7. Механизм образования винтовой дислокации

Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

Дислокационная структура материала характеризуется *плотностью дислокаций*.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 м^2, или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3

$$\rho = \frac{\sum l}{V} \quad (\text{см}^{-2};\ \text{м}^{-2})$$

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет $10^5 \ldots 10^7$ м$^{-2}$, в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает $10^{15} \ldots 10^{16}$ м$^{-2}$.

Плотность дислокации в значительной мере определяет пластичность и прочность материала (рис. 1.8).

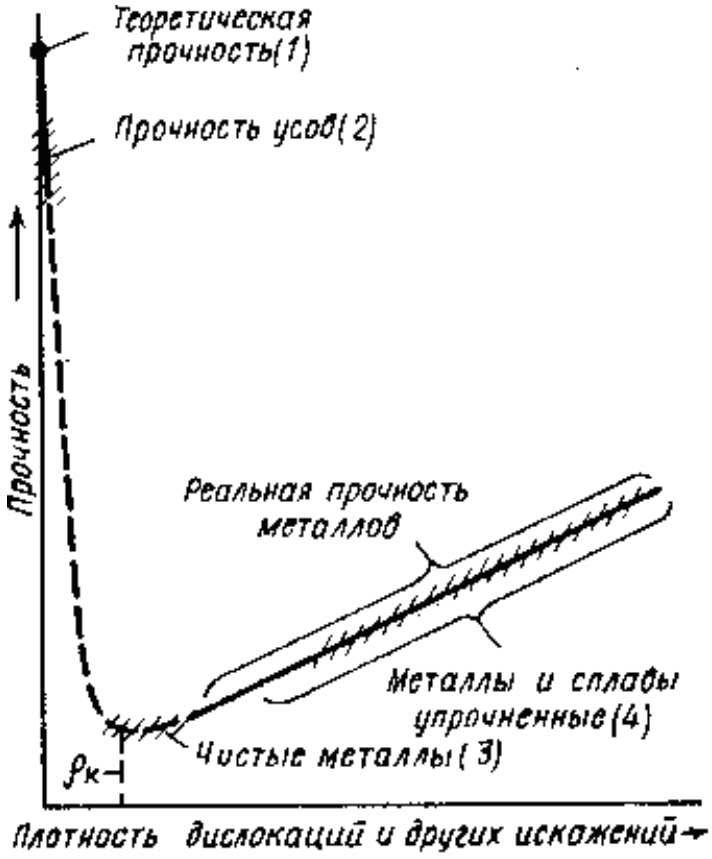


Рис. 1.8. Влияние плотности дислокаций на прочность

Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций $\rho = 10^5 \ldots 10^7 м^2$

Если плотность меньше значения *а,* то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение. В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной 0,5…20 мкм - “усы“ с прочностью, близкой к теоретической: для железа $\sigma_в$= 13000 МПа, для меди $\sigma_в$=30000 МПа. При упрочнении металлов увеличением плотности дислокаций, она не должна превышать значений 10^{15}…10^{16} м$^{-2}$. В противном случае образуются трещины.

Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее напряжение, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в результате обработки поверхности кристалла специальными веществами в местах выхода дислокаций образуются ямки.

Дислокации образуются при образовании кристаллов из расплава или газообразной фазы, при срастании блоков с малыми углами разориентировки. При

перемещении вакансий внутри кристалла, они концентрируются, образуя полости в виде дисков. Если такие диски велики, то энергетически выгодно “захлопывание” их с образованием по краю диска краевой дислокации. Образуются дислокации при деформации, в процессе кристаллизации, при термической обработке.

Поверхностные дефекты – границы зерен, фрагментов и блоков (рис. 1.9)

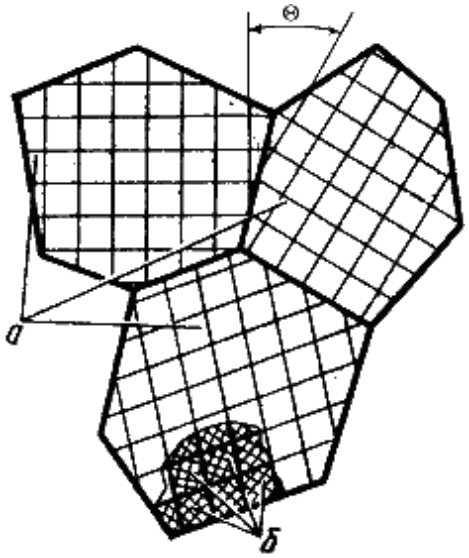


Рис. 1.9. Разориентация зерен и блоков в металле

Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов (θ).

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию. Однако и внутри зерна никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов (θ_1). Эти участки называются *фрагментами*. Процесс деления зерен на фрагменты называется *фрагментацией* или *полигонизацией*.

В свою очередь каждый фрагмент состоит из блоков, размерами менее 10 мкм, разориентированных на угол менее одного градуса (θ_2). Такую структуру называют *блочной или мозаичной.*

1.4 Механизм и закономерности кристаллизации металлов. Изучение структуры.

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 1.10.

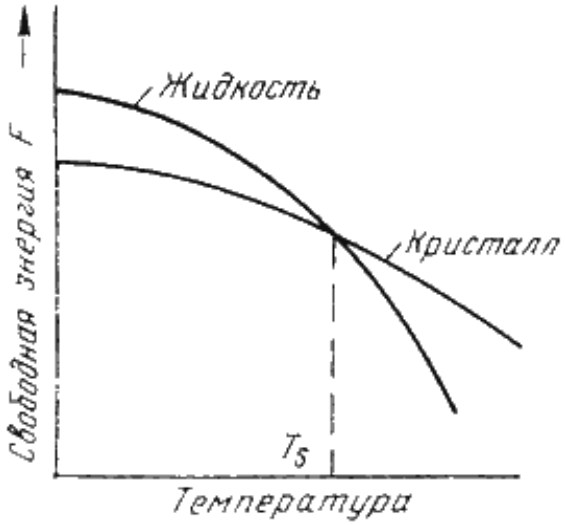


Рис.1.10 Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры T_S вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_S – в твердом.

При температуре равной T_S жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура T_S – *равновесная* или *теоретическая температура кристаллизации*.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры T_S.

Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется *фактической температурой кристаллизации.*

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется *переохлаждением,* которое характеризуется *степенью переохлаждения (ΔT):*

$$\Delta T = T_{теор} - T_{кр}.$$

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждени).

Рассмотрим переход металла из жидкого состояния в твердое.

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис. 1.11.

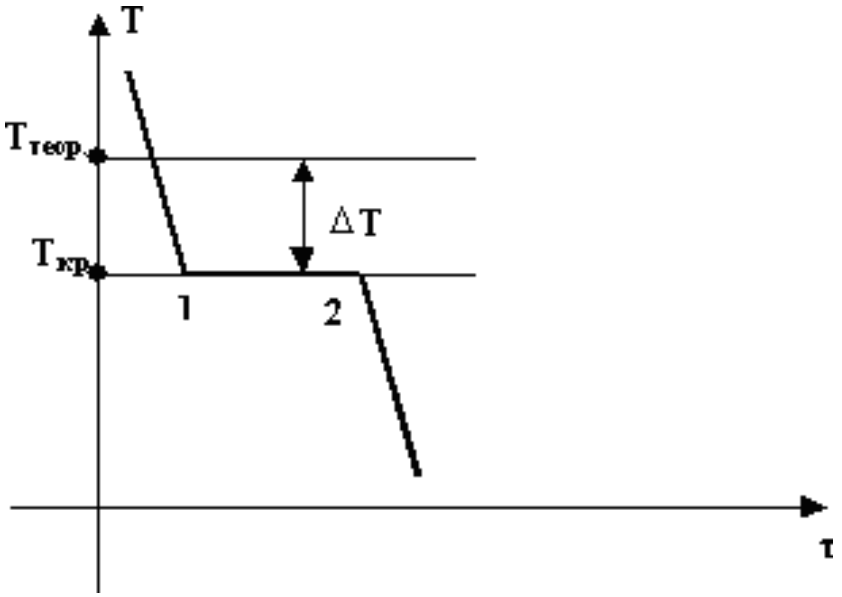


Рис.1.11. Кривая охлаждения чистого металла

$T_{теор}$ – теоретическая температура кристаллизации;

$T_{кр}$ – фактическая температура кристаллизации.

Процесс кристаллизации чистого металла:

До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется *скрытой теплотой кристаллизации*. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной. После окончания кри-

сталлизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

Механизм и закономерности кристаллизации металлов.

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – *центры кристаллизации* или *зародыши*. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется *критическим размером*, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела.
Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы представлена на рис. 1.12.

Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

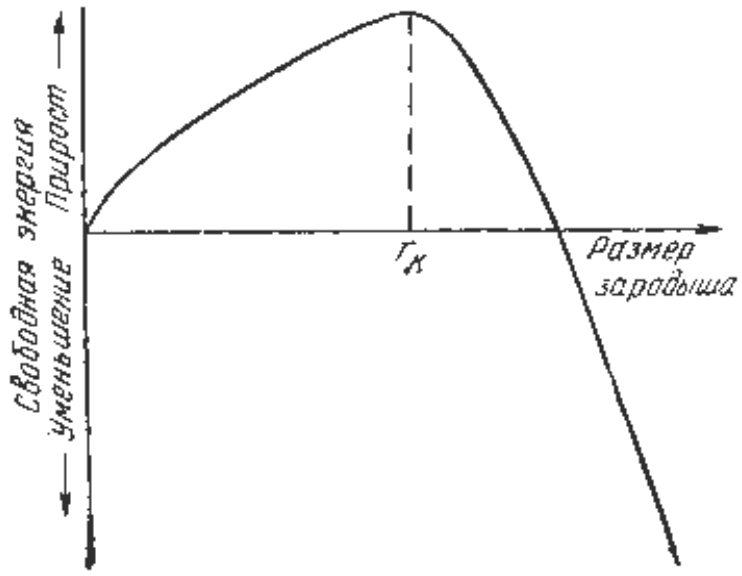


Рис.1.12. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы

Механизм кристаллизации представлен на рис.1.13.

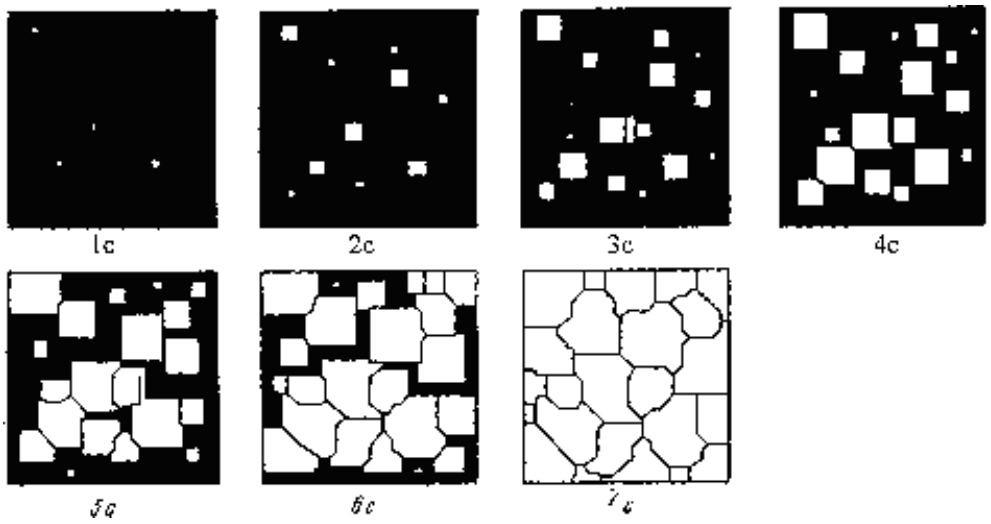


Рис.1.13. Модель процесса кристаллизации

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Качественная схема процесса кристаллизации может быть представлена количественно кинетической кривой (рис.1.14).

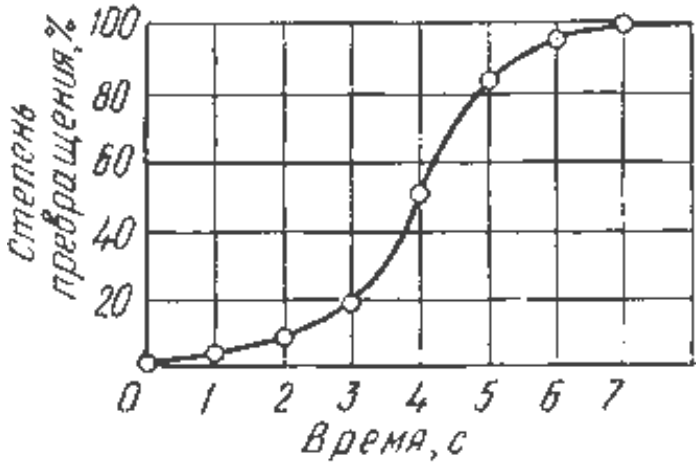


Рис. 1.14. Кинетическая кривая процесса кристаллизации

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы

уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться. Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

В свою очередь, число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) зависят от степени переохлаждения (рис. 1.15).

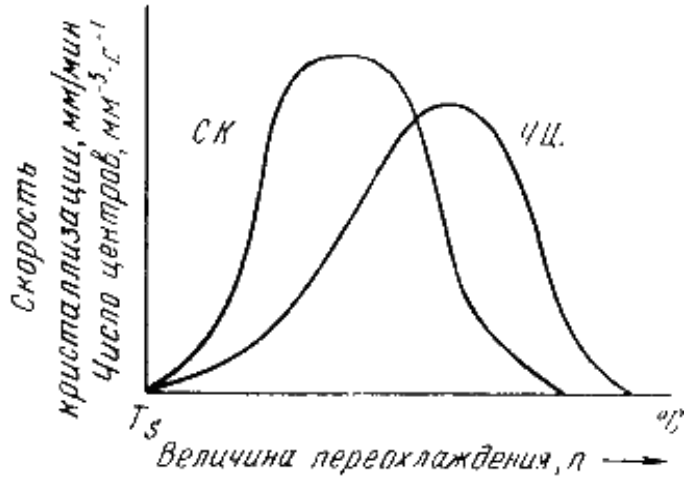


Рис. 1.15. Зависимость числа центров кристаллизации (а) и скорости роста кристаллов (б) от степени переохлаждения

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации T_S число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей т. *а,* то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая).

При переохлаждении до температуры соответствующей т.*в* – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохлаждению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

Условия получения мелкозернистой структуры

Стремятся к получению мелкозернистой структуры. Оптимальными условиями для этого являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.

Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.

Мелкозернистую структуру можно получить в результате *модифицирования*, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – *модификаторы,*

По механизму воздействия различают:

1. Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.
2. Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осаждаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

Строение металлического слитка

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рис.1.16.

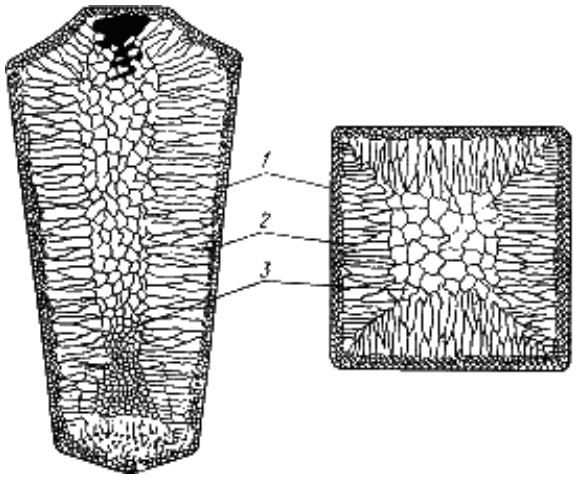


Рис. 1.16. Схема стального слитка

Слиток состоит из трех зон:

1. мелкокристаллическая корковая зона;
2. зона столбчатых кристаллов;
3. внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рис. 1.17). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

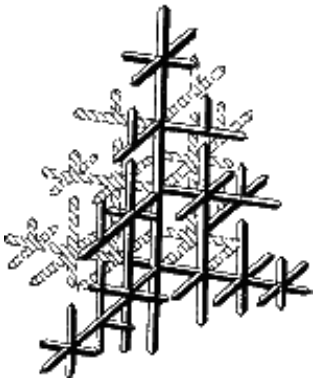


Рис.1.17. Схема дендрита по Чернову Д.К.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется *транскристаллизацией.*

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15…20 % от длины слитка)

Методы исследования металлов: структурные и физические

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию о всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

Определение химического состава.

Используются методы количественного анализа.

1. Если не требуется большой точности, то используют *спектральный анализ*.

Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом. Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов. Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2. Более точные сведения о составе дает *рентгеноспектральный анализ.*

Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

Изучение структуры.

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

1. Макроструктурный анализ – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы.

Осуществляется после предварительной подготовки исследуемой поверхности (шлифование и травление специальными реактивами).

Позволяет выявить и определить дефекты, возникшие на различных этапах производства литых, кованных, штампованных и катанных заготовок, а также причины разрушения деталей.

Устанавливают: вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызванную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; волокна в деформированном металле.

2. *Микроструктурный анализ* – изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50…2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Образцы – микрошлифы с блестящей полированной поверхностью, так как структура рассматривается в отраженном свете. Наблюдаются микротрещины и неметаллические включения.

Для выявления микроструктуры поверхность травят реактивами, зависящими от состава сплава. Различные фазы протравливаются неодинаково и окрашиваются по разному. Можно выявить форму, размеры и ориентировку зерен, отдельные фазы и структурные составляющие.

Кроме световых микроскопов используют электронные микроскопы с большой разрешающей способностью.

Изображение формируется при помощи потока быстро летящих электронов. Электронные лучи с длиной волны (0,04…0,12) $\cdot 10^{-8}$ см дают возможность различать детали объекта, по своим размерам соответствующе межатомным расстояниям.

Просвечивающие микроскопы. Поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового рассеяния электронов на объекте. Различают *косвенные* и *прямые* методы исследования.

При косвенном методе изучают не сам объект, а его отпечаток – кварцевый или угольный слепок (реплику), отображающую рельеф микрошлифа, для предупреждения вторичного излучения, искажающего картину.

При прямом методе изучают тонкие металлические фольги, толщиной до 300 нм, на просвет. Фольги получают непосредственно из изучаемого металла.

Растровые микроскопы. Изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

3. Для изучения атомно-кристаллического строения твердых тел (тонкое строение) используются *рентгенографические методы*, позволяющие устанавливать связь между химическим составом, структурой и свойствами тела, тип твердых растворов, микронапряжения, концентрацию дефектов, плотность дислокаций.

Физические методы исследования

1. Термический анализ основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2.Дилатометрический метод.

При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения обусловлены только увеличением энергииколебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы.

Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

3 .Магнитный анализ.

Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.

Тема 2. Деформация и механические свойства металлов и сплавов

1. Физическая природа деформации металлов.
2. Природа пластической деформации.
3. Дислокационный механизм пластической деформации.
4. Разрушение металлов.
5. Механические свойства и способы определения их количественных характеристик

Физическая природа деформации металлов.

Деформацией называется изменение формы и размеров тела под действием напряжений.

Напряжение – сила, действующая на единицу площади сечения детали.

Напряжения и вызываемые ими деформации могут возникать при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия и т.д., а также в результате фазовых (структурных) превращений, усадки и других физико-химических процессов, протекающих в металлах, и связанных с изменением объема.

Металл, находящийся в напряженном состоянии, при любом виде нагружения всегда испытывает напряжения нормальные и касательные (рис. 2.1.).

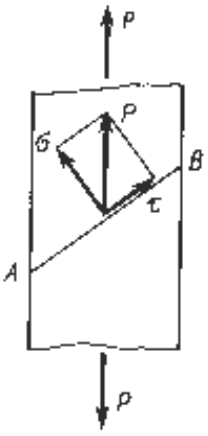


Рис.2.1. Схема возникновения нормальных и касательных напряжений в металле при его нагружении

Рост нормальных и касательных напряжений приводит к разным последствиям. Рост нормальных напряжений приводит к хрупкому разрушению. Пластическую деформацию вызывают касательные напряжения.

Деформация металла под действием напряжений может быть упругой и пластической.

Упругой называется деформация, полностью исчезающая после снятия вызывающих ее напряжений.

При упругом деформировании изменяются расстояния между атомами металла в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места, и деформация исчезает. Упругая деформация на диаграмме деформации характеризуется линией ОА (рис.2.2.).

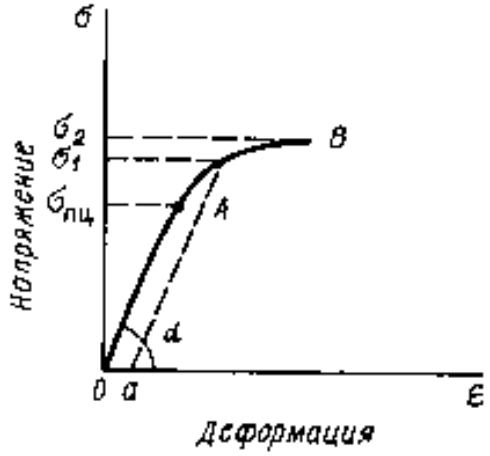


Рис.2.2. Диаграмма зависимости деформации металла ε от действующих напряжений σ

Если нормальные напряжения достигают значения сил межатомных связей, то наблюдается хрупкое разрушение путем отрыва (рис.2.3.).

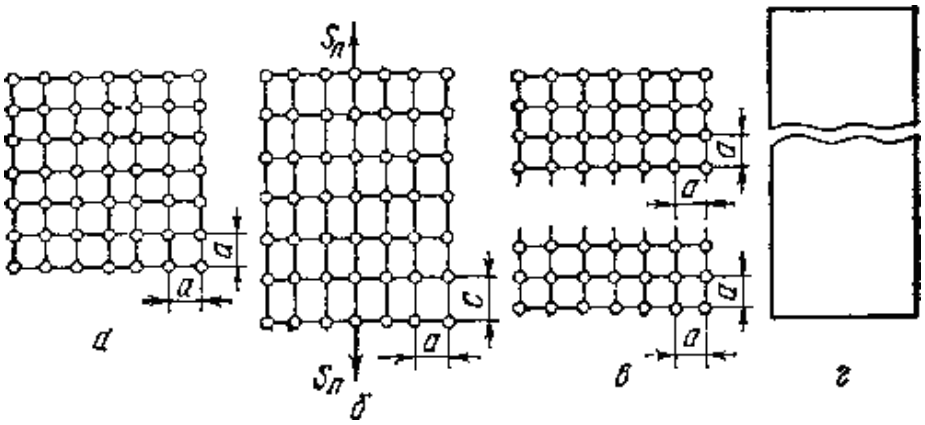


Рис.2.3. Схема упругой деформации и хрупкого разрушения под действием упругих напряжений *а* – ненапряженная решетка металла; *б* – упругая деформация; *в, г* – хрупкое разрушение в результате отрыва

Зависимость между упругой деформацией ε и напряжением σ выражается законом Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

где: E - модуль упругости.

Модуль упругости является важнейшей характеристикой упругих свойств металла. По физической природе величина модуля упругости рассматривается как мера прочности связей между атомами в твердом теле.

Эта механическая характеристика структурно нечувствительна, т. е. термическая обработка или другие способы изменения структуры не изменяют модуля упругости, а повышение температуры, изменяющее межатомные расстояния, снижает модуль упругости.

Пластической или *остаточной* называется деформация после прекращения действия вызвавших ее напряжений.

При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой под действием касательных напряжений. При снятии нагрузок сдвиг остается, т.е. происходит пластическая деформация (рис.2.4)

В результате развития пластической деформации может произойти вязкое разрушение путем сдвига.

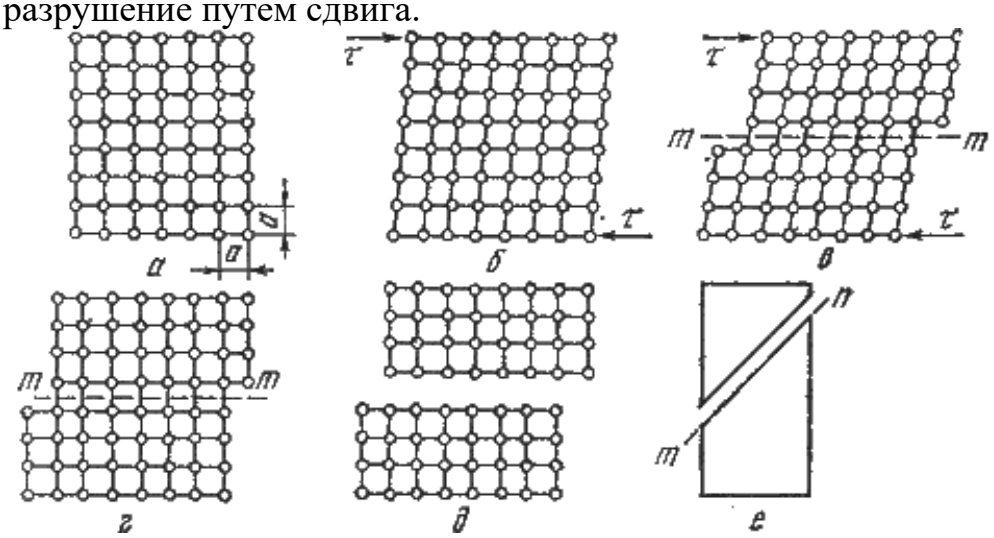


Рис.2.4. Схема пластической деформации и вязкого разрушения под действием касательных напряжений *а* – ненапряженная решетка; *б* – упругая деформация; *в* – упругая и пластическая деформация; *г* – пластическая деформация; *д, е* – пластичное (вязкое) разрушение в результате среза

Природа пластической деформации.

Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, и характер их деформации зависит от типа кристаллической структуры и от наличия несовершенств в этой структуре.

Рассмотрим пластическую деформацию в монокристалле.

Пластическая деформация может протекать под действием касательных напряжений и может осуществляться двумя способами.

1. Трансляционное скольжение по плоскостям (рис. 2.5 а). Одни слои атомов кристалла скользят по другим слоям, причем они перемещаются на дискретную величину, равную целому числу межатомных расстояний.

В промежутках между полосами скольжения деформация не происходит. Твердое тело не изменяет своего кристаллического строения во время пластической деформации и расположение атомов в элементарных ячейках сохраняется

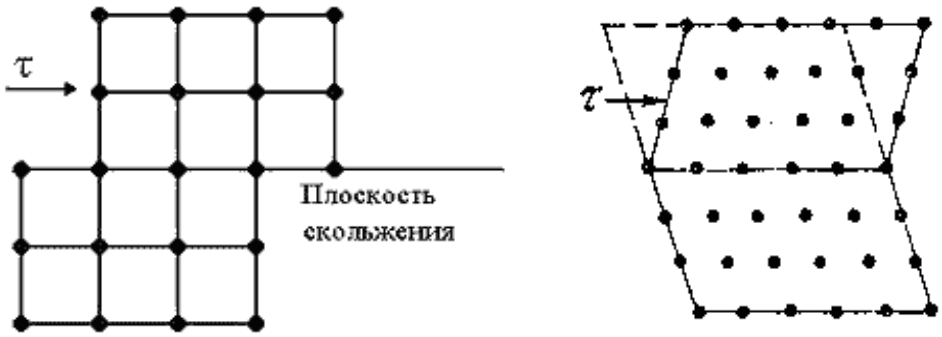
Плоскостями скольжения является кристаллографические плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов.

Это наиболее характерный вид деформации при обработке давлением.

2. Двойникование – поворот одной части кристалла в положение симметричное другой его части. Плоскостью симметрии является плоскость двойникования (рис. 2.5 б).

Двойникование чаще возникает при пластической деформации кристаллов с объемно-центрированной и гексагональной решеткой, причем с повышением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию возрастает.

Двойникование может возникать не только в результате действия внешних сил, но и в результате отжига пластически деформированного тела. Это характерно для металлов с гранецентрированной кубической решеткой (медь, латунь). Двойникованием можно достичь незначительной степени деформации.



а) б)

Рис.2.5. Схемы пластической деформации различными способами: а – скольжением; б – двойникованием

Дислокационный механизм пластической деформации.

Пластическая деформация происходит в результате скольжения или двойникования. Ранее предполагали, что при скольжении одна часть кристалла сдвигается относительно другой части на целое число периодов как единое целое. Необходимое для этого напряжение получается на несколько порядков выше действительного сдвигового напряжения.

Для железа теоретическое значение сдвигового напряжения $\tau_{теор} = 13300$ МПа, $\tau_{реал} = 20$.

В основу современной теории пластической деформации взяты следующие положения:

- скольжение распространяется по плоскости сдвига последовательно, а не одновременно;
- скольжение начинается от мест нарушений кристаллической решетки, которые возникают в кристалле при его нагружении.

Схема механизма деформации представлена на рис.2.6 а.

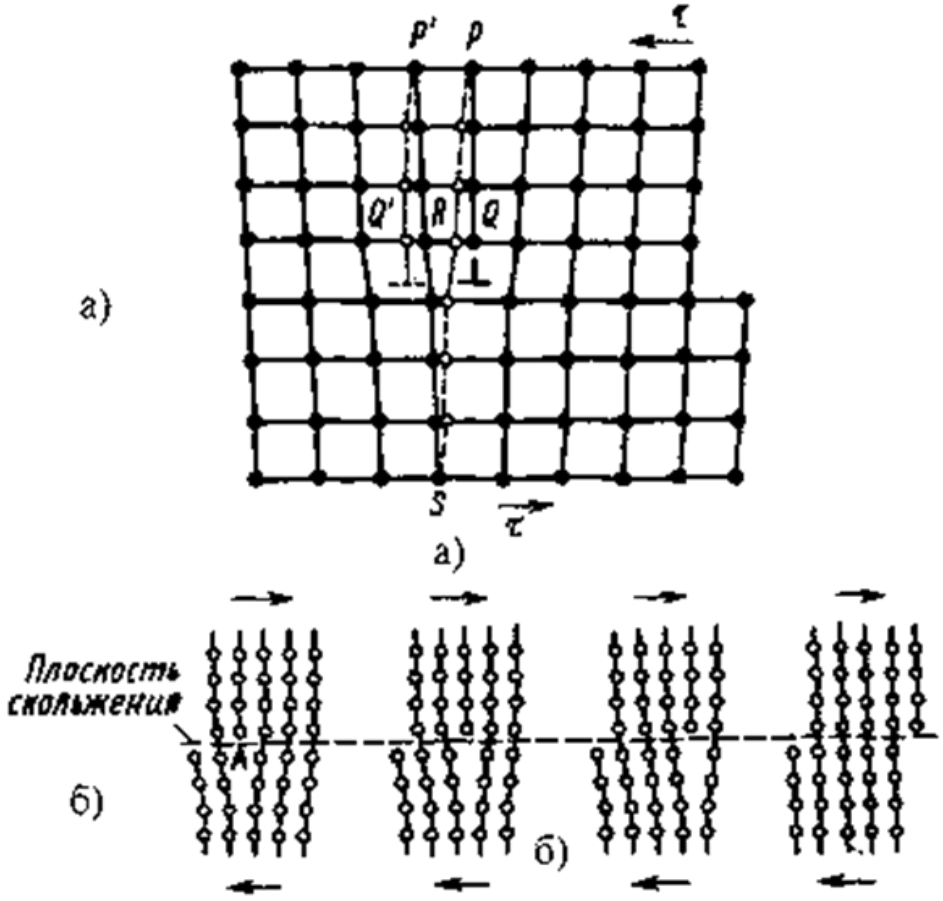


Рис. 2.6. Схема дислокационного механизма пластической деформации *а* – перемещение атомов при движении краевой дислокации на одно межатомное расстояние; *б* – перемещение дислокации через весь кристалл

В равновесном состоянии дислокация неподвижна. Под действием напряжения экстраплоскость смещается справа налево при незначительном перемещении атомов. Нижняя часть плоскости P′S (SR) сместится вправо и совместится с нижним краем экстра- плоскости PQ.

QR- остаточная деформация.

При дальнейшем движении дислокация пройдет всю плоскость скольжения и выйдет на поверхность зерна. При этом верхняя часть зерна сдвинута относительно нижней на один межатомный период решетки (рис. 2.6 б). При каждом перемещении дислокации на один шаг необходимо разорвать связь только между двумя рядами атомов в плоскости P′S, а не между всеми атомами, расположенными выше и ниже плоскости скольжения. Необходимое сдвиговое напряжение при этом мало, равно практически действительному.

Разрушение металлов.

Процесс деформации при достижении высоких напряжений завершается разрушением. Тела разрушаются по сечению не одновременно, а вследствие развития трещин. Разрушение включает три стадии: зарождение трещины, ее распространение через сечение, окончательное разрушение.

Различают хрупкое разрушение – отрыв одних слоев атомов от других под действием нормальных растягивающих напряжений. Отрыв не сопровождается предварительной деформацией. Механизм зарождения трещины одинаков - благодаря скоплению движущихся дислокаций перед препятствием (границы субзерен, фазовые границы), что приводит к концентрации напряжений, достаточной для образования трещины. Когда напряжения достигают определенного значения, размер трещины становится критическим и дальнейший рост осуществляется произвольно.

Для хрупкого разрушения характерна острая, часто ветвящаяся трещина. Величина зоны пластической деформации в устье трещины мала. Скорость распространения хрупкой трещины велика - близка к скорости звука (внезапное, катастрофическое разрушение). Энергоемкость хрупкого разрушения мала, а работа распространения трещины близка к нулю.

Различают транскристаллитное разрушение – трещина распространяется по телу зерна, интеркристаллитное – по границам зерен (всегда хрупкое).

Результатом хрупкого разрушения является блестящий светлый кристаллический излом с ручьистым строением. Хрупкая трещина распространяется по нескольким параллельным плоскостям. Плоскость излома перпендикулярна нормальным напряжениям.

Вязкое разрушение – путем среза под действием касательных напряжений. Ему всегда предшествует значительная пластическая деформация.

Трещина тупая раскрывающаяся. Величина пластической зоны впереди трещины велика. Малая скорость распространения трещины. Энергоемкость значительная, энергия расходуется на образование поверхностей раздела и на пластическую деформацию. Большая работа затрачивается на распространение трещины. Поверхность излома негладкая, рассеивает световые лучи, матовая (волокнистый) излом. Плоскость излома располагается под углом. По излому можно определить характер разрушения.

Механические свойства и способы определения их количественных характеристик

Основными механическими свойствами являются: прочность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность конструкций при их минимальной массе.

Механические свойства определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок.

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

1. статическом нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
2. динамическом нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
3. повторно, переменном или циклическим нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.

Для получения сопоставимых результатов образцы и методика проведения механических испытаний регламентированы ГОСТами.

При статическом испытании на растяжение: ГОСТ 1497 получают характеристики прочности и пластичности.

Прочность – способность материала сопротивляться деформациям и разрушению.

Испытания проводятся на специальных машинах, которые записывают диаграмму растяжения, выражающую зависимость удлинения образца Δl (мм) от действующей нагрузки Р, т.е. $\Delta l = f(P)$.

Но для получения данных по механическим свойствам перестраивают: зависимость относительного удлинения Δl от напряжения δ

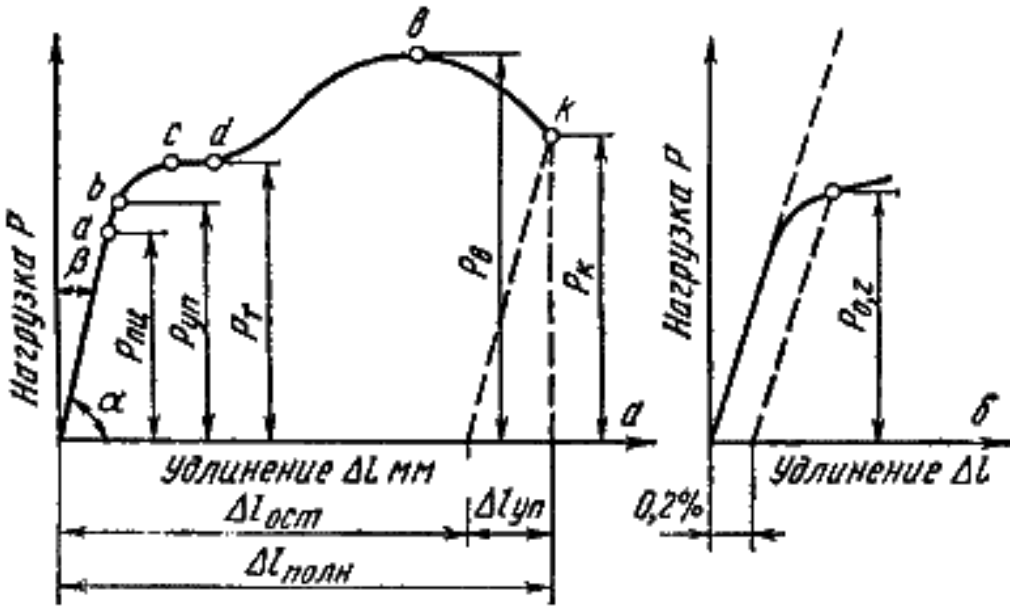


Рис. 2.7.
Диаграмма растяжения: *а* – абсолютная, *б* – относительная; *в* – схема определения условного предела текучести

Проанализируем процессы, которые происходят в материале образца при увеличении нагрузки.

Участок *оа* на диаграмме соответствует упругой деформации материала, когда соблюдается закон Гука. Напряжение, соответствующее упругой предельной деформации в точке *а*, называется *пределом пропорциональности.*

Предел пропорциональности ($\sigma_{пц}$) – максимальное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между деформацией и напряжением.

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}$$

При напряжениях выше предела пропорциональности происходит равномерная пластическая деформация (удлинение или сужение сечения).

Каждому напряжению соответствует остаточное удлинение, которое получаем проведением из соответствующей точки диаграммы растяжения линии параллельной *оа*.

Так как практически невозможно установить точку перехода в неупругое состояние, то устанавливают *условный предел упругости,* – максимальное напряжение, до которого образец получает только упругую деформацию. Считают напряжение, при котором остаточная деформация очень мала (0,005…0,05%).

В обозначении указывается значение остаточной деформации $(\sigma_{0,05})$.

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}$$

Предел текучести характеризует сопротивление материала небольшим пластическим деформациям.

В зависимости от природы материала используют физический или условный предел текучести.

Физический предел текучести $(\sigma_т)$ – это напряжение, при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке (наличие горизонтальной площадки на диаграмме растяжения). Используется для очень пластичных материалов.

$$\sigma_т = \frac{P_т}{F_0}$$

Но основная часть металлов и сплавов не имеет площадки текучести.

Условный предел текучести $(\sigma_{0,2})$ – это напряжение вызывающее остаточную деформацию $\delta = 0{,}2\%$

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$$

Физический или условный предел текучести являются важными расчетными характеристиками материала. Действующие в детали напряжения должны быть ниже предела текучести.

Равномерная по всему объему пластичная деформация продолжается до значения предела прочности.

В точке *в* в наиболее слабом месте начинает образовываться шейка – сильное местное утомление образца.

Предел прочности $(\sigma_в)$ – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения (временное сопротивление разрыву).

$$\sigma_в = \frac{P_в}{F_0}$$

Образование шейки характерно для пластичных материалов, которые имеют диаграмму растяжения с максимумом.

Предел прочности характеризует прочность как сопротивления значительной равномерной пластичной деформации. За точкой В, вследствие развития шейки, нагрузка падает и в точке С происходит разрушение.

Истинное сопротивление разрушению – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца (рис. 2.8).

$$S_к = \frac{P_к}{F_к}$$

Истинное сопротивление разрушению значительно больше предела прочности, так как оно определяется относительно конечной площади поперечного сечения образца.

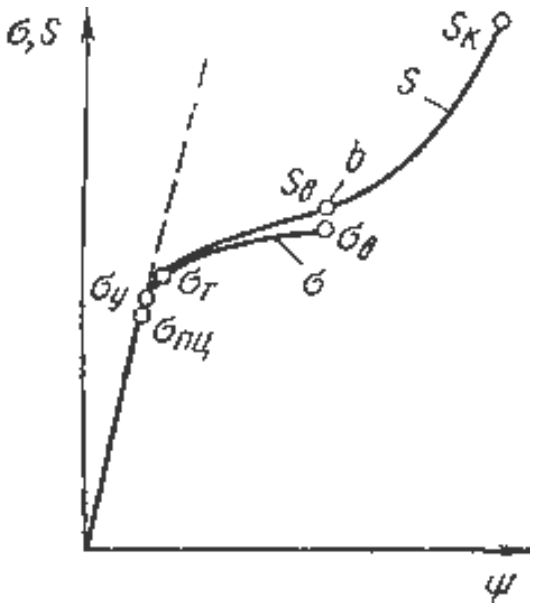


Рис. 2.8. Истинная диаграмма растяжения

$F_к$ - конечная площадь поперечного сечения образца.

Истинные напряжения S_i определяют как отношение нагрузки к площади поперечного сечения в данный момент времени.

$$S_i = \frac{P_i}{F_i}$$

При испытании на растяжение определяются и характеристики пластичности.

Пластичность — способность материала к пластической деформации, т.е. способность получать остаточное изменение формы и размеров без нарушения сплошности.

Это свойство используют при обработке металлов давлением.

Характеристики:

- относительное удлинения. (δ)

$$\delta = \frac{l_к - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta \ell_{ост}}{\ell_0} 100\%$$

ℓ_0 и $\ell_к$ – начальная и конечная длина образца.

$\Delta \ell_{ост}$ – абсолютное удлинение образца, определяется измерением образца после разрыва.

- относительное сужение

$$\Psi = \frac{F_0 - F_к}{F_0} 100\%$$

F_0 - начальная площадь поперечного сечения

$F_к$ -площадь поперечного сечения в шейке после разрыва.

Относительное сужение более точно характеризует пластичность и служит технологической характеристикой при листовой штамповке.

Пластичные материалы более надежны в работе, т.к. для них меньше вероятность опасного хрупкого разрушения.

Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность

Твердость – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании.

Широкое распространение объясняется тем, что не требуются специальные образцы.

Это неразрушающий метод контроля. Основной метод оценки качества термической обработке изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость.

Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рис. 2.9.

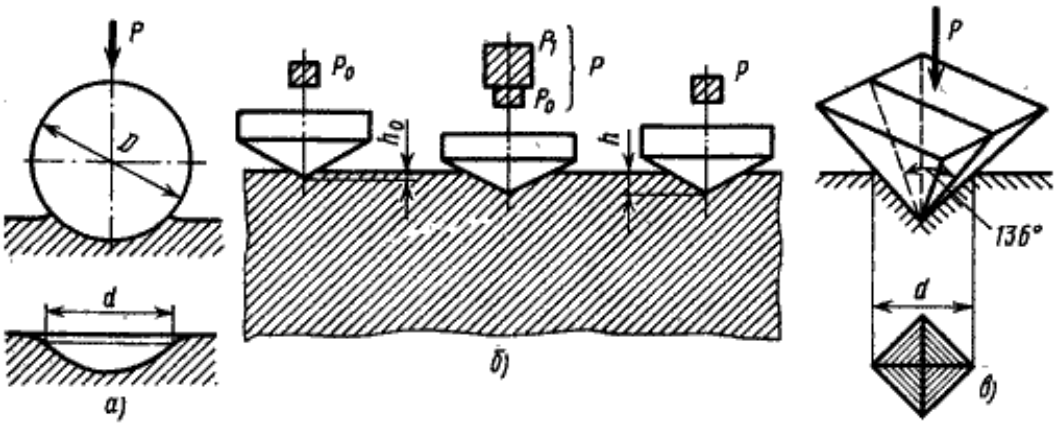


Рис. 2.9. Схемы определения твердости: *а* – по Бринеллю*; б* – по Роквеллу; *в* – по Виккерсу

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012). Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис.2.9 а) В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка Р, в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна – $P = 30D^2$, литой бронзы и латуни – $P = 10D^2$, алюминия и других очень мягких металлов – $P = 2{,}5D^2$.

Продолжительность выдержки τ: для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля. Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки Р к сферической поверхности отпечатка F:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$

Стандартными условиями являются D = 10 мм; Р = 3000 кгс; τ = 10 с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается НВ 250, в других случаях указываются условия: НВ D / Р / τ, НВ 5/ 250 /30 – 80.

Метод Роквелла ГОСТ 9013. Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис. 2.9 б)

Индентор для мягких материалов (до НВ 230) – стальной шарик диаметром 1/16” (∅1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P_0 (10 ктс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1, втечение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка Р. После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой P_0. В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 2.1)

Таблица 2.1.Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твёрдых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик ∅1/16''	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твёрдых материалов

Метод Виккерса. Твердость определяется по величине отпечатка (рис.2.1 в). В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136º. Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P\sin\frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1{,}8544\frac{P}{d^2}$$

Нагрузка P составляет 5…100 кгс. Диагональ отпечатка *d* измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои.Высокая точность и чувствительность метода.

Способ микротвердости – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Аналогичен способу Виккерса. Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании P составляют 5…500 гс

$$H_{200} = 1{,}854\frac{P}{d^2}$$

Метод царапания. Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

Динамический метод (по Шору). Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал.

В результате проведения динамических испытаний на ударный изгиб специальных образцов с надрезом (ГОСТ 9454) оценивается вязкость материалов и устанавливается их склонность к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации.

Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами.

Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

Влияние температуры.С повышением температуры вязкость увеличивается (см. рис. 2.10). Предел текучести S_m существенно изменяется с изменением температуры, а сопротивление отрыву $S_{от}$ не зависит от температуры. При температуре выше $T_в$ предел текучести меньше сопротивления отрыву. При нагружении сначала имеет место пластическое деформирование, а потом – разрушение. Металл находится в вязком состоянии.

Прт температуре ниже $T_н$ сопротивление отрыву меньше предела текучести. В этом случае металл разрушается без предварительной деформации, то есть находится в хрупком состоянии. Переход из вязкого состояния в хрупкое осуществляется в интервале температур $T_н - T_в$

Хладоломкостью называется склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

Хладоломкими являются железо, вольфрам, цинк и другие металлы, имеющие объемноцентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

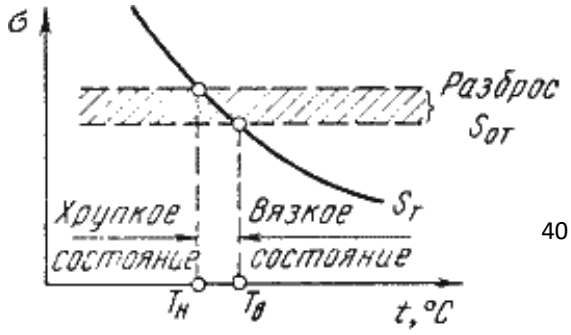


Рис. 2.10. Влияние температуры на пластичное и хрупкое состояние

Способы оценки вязкости. Ударная вязкость характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению Испытание проводят на образцах с надрезами определенной формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определенную высоту (рис. 2.11)

На разрушение образца затрачивается работа:

$$A = P(H - h)$$

где: P – вес маятника, H – высота подъема маятника до удара, h – высота подъема маятника после удара.

Характеристикой вязкости является *ударная вязкость ($a_н$),* - удельная работа разрушения.

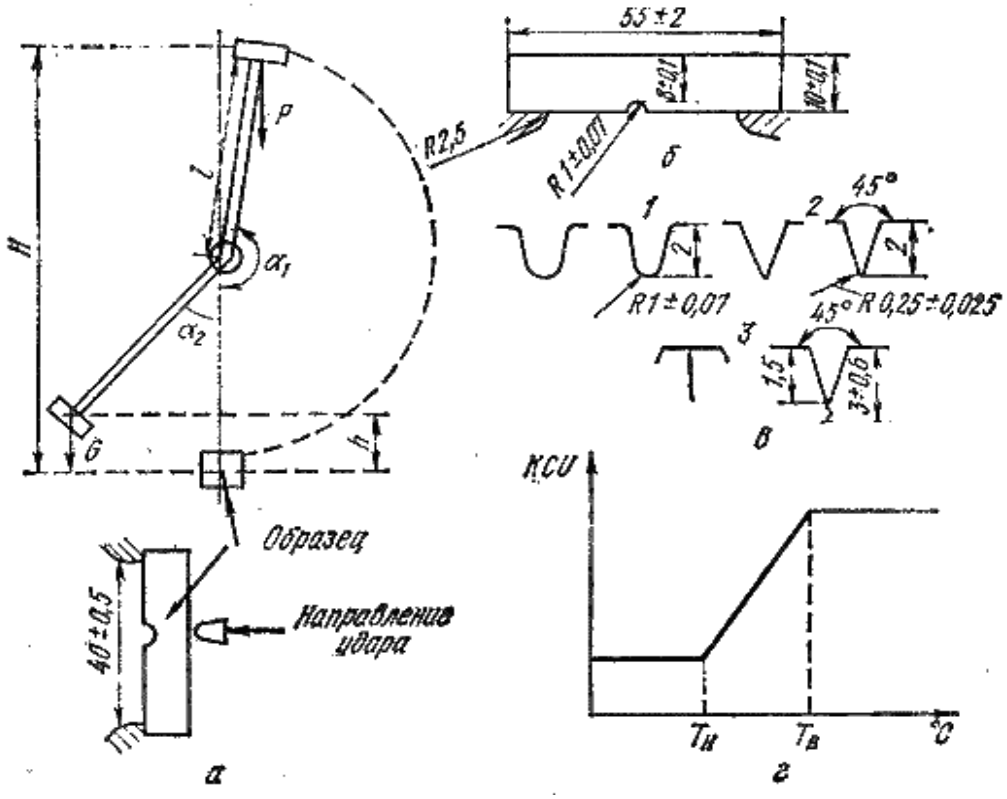


Рис.2.11. Схема испытания на ударную вязкость: *а* – схема маятникового копра; *б* – стандартный образец с надрезом; *в* – виды концентраторов напряжений*; г* – зависимость вязкости от температуры

$$a_н = \frac{A}{F_0}$$

где: F_0 - площадь поперечного сечения в месте надреза.

ГОСТ 9454 – 78 ударную вязкость обозначает KCV. KCU. KCT. KC – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (Т) (рис. 2.11в)

Серийные испытания для оценки склонности металла к хладоломкости и определения критических порогов хладоломкости. Испытывают серию образцов при различных температурах и строят кривые ударная вязкость – температура ($a_н – T$) (рис. 2.11 г), определяя пороги хладоломкости.

Порог хладоломкости - температурный интервал изменения характера разрушения, является важным параметром конструкционной прочности. Чем ниже порог хладоломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений (резкие переходы, отверстия, риски), к скорости деформации.

Оценка вязкости по виду излома. При вязком состоянии металла в изломе более 90 % волокон, за верхний порог хладоломкости $T_в$ принимается температура, обеспечивающая такое состояние. При хрупком состоянии металла в изломе 10 % волокон, за нижний порог хладоломкости $T_н$ принимается температура, обеспечивающая такое состояние. В технике за порог хладоломкости принимают температуру, при которой в изломе 50 % вязкой составляющей. Причем эта температура должна быть ниже температуры эксплуатации изделий не менее чем на 40°С.

Испытания на выностивость (ГОСТ 2860) дают характеристики усталостной прочности.

Усталость - разрушение материала при повторных знакопеременных напряжениях, величина которых не превышает предела текучести.

Усталостная прочность – способность материала сопротивляться усталости. Процесс усталости состоит из трех этапов, соответствующие этим этапам зоны в изломе показаны на рис.2.12.

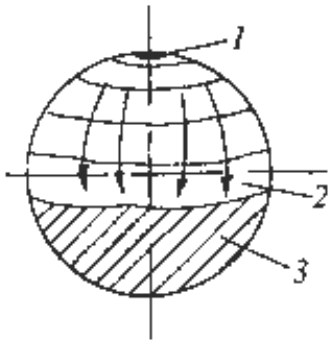


Рис 2.12. Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца
1 – образование трещины в наиболее нагруженной части сечения, которая подвергалась мик-

родеформациям и получила максимальное упрочнение

2 – постепенное распространение трещины, гладкая притертая поверхность

3 – окончательное разрушение, зона “долома“, живое сечение уменьшается,а истинное напряжение увеличивается, пока не происходит разрушение хрупкое или вязкое

Характеристики усталостной прочности определяются при циклических испытаниях “изгиб при вращении“. Схема представлена на рис. 2.13.

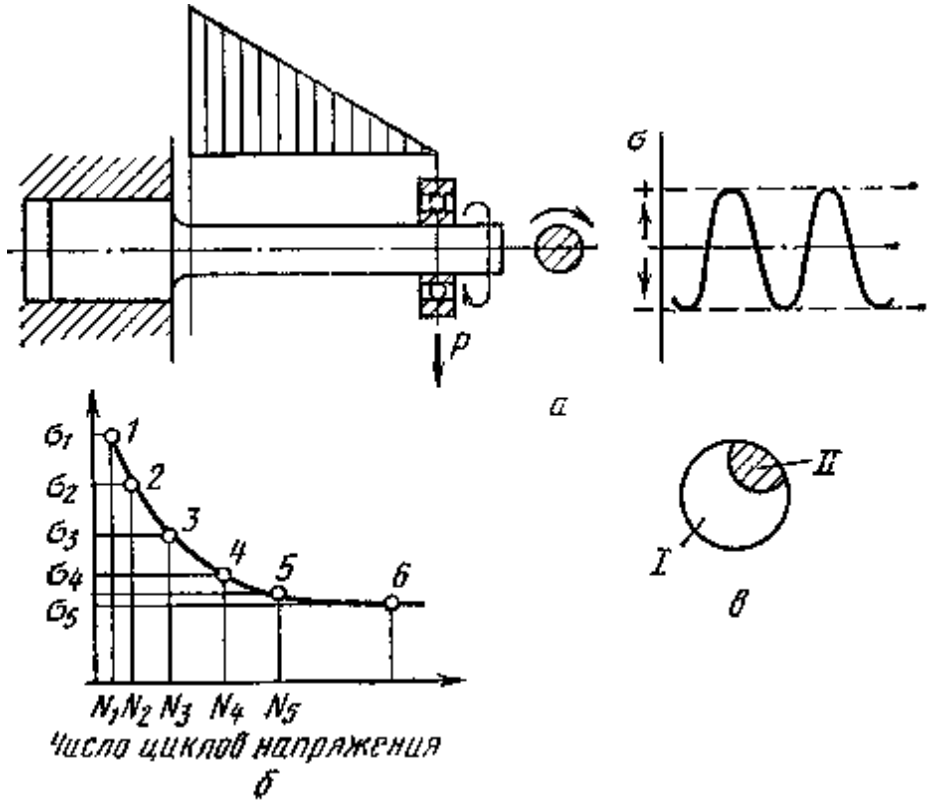


Рис. 2.13. Испытания на усталость (а), кривая усталости (б)

Основные характеристики:

Предел выносливпсти (σ_{-1} – при симметричном изменении нагрузки, σ_R – при несимметричном изменении нагрузки) – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за произвольно большое число циклов нагружения N.

Ограниченный предел выносливости – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

Живучесть – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.

Технологические свойства

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

1. Литейные свойства.

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

Жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

Усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

Ликвация – неоднородность химического состава по объему.

2. Способность материала к обработке давлением.

Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.

Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб.

Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

3. Свариваемость.

Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

4. Способность к обработке резанием.

Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. *Износостойкость* – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.
2. *Коррозионная стойкость* – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.
3. *Жаростойкость* – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.
4. *Жаропрочность* – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.
5. *Хладостойкость* – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.
6. *Антифрикционность* – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий.

При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Конструкционная прочность материалов

В результате испытаний получают характеристики:

- силовые (предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, предел выносливости);
- деформационные (относительное удлинение, относительное сужение);
- энергетические (ударная вязкость).

Все они характеризуют общую прочность материала независимо от назначения, конструкции и условий эксплуатации. Высокое качество детали может быть достигнуто только при учете всех особенностей, которые имеют место в процессе работы детали, и которые определяют ее *конструкционную прочность*.

Конструкционная прочность – комплекс прочностных свойств, которые находятся в наибольшей корреляции со служебными свойствами данного изделия, обеспечивают длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации.

На конструкционную прочность влияют следующие факторы:

- конструкционные особенности детали (форма и размеры);
- механизмы различных видов разрушения детали;
- состояние материала в поверхностном слое детали;
- процессы, происходящие в поверхностном слое детали, приводящие к отказам при работе.

Необходимым условием создания качественных конструкций при экономном использовании материала является учет дополнительных критериев, влияющих на конструкционную прочность. Этими критериями являются *надежность* и *долговечность*.

Надежность – свойство изделий, выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в течение требуемого времени.

Развитие хрупкого разрушения происходит при низких температурах, при наличии трещин, при повышенных остаточных напряжениях, а также при развитии усталостных процессов и коррозии.

Критериями, определяющими надежность, являются температурные пороги хладоломкости, сопротивление распространению трещин, ударная вязкость, характеристики пластичности, живучесть.

Долговечность – способность детали сохранять работоспособность до определенного состояния.

Долговечность определяется усталостью металла, процессами износа, коррозии и другими, которые вызывают постепенное разрушение и не влекут аварийных последствий, то есть условиями работы.

Критериями, определяющими долговечность, являются усталостная прочность, износостойкость, сопротивление коррозии, контактная прочность.

Общими принципами выбора критериев для оценки конструкционной прочности являются:

- аналогия вида напряженного состояния в испытываемых образцах и изделиях;
- аналогия условий испытания образцов и условий эксплуатации (температура, среда, порядок нагружения;
- аналогия характера разрушения и вида излома в образце и изделии.

Особенности деформации поликристаллических тел. Рассмотрим холодную пластическую деформацию поликристалла. Пластическая деформация металлов и сплавов как тел поликристаллических, имеет некоторые особенности по сравнению с пластической деформацией монокристалла.

Деформация поликристаллического тела складывается из деформации отдельных зерен и деформации в приграничных объемах. Отдельные зерна деформируются скольжением и двойникованием, однако взаимная связь зерен и их множественность в поликристалле вносят свои особенности в механизм деформации.

Плоскости скольжения зерен произвольно ориентированны в пространстве, поэтому под влиянием внешних сил напряжения в плоскостях скольжения отдельных зерен будут различны. Деформация начинается в отдельных зернах, в плоскостях скольжения которых возникают максимальные касательные напряжения. Соседние зерна будут разворачиваться и постепенно вовлекаться в процесс деформации. Деформация приводит к изменению формы зерен: зерна получают форму, вытянутую в направлении наиболее интенсивного течения металла (поворачиваются осями наибольшей прочности вдоль направления деформации). Изменение структуры при деформации показано на рис. 2.14.

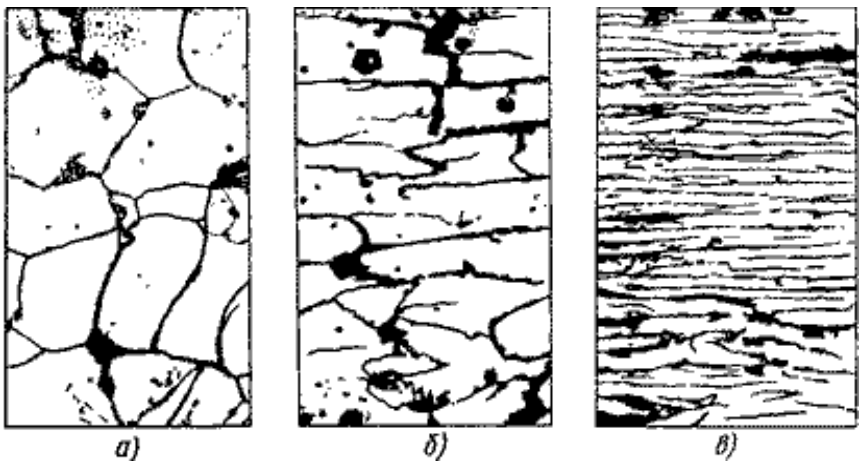
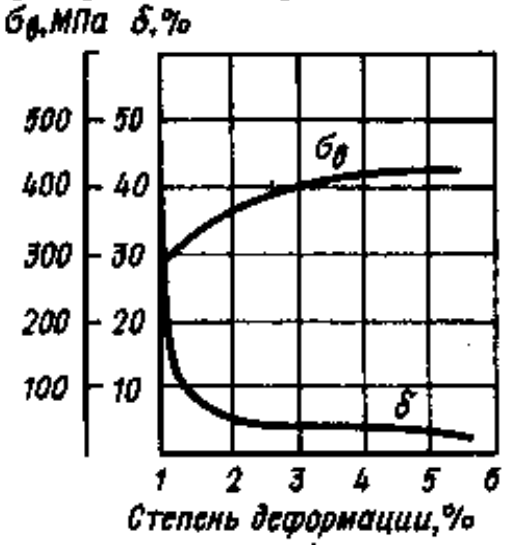


Рис. 2.14. Изменение структуры при деформации: а) до деформации; б) после обжатия на 35%; в) после обжатия на 90%.

Металл приобретает волокнистое строение. Волокна с вытянутыми вдоль них неметаллическими включениями являются причиной неодинаковости свойств вдоль и поперек волокон. Одновременно с изменением формы зерен в

процессе пластической деформации происходит изменение ориентировки в пространстве их кристаллической решетки.



Когда кристаллические решетки большинства зерен получают одинаковую ориентировку, возникает *текстура деформации*.

Рис.2.15. Влияние холодной пластической деформации на механические свойства металла

Влияние пластической деформации на структуру и свойства металла: наклеп

Текстура деформации создает кристаллическую анизотропию, при которой наибольшая разница свойств проявляется для направлений, расположенных под углом 45° друг к другу. С увеличением степени деформации характеристики пластичности (относительное удлинение, относительное сужение) и вязкости (ударная вязкость) уменьшаются, а прочностные характеристики (предел упругости, предел текучести, предел прочности) и твердость увеличиваются (рис. 2.15). Также повышается электросопротивление, снижаются сопротивление коррозии, теплопроводность, магнитная проницаемость.

Совокупность явлений, связанных с изменением механических, физических и других свойств металлов в процессе пластической деформации называют *деформационным упрочнением* или *наклепом.*

Упрочнение при наклепе объясняется возрастанием на несколько порядков плотности дислокаций:

$$\rho = 10^6 \ldots 10^8 \rightarrow 10^{11} - 10^{12} см^2$$

Их свободное перемещение затрудняется взаимным влиянием, также торможением дислокаций в связи с измельчением блоков и зерен, искажениями решетки металлов, возникновением напряжений.

Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла: возврат и рекристаллизация

Деформированный металл находится в неравновесном состоянии. Переход к равновесному состоянию связан с уменьшением искажений в кристаллической решетке, снятием напряжений, что определяется возможностью перемещения атомов.

При низких температурах подвижность атомов мала, поэтому состояние наклепа может сохраняться неограниченно долго.

При повышении температуры металла в процессе нагрева после пластической деформации диффузия атомов увеличивается и начинают действовать процессы разупрочнения, приводящие металл в более равновесное состояние – *возврат* и *рекристаллизация.*

Возврат. Небольшой нагрев вызывает ускорение движения атомов, снижение плотности дислокаций, устранение внутренних напряжений и восстановление кристаллической решетки

Процесс частичного разупрочнения и восстановления свойств называется *отдыхом* (первая стадия возврата). Имеет место при температуре

$$T = (0{,}25...0{,}3)T_{пл}.$$

Возврат уменьшает искажение кристаллической решетки, но не влияет на размеры и форму зерен и не препятствует образованию текстуры деформации.

Полигонизация – процесс деления зерен на части: фрагменты, полигоны в результате скольжения и переползания дислокаций.

При температурах возврата возможна группировка дислокаций одинаковых знаков в стенки, деление зерна малоугловыми границами (рис. 2.16).

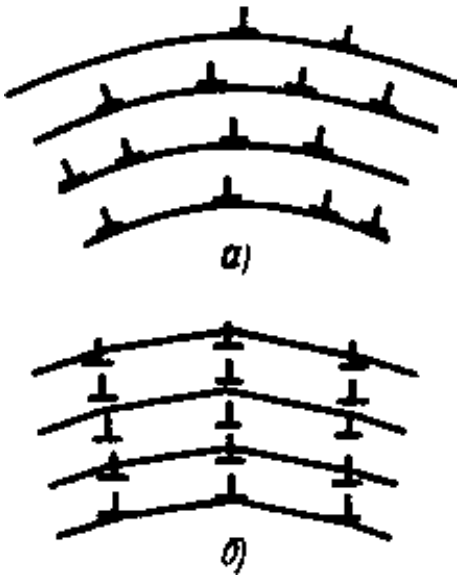


Рис. 2.16. Схема полигонизации: *а* – хаотическое расположение краевых дислокаций в деформированном металле; *б* – дислокационные стенки после полигонизации.

В полигонизированном состоянии кристалл обладает меньшей энергией, поэтому образование полигонов — процесс энергетически выгодный.

Процесс протекает при небольших степенях пластической деформации. В результате понижается прочность на (10…15) % и повышается пластичность (рис.2.17). Границы полигонов мигрируют в сторону большей объемной плотности дислокаций, присоединяя новые дислокации, благодаря чему углы разориентировки зерен увеличиваются (зерна аналогичны зернам, образующимся при рекристаллизации). Изменений в микроструктуре не наблюдается (рис.2.18 а). Температура начала полигонизации не является постоянной. Скорость процесса зависит от природы металла, содержания примесей, степени предшествующей деформации.

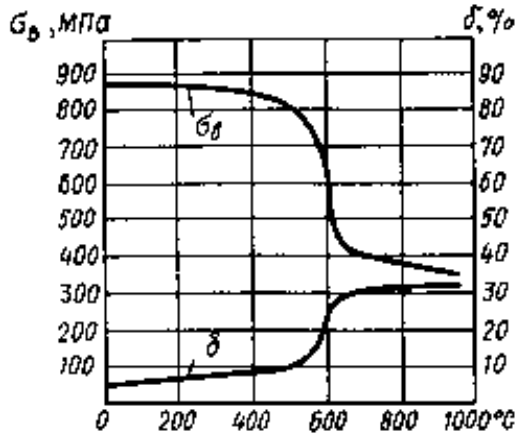


Рис. 2.17. Влияние нагрева деформированного металла на механические свойств

При нагреве до достаточно высоких температур подвижность атомов возрастает и происходит *рекристаллизация*.

Рекристаллизация – процесс зарождения и роста новых недеформированных зерен при нагреве наклепанного металла до определенной температуры.

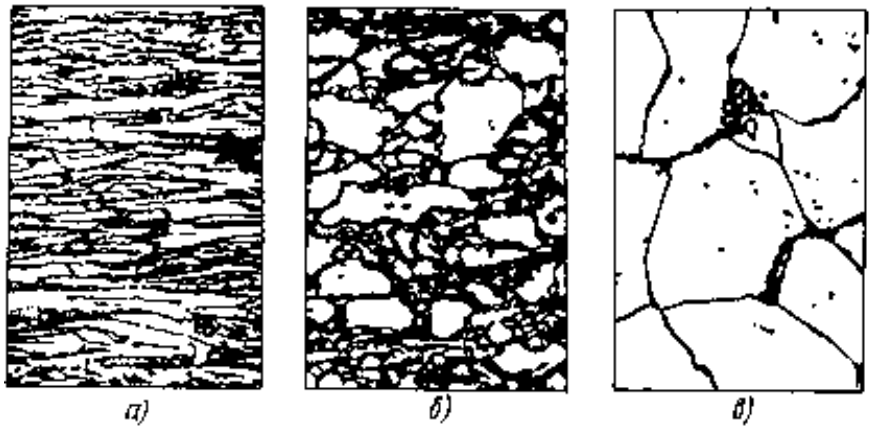


Рис. 2.18. Изменение структуры деформированного металла при нагреве

Нагрев металла до температур рекристаллизации сопровождается резким изменением микроструктуры и свойств. Нагрев приводит к резкому снижению

прочности при одновременном возрастании пластичности. Также снижается электросопротивление и повышается теплопроводность.

1 стадия – первичная рекристаллизация (обработки) заключается в образовании центров кристаллизации и росте новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Новые зерна возникают у границ старых зерен и блоков, где решетка была наиболее искажена. Количество новых зерен постепенно увеличивается и в структуре не остается старых деформированных зерен.

Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в наклепанном металле. Система стремится перейти в устойчивое состояние с неискаженной кристаллической решеткой.

2 стадия – собирательная рекристаллизация заключается в росте образовавшихся новых зерен.

Движущей силой является поверхностная энергия зерен. При мелких зернах поверхность раздела большая, поэтому имеется большой запас поверхностной энергии. При укрупнении зерен общая протяженность границ уменьшается, и система переходит в более равновесное состояние.

Температура начала рекристаллизации связана с температурой плавления

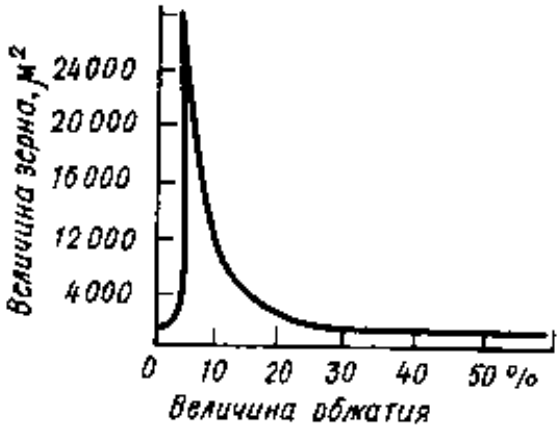
$$T_{рек} = aT_{пл},$$

для металлов $a = 0{,}4$

для твердых растворов $a = 0{,}5...0{,}8$

для металлов высокой чистоты $a = 0{,}1...0{,}2$

На свойства металла большое влияние оказывает размер зерен, получившихся при рекристаллизации. В результате образования крупных зерен при нагреве до температуры t_1 начинает понижаться прочность и, особенно значительно, пластичность металла.



Основными факторами, определяющими величину зерен металла при рекристаллизации, являются температура, продолжительность выдержки при нагреве и степень предварительной деформации (рис.2.19).

Рис. 2.19. Влияние предварительной степени деформации металла на величину зерна после рекристаллизации

С повышением температуры происходит укрупнение зерен, с увеличением времени выдержки зерна также укрупняются. Наиболее крупные зерна образуются после незначительной предварительной деформации 3…10 %. Такую деформацию называют *критической.* И такая деформация нежелательна перед проведением рекристаллизационного отжига.

Практически рекристаллизационный отжиг проводят дпя малоуглеродистых сталей при температуре 600…700°С, для латуней и бронз – 560…700°С, для алюминевых сплавов – 350…450°С, для титановых сплавов – 550…750°С.

Тема 3. Железо и его сплавы

Компоненты, фазы и структурные составляющие в сплавах железа с углеродом, их характеристики, условия образования и свойства. Диаграмма состояния железо - углерод. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали. Классификация и маркировка углеродистых сталей. Автоматные стали. Чугуны: виды, микроструктура, свойства и маркировка. Факторы, способствующие графитизации.

Структуры железоуглеродистых сплавов

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Начало изучению диаграммы железо – углерод положил Чернов Д.К. в 1868 году. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит – Fe_3C. Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего $6{,}67\%$ углерода.

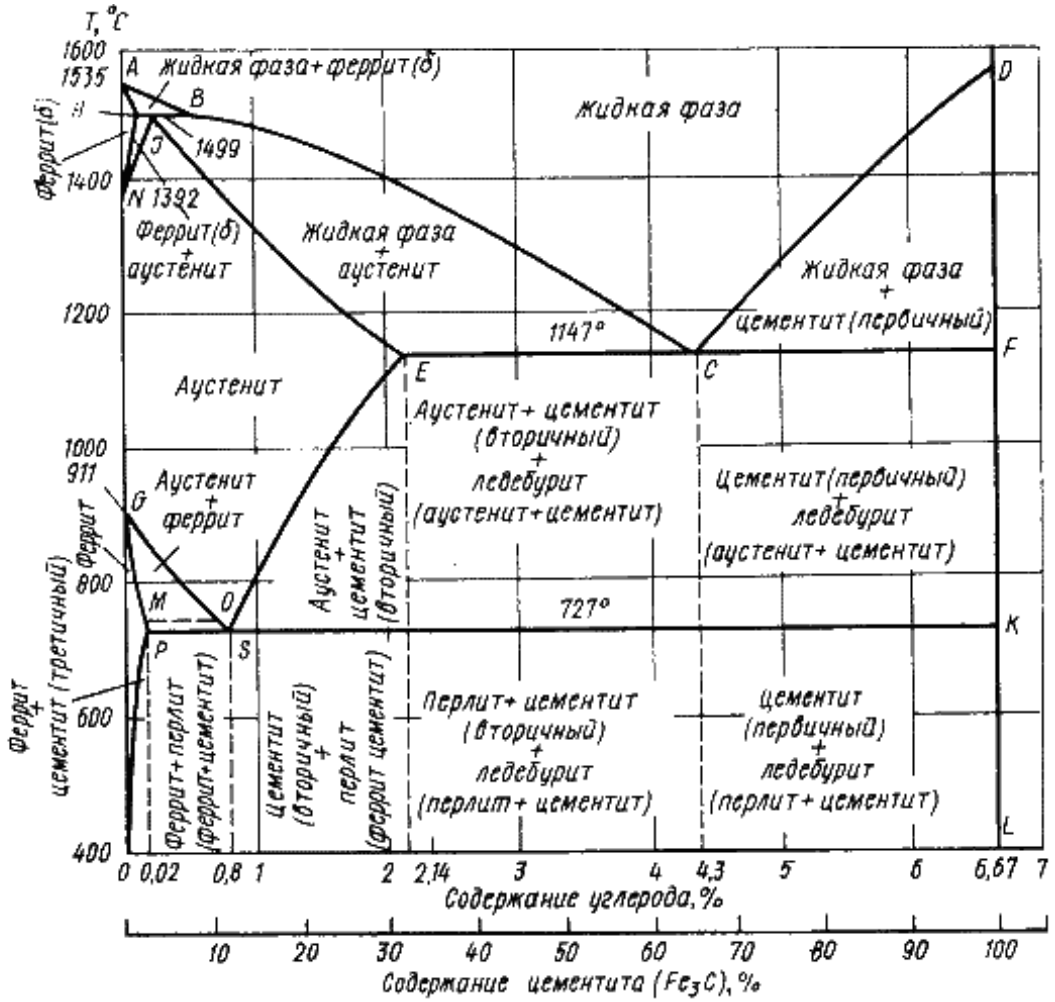


Рис. 3.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

1. Железо – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления – $1539^{o}\,C \pm 5^{o}\,C$.

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911° *С* и 1392° *С*. При температуре ниже 911° *С* существует Fe_α с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур 911…1392° *С* устойчивым является Fe_γ с гранецентрированной кубической решеткой. Выше 1392° *С* железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется Fe_δ или высокотемпературное Fe_α. Высокотемпературная модификация Fe_α не представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру 911°С превращения $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$ обозначают точкой A_3, а температуру 1392° *С* превращения $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$ - точкой A_4.

При температуре ниже 768° *С* железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа 768° *С* обозначается A_2.

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – $\sigma_B = 250 МПа$, предел текучести – $\sigma_T = 120 МПа$) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение – $\delta = 50\%$, а относительное сужение – $\psi = 80\%$). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов.

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

2. Углерод относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления – *3500* ^0C, плотность – *2,5 г/см*^{3}) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления – *5000* ^0C).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита (Fe_3C), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. Цементит (Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит *6,67 %* углерода.

Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу.

Температура плавления цементита точно не установлена (1250, 1550° *С*). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217° *С*.

Цементит имеет высокую твердость (более *800 НВ*, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется *легированным цементитом.*

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

В системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. Феррит (Ф) Fe_α *(С)* – твердый раствор внедрения углерода в α-железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – *0,006 %* при комнатной температуре (точка *Q*), максимальную – *0,02 %* при температуре 727° *С* (точка *Р*). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше 1392° *С* существует высокотемпературный феррит (δ) (Fe_δ (С), с предельной растворимостью углерода *0,1 %* при температуре 1499° *С* (точка *J*)

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – *130 НВ*, предел прочности – $\sigma_в = 300 МПа$) и пластичен (относительное удлинение – $\delta = 30\%$), магнитен до 768° *С.*

3. *Аустенит (А)* Fe_γ *(С)* – твердый раствор внедрения углерода в γ-железо.

Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки.

Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – *0,8 %* при температуре 727° *С* (точка *S*), максимальную – *2,14 %* при температуре 1147° *С* (точка *Е*).

Аустенит имеет твердость *200…250 НВ*, пластичен (относительное удлинение – $\delta = 40...50\%$), парамагнитен.

При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

4. Цементит – характеристика дана выше.

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный *($Ц_I$),* цементит вторичный *($Ц_{II}$),* цементит третичный ($Ц_{III}$). Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Линия *ABCD* – ликвидус системы. На участке *AB* начинается кристаллизация феррита (δ), на участке *BC* начинается кристаллизация аустенита, на участке *CD* – кристаллизация цементита первичного.

Линия AHJECF – линия солидус. На участке AH заканчивается кристаллизация феррита (δ). На линии HJB при постоянной температуре 1499ºС идет перетектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита (δ), в результате чего образуется аустенит:

$$L + \Phi(\delta) \rightarrow A$$

На участке JE заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ECF при постоянной температуре 1147º С идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:

$$L_{4,3} \rightarrow эвт.(A + Ц_I)$$

Эвтектика системы железо – цементит называется ледебуритом (Л), по имени немецкого ученого Ледебура, содержит 4,3 % углерода.

При температуре ниже 727º С в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный (ЛП).

По линии HN начинается превращение феррита (δ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии NJ превращение феррита (δ) в аустенит заканчивается.

По линии GS превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии PG превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ES начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

По линии MO при постоянной температуре 768° С имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре 727° С идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного:

$$A_{0,83} \rightarrow эвт.(Ф + Ц_{II})$$

По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы железо – цементит называется перлитом (П), содержит 0,8 % углерода.

Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск.

Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

По линии PQ начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.

Обозначаются буквой А (от французского arret – остановка):

A_1 – линия PSK (7270С) – превращение П $\leftrightarrow$ А;

A_2 – линия MO (7680С, т. Кюри) – магнитные превращения;

A_3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение Ф $\leftrightarrow$ А;

A_4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $A \leftrightarrow Ф(\delta)$;

Acm – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A_3).

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е A_{c1}, при охлаждении – букву r, т.е. A_{r1}.

Структуры железоуглеродистых сплавов

Все сплавы системы железо – цементит по структурному признаку делят на две большие группы: стали и чугуны.

Особую группу составляют сплавы с содержанием углерода менее 0,02% (точка Р), их называют техническое железо. Микроструктуры сплавов представлены на рис. 3.2. Структура таких сплавов после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита (рис.3.2 а), при содержании углерода менее 0,006 %, или из зерен феррита и кристаллов цементита третичного, расположенных по границам зерен феррита (рис. 3.2.б), если содержание углерода от 0,006 до 0,02 %.

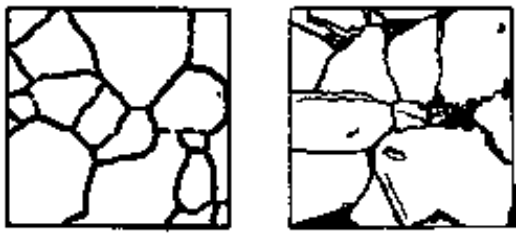


Рис.3.2. Микроструктуры технического железа: а – содержание углерода менее 0,006%; б – содержание углерода 0,006…0,02 %

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02…2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита.

Они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии.

Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита. Микроструктуры сталей представлены на рис. 3.3.

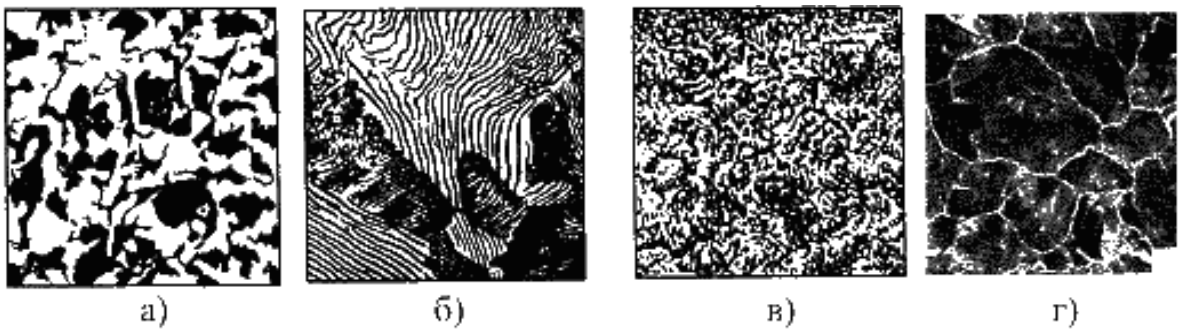


Рис. 3.3. Микроструктуры сталей: а – доэвтектоидная сталь $^{(Ф+П)}$; б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь $^{(П+Ц_{II})}$.

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на доэвтектоидные $^{(0,02\% < C < 0,8\%)}$, структура феррит + перлит $^{(Ф+П)}$ (рис.9.3 а); эвтектоидные $^{(C = 0,8\%)}$, структура перлит (П), перлит может быть пластинчатый или зернистый (рис. 9.3 б и 9.3 в); заэвтектоидные $^{(0,8\% < C < 2,14\%)}$, структура перлит + цементит вторичный (П + ЦII), цементитная сетка располагается вокруг зерен перлита.

По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить количество углерода в составе сплава, учитывая следующее: количество углерода в перлите составляет 0,8 %, в цементите – 6,67 %. Ввиду малой растворимости углерода в феррите, принимается, что в нем углерода нет.

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют чугунами.

Наличие легкоплавкого ледебурита в структуре чугунов повышает их литейные свойства.

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо – цементит, отличаются высокой хрупкостью. Цвет их излома – серебристо-белый. Такие чугуны называются белыми чугунами.

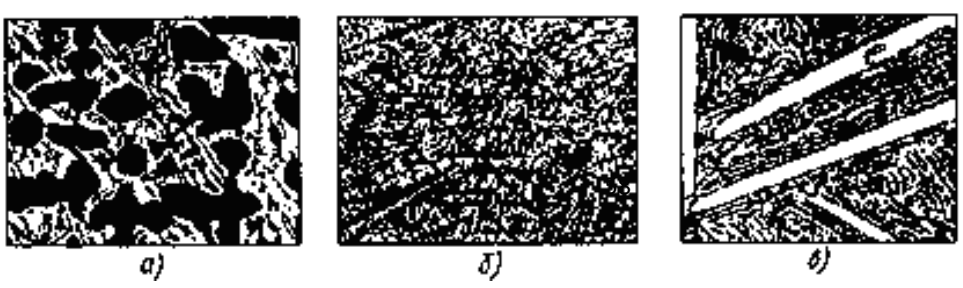


Рис. 3.4. Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугун $(П+Л+Ц_{II})$; б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугун $(Л+Ц_{I})$.

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические $(2{,}14\% < C < 4{,}3\%)$, структура перлит + ледебурит + цементит вторичный $(П+Л+Ц_{II})$; эвтектические $(C = 4{,}3\%)$, структура ледебурит (Л) (рис. 3.4 б); заэвтектические $(4{,}3\% < C < 6{,}67\%)$, структура ледебурит + цементит первичный $(Л+Ц_{I})$(рис. 3.4 в).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием. Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки.
Стали, подразделяют на углеродистые и легированные.

Влияние углерода и примесей на свойства сталей

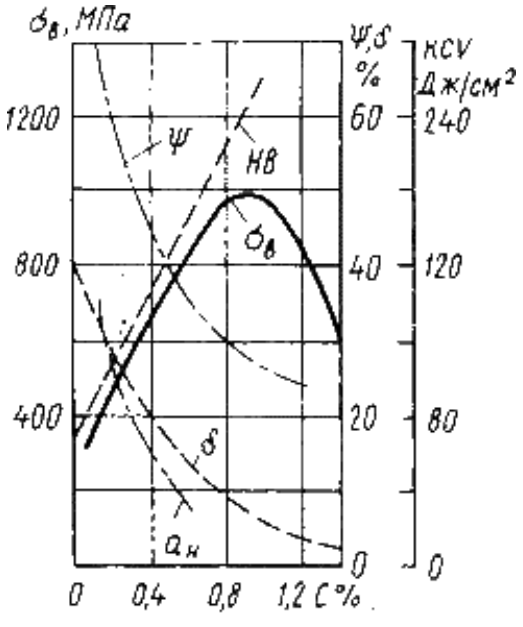


Рис.3.5. Влияние углерода на свойства сталей

Углеродистые стали являются основными. Их свойства определяются количеством углерода и содержанием примесей, которые взаимодействуют с железом и углеродом.

Влияние углерода.

Влияние углерода на свойства сталей показано на рис. 3.5. С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита, при одновременном снижении доли феррита. Изменение соотношения между составляющими приводит к уменьшению пластичности, а также к повышению прочности и твердости. Прочность повышается до содержания углерода около *1%,* а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.

Углерод влияет на вязкие свойства. Увеличение содержания углерода повышает порог хладоломкости и снижает ударную вязкость.

Повышаются электросопротивление и коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность магнитной индукции.

Углерод оказывает влияние и на технологические свойства. Повышение содержания углерода ухудшает литейные свойства стали (используются стали с содержанием углерода до 0,4 %), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость. Следует учитывать, что стали с низким содержанием углерода также плохо обрабатываются резанием.

Влияние примесей.

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы.
1. *Постоянные примеси*: кремний, марганец, сера, фосфор.

Марганец и кремний вводятся в процессе выплавки стали для раскисления, они являются технологическими примесями.

Содержание марганца не превышает *0,5…0,8 %.* Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа *FeS*, так как образует с серой соединение сульфид марганца *MnS*. Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает *0,35…0,4 %.* Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка.

Кремний растворяется в феррите и повышает прочность стали, особенно повышается предел текучести, $\sigma_{0,2}$. Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке

Содержание фосфора в стали *0,025…0,045 %.* Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности $\sigma_в$ и предел текучести $\sigma_т$, но снижает пластичность и вязкость.

Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладоломкость, уменьшает работу распространения трещин, Повышение содержания фосфора на каждую *0,01 %* повышает порог хладоломкости на *20…25°С.*

Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость.

Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до *0,10…0,15 %,* для улучшения обрабатываемости резанием.

S – уменьшается пластичность, свариваемость и коррозионная стойкость. Р– искажает кристаллическую решетку.

Содержание серы в сталях составляет *0,025…0,06 %.* Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы *FeS*, которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления *988°С.* При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины, заготовка разрушается – явление *красноломкости*.

Красноломкость – повышение хрупкости при высоких температурах

Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость $a_н$ и пластичность (δ и ψ), а так же предел выносливости. Она ухудшают свариваемость и коррозионную стойкость.

2. *Скрытые примеси* - газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов (*FeO, SiO_2, Al_2O_3*) нитридов (*Fe_2N*), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Примеси внедрения (азот *N*, кислород *O*) повышают порог хладоломкости и снижают сопротивление хрупкому разрушению. Неметаллические включения (окислы, нитриды), являясь концентраторами напряжений, могут значительно понизить предел выносливости и вязкость.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катанных заготовках и поковках *флокенов.*

Флокены – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета.

Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле.

Если водород находится в поверхностном слое, то он удаляется в результате нагрева при *150…180*^{0}, лучше в вакууме $\sim 10^{-2}...10^{-3}$ мм рт. ст.

Для удаления скрытых примесей используют вакуумирование.

3. *Специальные примеси* – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали - легированные сталями.

Назначение легирующих элементов.

Основным легирующим элементом является хром *(0,8…1,2)%.* Он повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали. Порог хладоломкости хромистых сталей - (0…-100)^{o}С.

Дополнительные легирующие элементы.
Бор - 0.003%. Увеличивает прокаливаемость, а такхе повышает порог хладоломкости *(+20…-60 ^{o}С.*

Марганец – увеличивает прокаливаемость, однако содействует росту зерна, и повышает порог хладоломкости до *(+40…-60)^{o}С.*

Титан *(~0,1%)* вводят для измельчения зерна в хромомарганцевой стали.

Введение молибдена *(0,15…0,46%)* в хромистые стали увеличивает прокаливаемость, снихает порог хладоломкости до *–20…-120^{o}С.* Молибден увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, устраняет склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.

Ванадий в количестве *(0.1…0.3) %* в хромистых сталях измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладоломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток компенсируется введением в сталь молибдена). Хромоникелевые стали, обладают наилучшим комплексом свойств. Однако никель является дефицитным, и применение таких сталей ограничено.

Значительное количество никеля можно заменить медью, это не приводит к снижению вязкости.

При легировании хромомарганцевых сталей кремнием получают, стали – хромансиль *(20ХГС, 30ХГСА)*. Стали обладают хорошим сочетанием прочности и вязкости, хорошо свариваются, штампуются и обрабатываются резанием.Кремний повышает ударную вязкость и температурный запас вязкости.

Добавка свинца, кальция – улучшает обрабатываемость резанием. Применение упрочнения термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

Распределение легирующих элементов в стали.

Легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (феррит, аустенит, цементит), или образуют специальные карбиды.

Растворение легирующих элементов в Fe_α происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Эти амомы создают в решетке напряжения, которые вызывают изменение ее периода.

Изменение размеров решетки вызывает изменение свойств феррита – прочность повышается, пластичность уменьшается. Хром, молибден и вольфрам упрочняют меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден и вольфрам, а твкже кремний и марганец в определенных количествах, снижают вязкость.

В сталях карбиды образуются металлами, расположенными в таблице Менделеева левее железа (хром, ванадий, титан), которые имеют менее достроенную *d* – электронную полосу.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение *d* – электронной полосы атома металла, тогда как у металла валентные электроны образуют металлическую связь, обуславливающую металлические свойства карбидов.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла более *0,59* образуются типичные химические соединения: Fe_3C, Mn_3C, $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3, Fe_3W_3C – которые имеют сложную кристаллическую решетку и при нагреве растворяются в аустените.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла менее *0,59* образуются фазы внедрения: Mo_2C, WC, VC, TiC, TaC, W_2C – которые имеют простую кристаллическую решетку и трудно растворяются в аустените.

Все карбиды обладают высокой твердостью и температурой плавления.

Классификация сталей

Стали классифицируются по множеству признаков.

1. По химическому составу: углеродистые и легированные.
2. По содержанию углерода:
   - низкоуглеродистые, с содержанием углерода до *0,25 %;*
   - среднеуглеродистые, с содержанием углерода *0,3…0,6 %;*
   - высокоуглеродистые, с содержанием углерода выше *0,7 %*
3. По равновесной структуре: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.
4. По качеству. Количественным показателем качества является содержания вредных примесей: серы и фосфора:
   - $0,04 \le S \le 0,06\%$, $0,04 \le P \le 0,08\%$ – углеродистые стали обыкновенного качества:
   - $P,S = 0,03...0,04\%$ – качественные стали;
   - $P,S \le 0,03\%$ – высококачественные стали.
5. По способу выплавки:
   - в мартеновских печах;
   - в кислородных конверторах;
   - в электрических печах: электродуговых, индукционных и др.
6. По назначению:
   - конструкционные – применяются для изготовления деталей машин и механизмов;
   - инструментальные – применяются для изготовления различных инструментов;
   - специальные – стали с особыми свойствами: электротехнические, с особыми магнитными свойствами и др.
   -

Маркировка сталей

Принято буквенно-цифровое обозначение сталей

Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380).

Стали содержат повышенное количество серы и фосфора

Маркируются Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – индекс данной группы стали. Цифры от *0* до *6* - это условный номер марки стали. С увеличением номера марки возрастает прочность и снижается пластичность стали. По гарантиям при поставке существует три группы сталей: А, Б и В. Для сталей группы А при поставке гарантируются механические свойства, в обозначении индекс группы А не указывается. Для сталей группы Б гарантируется химический состав. Для сталей группы В при поставке гарантируются и механические свойства, и химический состав.

Индексы кп, пс, сп указывают степень раскисленности стали: кп - кипящая, пс - полуспокойная, сп - спокойная.

Качественные углеродистые стали

Качественные стали поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В). Степень раскисленности, в основном, спокойная.

Конструкционные качественные углеродистые стали Маркируются двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Указывается степень раскисленности, если она отличается от спокойной.

Сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45.

Содержание углерода, соответственно, *0,08 %, 0,10 %, 0.45 %.*

Инструментальные качественные углеродистые стали маркируются буквой У (углеродистая инструментальная сталь) и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента.

Сталь У8, сталь У13.

Содержание углерода, соответственно, 0,8 % и 1,3 %

Инструментальные высококачественные углеродистые стали. Маркируются аналогично качественным инструментальным углеродистым сталям, только в конце марки ставят букву А, для обозначения высокого качества стали.

Сталь У10А.

Качественные и высококачественные легированные стали

Обозначение буквенно-цифровое. Легирующие элементы имеют условные обозначения, Обозначаются буквами русского алфавита.

Обозначения легирующих элементов:

Х – хром, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам, К – кобальт, Т – титан, А – азот (указывается в середине марки), Г – марганец, Д – медь, Ф – ванадий, С – кремний, П – фосфор, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий, Ю – алюминий

Легированные конструкционные стали

Сталь 15Х25Н19ВС2

В начале марки указывается двухзначное число, показывающее содержание углерода в сотых долях процента. Далее перечисляются легирующие элементы.

Число, следующее за условным обозначение элемента, показывает его содержание в процентах,

Если число не стоит, то содержание элемента не превышает *1,5 %.*

В указанной марке стали содержится *0,15 %* углерода, *35%* хрома, *19 %* никеля, до *1,5%* вольфрама, до *2 %* кремния.

Для обозначения высококачественных легированных сталей в конце марки указывается символ А.

Легированные инструментальные стали

Сталь 9ХС, сталь ХВГ.

В начале марки указывается однозначное число, показывающее содержание углерода в десятых долях процента. При содержании углерода более 1 %, число не указывается,

Далее перечисляются легирующие элементы, с указанием их содержания.

Некоторые стали имеют нестандартные обозначения.

Быстрорежущие инструментальные стали

Сталь Р18

Р – индекс данной группы сталей (от rapid – скорость). Содержание углерода более 1%. Число показывает содержание основного легирующего элемента – вольфрама.

В указанной стали содержание вольфрама – *18 %.*

Если стали содержат легирующие элемент, то их содержание указывается после обозначения соответствующего элемента.

Шарикоподшипниковые стали

Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС

Ш – индекс данной группы сталей. Х – указывает на наличие в стали хрома. Последующее число показывает содержание хрома в десятых долях процента, в указанных сталях, соответственно, *0,6 %* и *1,5 %.* Также указываются входящие с состав стали легирующие элементы. Содержание углерода более *1 %.*

Классификация чугунов

Чугун отличается от стали: по составу – более высокое содержание углерода и примесей; по технологическим свойствам – более высокие литейные свойства, малая способность к пластической деформации, почти не используется в сварных конструкциях.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- белый чугун – углерод в связанном состоянии в виде цементита, в изломе имеет белый цвет и металлический блеск;
- серый чугун – весь углерод или большая часть находится в свободном состоянии в виде графита, а в связанном состоянии находится не более *0,8 %* углерода. Из-за большого количества графита его излом имеет серый цвет;
- половинчатый – часть углерода находится в свободном состоянии в форме графита, но не менее *2 %* углерода находится в форме цементита. Мало используется в технике.

Диаграмма состояния железо – графит. В результате превращения углерод может не только химически взаимодействовать с железом, но и выделяться в элементарном состоянии в форме графита. Жидкая фаза, аустенит и феррит могут находиться в равновесии и с графитом.

Диаграмма состояния железо – графит показана штриховыми линиями на рис. 3.6. Линии диаграммы находятся выше линий диаграммы железо – цементит. Температуры эвтектического и эвтектоидного превращений,соответственно, *1153°С* и 738°С. Точки *С*, *Е, S* – сдвинуты влево, и находятся при концентрации углерода *4,24, 2,11* и *0,7 %,* соответственно.

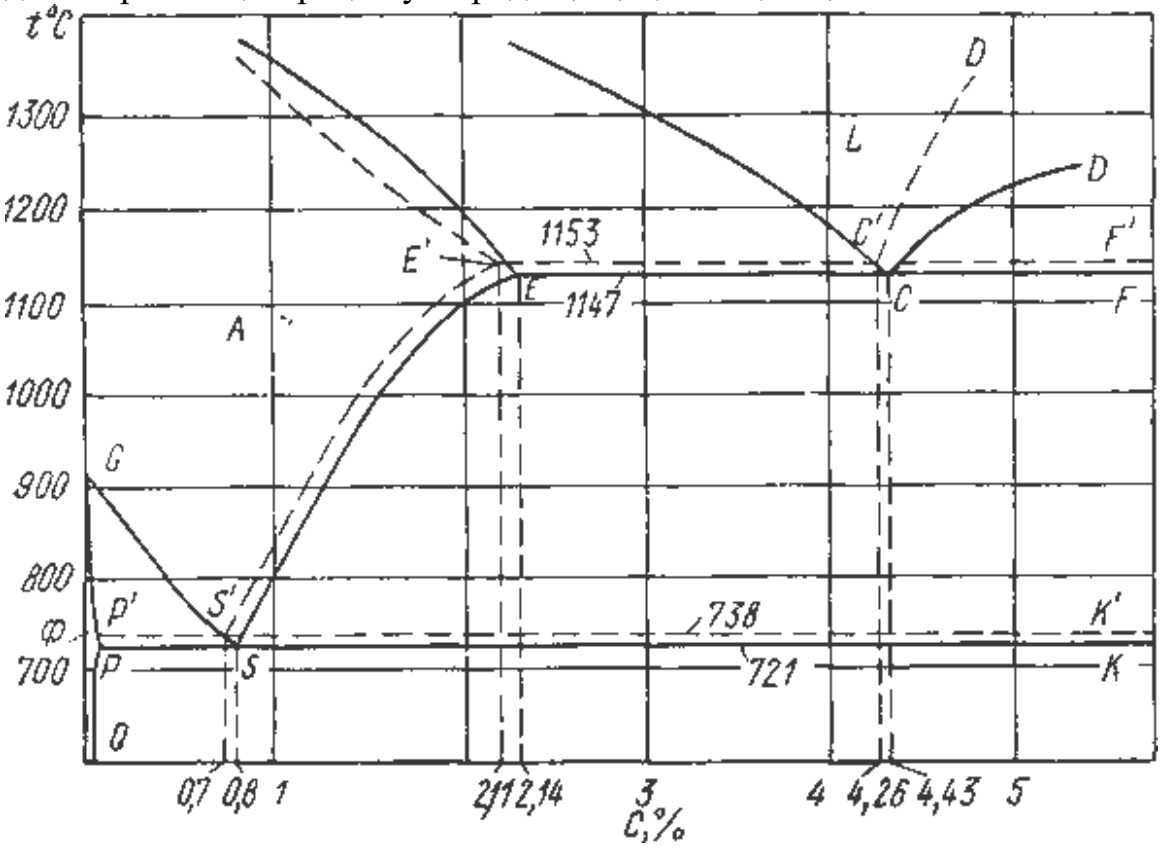


Рис.3.6. Диаграмма состояния железо – углерод: сплошные линии – цементитная система; пунктирные – графитная

При высоких температурах цементит разлагается с выделением графита, поэтому диаграмма состояния железо – цементит является метастабильной, а диаграмма железо – графит – стабильной. Процесс образования графита в сплавах железа с углеродом называется *графитизацией.*

Процесс графитизации.

Графит – это полиморфная модификация углерода. Так как графит содержит *100%* углерода, а цементит – *6,67 %*, то жидкая фаза и аустенит по составу более близки к цементиту, чем к графиту. Следовательно, образование цементита из жидкой фазы и аустенита должно протекать легче, чем графита. С другой стороны, при нагреве цементит разлагается на железо и углерод. Следовательно, графит является более стабильной фазой, чем цементит.

Возможны два пути образования графита в чугуне.

1. При благоприятных условиях (наличие в жидкой фазе готовых центров кристаллизации графита и очень медленное охлаждение) происходит непосредственное образование графита из жидкой фазы.
2. При разложении ранее образовавшегося цементита. При температурах выше *738°С* цементит разлагается на смесь аустенита и графита по схеме

$$Fe_3C \rightarrow 3Fe_\gamma(C) + C(графит).$$

При температурах ниже *738°С* разложение цементита осуществляется по схеме:

$$Fe_3C \rightarrow 3Fe_\alpha(C) + C(графит).$$

При малых скоростях охлаждение степень разложения цементита больше.

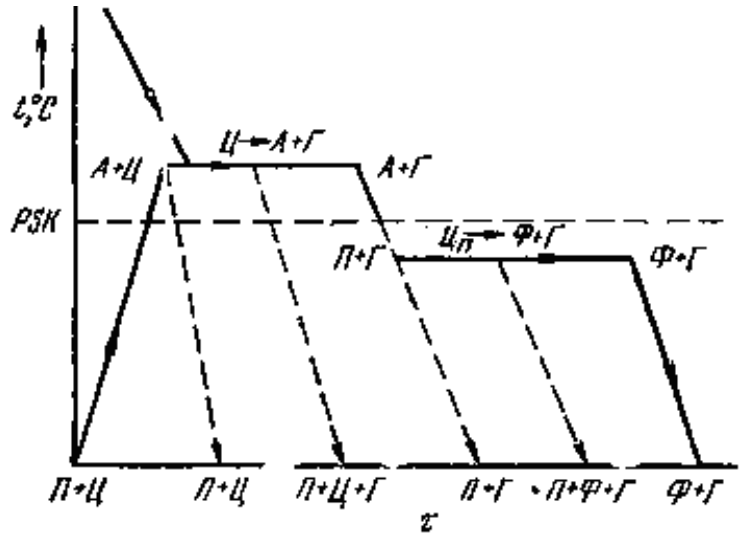


Рис. 3.7. Схема образования структур при графитизации

Графитизацию из жидкой фазы, а также от распада цементита первичного и цементита, входящего в состав эвтектики, называют *первичной стадией графитизации*.

Выделение вторичного графита из аустенита называют *промежуточной стадией графитизации.*

Образование эвтектоидного графита, а также графита, образовавшегося в результате цементита, входящего в состав перлита, называют *вторичной стадией графитизации.*

Структура чугунов зависит от степени графитизации, т.е. от того, сколько углерода находится в связанном состоянии.

Выдержка при температуре больше 738^oC приводит к графитизации избыточного нерастворившегося цементита. Если процесс завершить полностью, то при высокой температуре структура будет состоять из аустенита и графита, а после охлаждения – из перлита и графита.

При незавершенности процесса первичной графитизации, выше температуры 738^oC структура состоит из аустенита, графита и цементита, а ниже этой температуры – из перлита, графита и цементита.

При переходе через критическую точку превращения аустенита в перлит, и выдержке при температуре ниже критической приведет к распаду цементита, входящего в состав перлита (вторичная графитизация). Если процесс завершен полностью то структура состоит из феррита и графита, при незавершенности процесса – из перлита, феррита и графита.

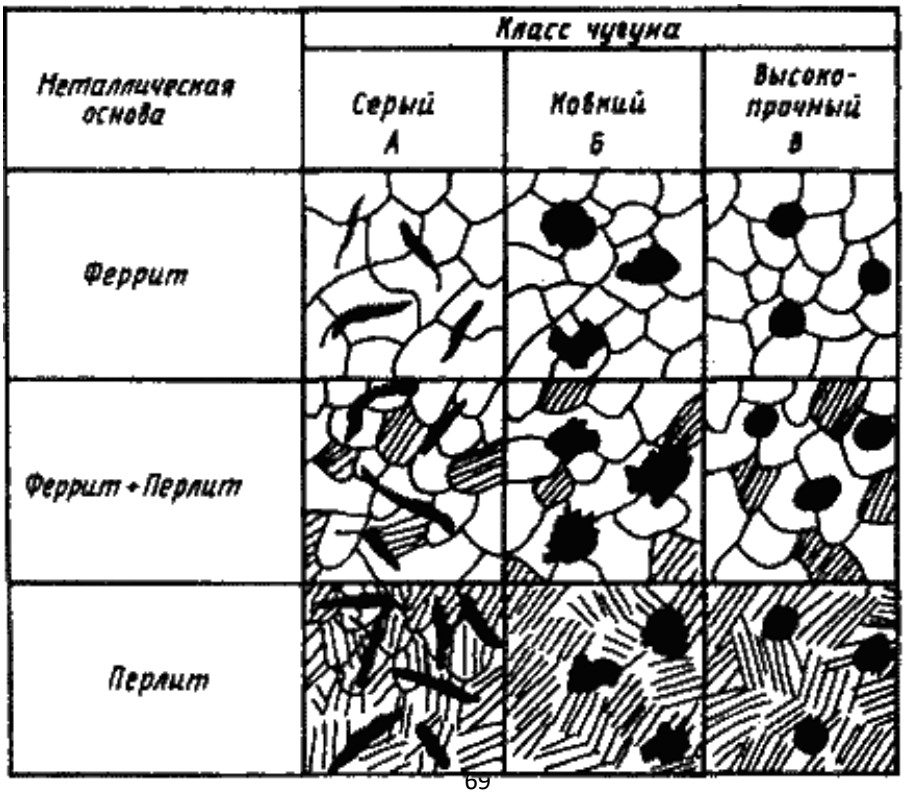


Рис. 3.8. Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Строение, свойства, классификация и маркировка серых чугунов

Из рассмотрения структур чугунов можно заключить, что их металлическая основа похожа на структуру эвтектоидной или доэвтектоидной стали или технического железа. Отличаются от стали только наличием графитовых включений, определяющих специальные свойства чугунов.

В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие группы чугунов: *серый* – с пластинчатым графитом; *высокопрочный* – с шаровидным графитом; *ковкий* – с хлопьевидным графитом.

Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений представлены на рис. 3.8

Наиболее широкое распространение получили чугуны с содержанием углерода *2,4…3,8%.* Чем выше содержание углерода, тем больше образуется графита и тем ниже его механические свойства, следовательно, количество углерода не должно превышать *3,8 %.* В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не менее *2,4 %.*

Влияние состава чугуна на процесс графитизации.

Углерод и кремний способствуют графитизации, марганец затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна. Сера способствует отбеливанию чугуна и ухудшает литейные свойства, ее содержание ограничено – *0,08…0,12 %*. Фосфор на процесс графитизации не влияет, но улучшает жидкотекучесть, Фосфор является в чугунах полезной примесью, его содержание – *0,3…0,8 %.*

Влияние графита на механические свойства отливок.

Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения, значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что графитовые включения пластинчатой формы в максимальной мере разупрочняют металл. Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита. Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение (δ) дпя серых чугунов составляет *0,5 %*, для ковких – до *10 %*, для высокопрочных – до *15%.*

Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв. Сопротивление сжатию снижается мало.

Положительные стороны наличия графита.

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

Серый и белый чугун.

<u>*Серый чугун*</u> имеет низкие характеристики механических свойств при испытаниях на растяжение. Включения графита играют роль концентраторов напряжений. Твёрдость и прочность при испытаниях на сжатие, зависящие от свойств металлической основы, у чугуна достаточно высоки. Серый чугун с пластинчатой формой графита имеет ряд преимуществ. Он позволяет получать дешёвое литьё, т.к. при низкой стоимости обладает хорошей жидкотекучестью и малой усадкой.

Механические свойства серых чугунов зависят от металлической основы, а также формы и размеров включений графита. Наиболее прочными являются серые чугуны на перлитной основе, а наиболее пластичными — серые чугуны на ферритной основе.

Серый чугун получают при добавлении в расплавленный металл веществ, способствующих распаду цементита и выделению углерода в виде графита. Для серого чугуна графитизатором является кремний. При введении в сплав кремния около 5% цементит серого чугуна практически полностью распадается и образуется структура из пластичной ферритной основы и включений графита. С уменьшением содержания кремния цементит, входящий в состав перлита, частично распадается и образуется ферритно-перлитная структура с включениями графита. При дальнейшем уменьшении содержания кремния формируется структура серого чугуна на перлитной основе с включениями графита.

Включения графита делают стружку ломкой, следовательно чугун хорошо обрабатывается резанием. Благодаря смазывающему действию графита чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами. Чугун имеет высокие демпфирующие свойства, хорошо гасит вибрации и резонансные колебания.

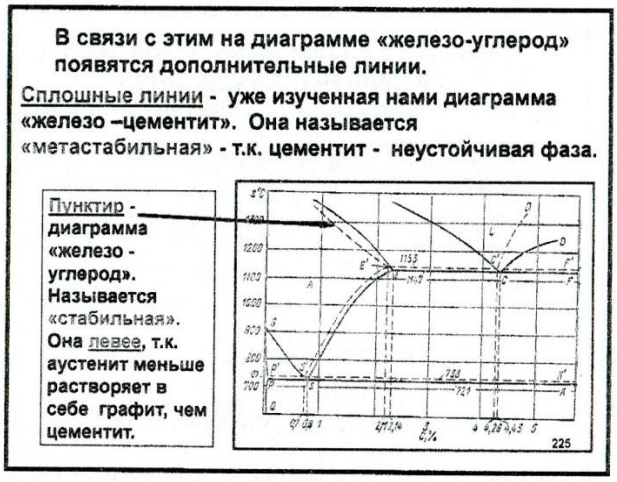
Маркируется серый чугун буквами СЧ и цифрами, характеризующими величину временного сопротивления при испытаниях на растяжение.

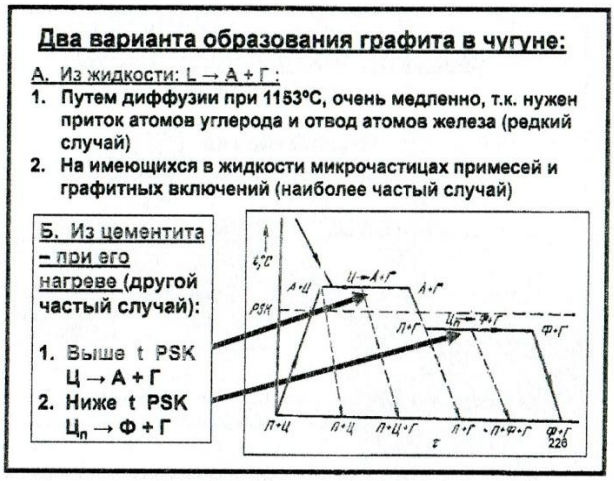
Например, *СЧ10* содержит (3,5…3,7)% C, (2,2…2,6)% Si, (0,5…0,8)% Mn, P<0,3% и S<0,15%, σ_B=100МПа, твёрдость <190НВ. *СЧ35* δ_B=350МПа, твёрдость <275НВ.

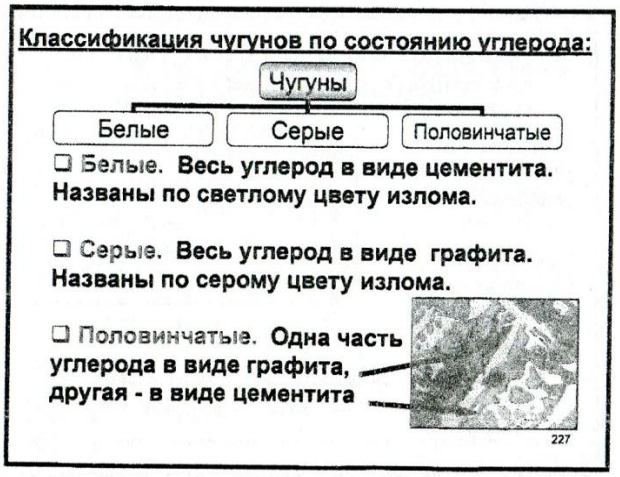
Серые чугуны — это литейный чугун. Серый чугун поступает в производство в виде отливок. Серый чугун является дешевым конструкционным материалом. Он обладает хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатывается резанием, сопротивляется износу, обладает способностью рассеивать колебания при вибрационных и переменных нагрузках. Свойство гасить вибрации называется демпфирующей способностью. Демпфирующая способность чугуна в 2—4 раза выше, чем стали. Высокая демпфирующая способность и износостойкость обусловили применение чугуна для изготовления станин различного оборудования, коленчатых и распределительных валов тракторных и автомобильных двигателей и др.

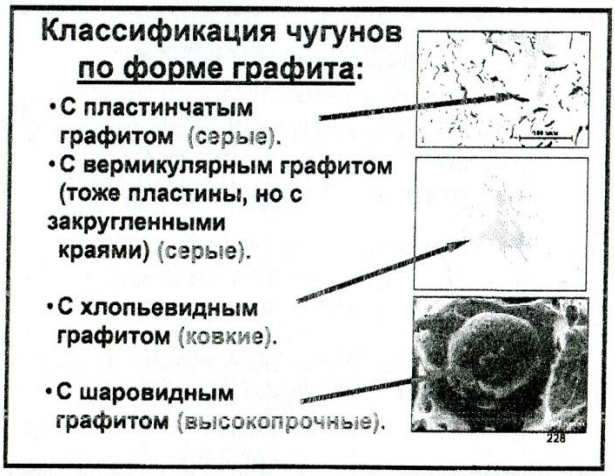
Выпускают следующие марки серых чугунов (в скобках указаны числовые значения твердости НВ) :СЧ 10(143—229), СЧ 15 (163-229), СЧ 20 (170-241), СЧ 25 (180-250), СЧ 30(181-255), СЧ 35 (197-269), СЧ 40 (207-285), СЧ 45 (229-289).

По физико-механическим характеристикам серые чугуны условно можно разделить на четыре группы: малой прочности, повышенной прочности, высокой прочности и со специальными свойствами.









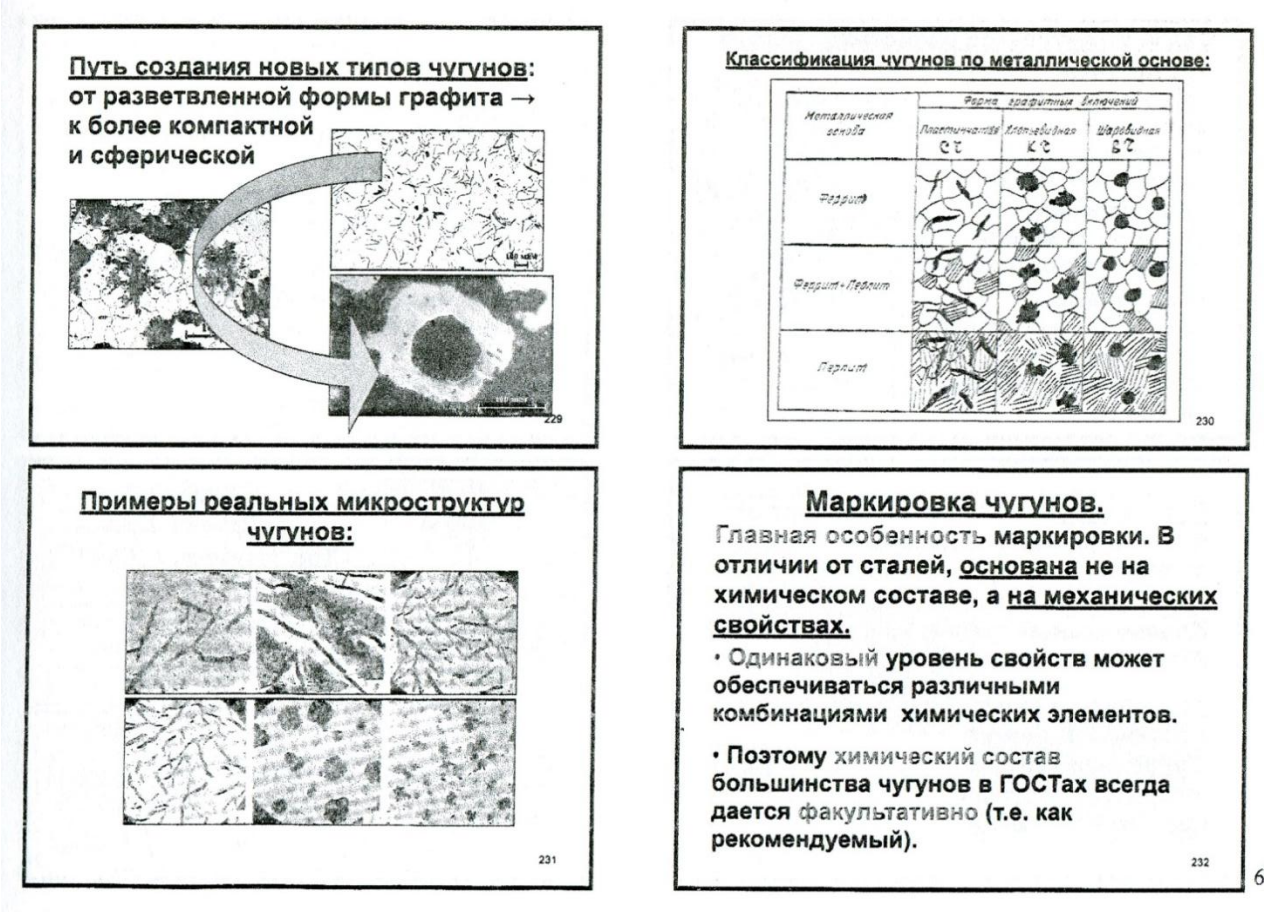
Легированный серый чугун имеет мелкозернистую структуру и лучшее строение графита за счет присадки небольших количеств никеля и хрома, молибдена и иногда титана или меди.

Модифицированный серый чугун имеет однородное строение по сечению отливки и более мелкую завихренную форму графита. Модификаторы — ферросилиций, силикоалюминий, силикокальций и др. — добавляют в количестве 0,1—0,3% от массы чугуна непосредственно в ковш во время его заполнения.

Серый и белый чугуны резко различаются по свойствам. *Белые чугуны* очень твердые и хрупкие, плохо обрабатываются режущим инструментом, идут на переплавку в сталь и называются передельными чугунами. Часть белого чугуна идет на получение ковкого чугуна.

Белые чугуны используются как износостойкие конструкционные материалы. В таких чугунах весь углерод находится в связанном состоянии с карбидообразующими элементами (хром, марганец, бор, титан). При введении 5-8% Cr образуется карбид цементитного типа $(Fe,Cr)_3C$, а при содержании более 10% Cr образуются сложные и твердые карбиды $(Fe,Cr)_7C_3$ и $(Fe,Cr)_{23}C_6$. Для придания

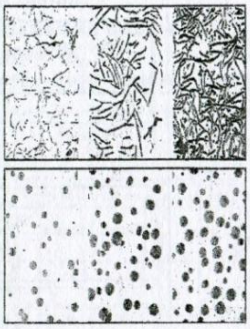
чугуну большей вязкости, жаро- или коррозионной стойкости в его состав вводят никель.



6

Связь структуры со свойствами чугуна

- Графитные включения имеют механические свойства гораздо ниже, чем основа (по сравнению с основой их можно считать пустотами).
- Чем больше количество включений графита и грубее их форма, тем ниже будут свойства.



233

Прочность при испытаниях на растяжение **зависит от формы графита. У серых чугунов она невысока, т.к. по концам заостренных графитных включений зарождаются трещины.**

Прочность при испытаниях на сжатие **зависит в основном от типа металлической основы.**

234

Пластичность в основном зависит от формы графита. Примеры относительного удлинения:
Пластинчатый графит - 0,5%
Хлопьевидный графит - 5-10%
Шаровидный графит - 10-15%

Твердость зависит от металлической основы. Например:
Ферритная - 150 НВ
Феррито-перлитная - 200 НВ
Перлитная - 250 НВ

235

Серый чугун. Маркировка.

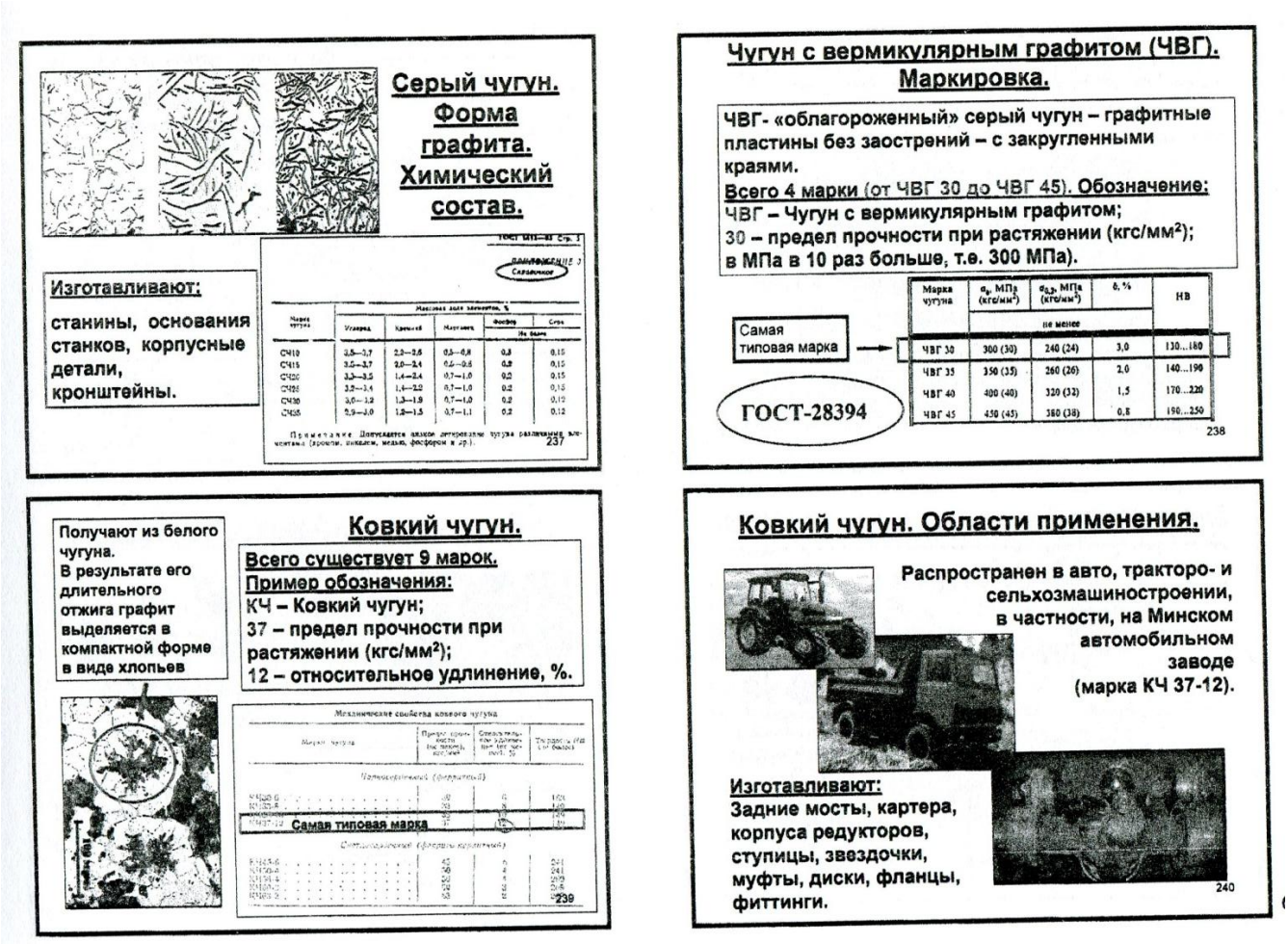
Всего существует 9 марок: (от СЧ 10 до СЧ 35).

Обозначение:
СЧ – Серый чугун
20 – предел прочности при растяжении (кгс/мм²) или 200 МПА

Самая типовая марка

Марка чугуна	Марка чугуна по СТ СЭВ	Временное сопротивление при растяжении $\sigma_в$, МПа (кгс/мм²), не менее
СЧ10	31110	100(10)
СЧ15	31115	150(15)
СЧ18	—	180(18)
СЧ20	31120	200(20)
СЧ21	—	210(21)
СЧ24	—	240(24)
СЧ25	31125	250(25)
СЧ30	31130	300(30)
СЧ35	31135	350(35)

236



Структура не оказывает влияние на пластичность, она остается чрезвычайно низкой. Но оказывает влияние на твердость. Механическая прочность в основном определяется количеством, формой и размерами включений графита. Мелкие, завихренной формы чешуйки графита меньше снижают прочность. Такая форма достигается путем модифицирования. В качестве модификаторов применяют алюминий, силикокальций, ферросилиций.

Серый чугун широко применяется в машиностроении, так как легко обрабатывается и обладает хорошими свойствами.

В зависимости от прочности серый чугун подразделяют на *10* марок (ГОСТ 1412).

Серые чугуны при малом сопротивлении растяжению имеют достаточно высокое сопротивление сжатию.

Серые чугуны содержат углерода – *3,2…3,5 %*; кремния – *1,9…2,5 %*; марганца –*0,5…0,8 %*; фосфора – *0,1…0,3 %*; серы – *< 0,12 %*.

Структура металлической основы зависит от количества углерода и кремния. С увеличением содержания углерода и кремния увеличивается степень графитизации и склонность к образованию ферритной структуры металличе-

ской основы. Это ведет к разупрочнению чугуна без повышения пластичности. Лучшими прочностными свойствами и износостойкостью обладают перлитные серые чугуны.

Учитывая малое сопротивление отливок из серого чугуна растягивающим и ударным нагрузкам, следует использовать этот материал для деталей, которые подвергаются сжимающим или изгибающим нагрузкам. В станкостроении это – базовые, корпусные детали, кронштейны, зубчатые колеса, направляющие; в автостроении - блоки цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, диски сцепления. Отливки из серого чугуна также используются в электромашиностроении, для изготовления товаров народного потребления.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293) могут иметь ферритную (ВЧ 35), феррито-перлитную (ВЧ45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу.

Получают эти чугуны из серых, в результате модифицирования магнием или церием (добавляется *0,03…0,07%* от массы отливки). По сравнению с серыми чугунами, механические свойства повышаются, это вызвано отсутствием неравномерности в распределении напряжений из-за **шаровидной формы графита.**

Чугуны с перлитной металлической основой имеют высокие показатели прочности при меньшем значении пластичности. Соотношение пластичности и прочности ферритных чугунов - обратное.

Высокопрочные чугуны обладают высоким пределом текучести,

$$\sigma_m = 300...420 МПа,$$

что выше предела текучести стальных отливок. Также характерна достаточно высокая ударная вязкость и усталостная прочность,

$$\sigma_{-1} = 230...250 МПа,$$

при перлитной основе.

Высокопрочные чугуны содержат: углерода – *3,2…3,8 %,* кремния – *1,9…2,6 %*, марганца – *0,6…0,8 %*, фосфора – до *0,12 %*, серы – до *0,3 %*.

Эти чугуны обладают высокой жидкотекучестью, линейная усадка – около 1%. Литейные напряжения в отливках несколько выше, чем для серого чугуна. Из-за высокого модуля упругости достаточно высокая обрабатываемость резанием. Обладают удовлетворительной свариваемостью.

Округлённая форма графита достигается модифицированием. Модификаторами чугуна служат SiCa, FeSi, Al, Mg.

При использовании в качестве модификатора Mg, вводимого перед разливкой в количестве до 0,5%, получают высокопрочный чугун с шаровидной формой включения графита. Действие Mg объясняется увеличением поверхностного натяжения графита и образованием микропузырьков пара, в кот диффундирует углерод.

Маркируют высокопрочный чугун буквами ВЧ и цифрами, характеризующими величину временного сопротивления, например ВЧ35 (σ_B>350МПа, $\sigma_{0,2}$>220МПа, δ>22%, твёрдость 140…170НВ).

Из высокопрочных чугунов изготавливают ответственные детали: зубчатые колёса, коленчатые валы. Механические свойства высокопрочного чугуна позволяют применять его для изготовления деталей машин, работающих в тяжелых условиях, вместо поковок или отливок из стали. Из высокопрочного чугуна изготовляют детали прокатных станов, кузнечно-прессового оборудования, паровых турбин, тракторов, автомобилей (коленчатые валы, поршни) и др.

Низкое содержание серы и фосфора и небольшие пределы содержания других химических элементов обеспечиваются тем, что такой чугун выплавляют не в вагранке, а в электрической печи. После термической обработки механические свойства чугуна получаются весьма высокими: $\sigma_в$= 620-650 МПа; δ= 8-12 % и твердость НВ = 192-240.

Ковкий чугун.

Микроструктура чугуна состоит из металлической основы и графитных включений. Свойства чугуна зависят от свойств металлической основы и характера включений графита.

Ковкий чугун — условное название более пластичного чугуна по сравнению с серым. Ковкий чугун никогда не куют. Отливки из ковкого чугуна получают длительным отжигом отливок из белого чугуна с перлитно-цементитной структурой. Толщина стенок отливки не должна

превышать 40—50 мм. При отжиге цементит белого чугуна распадается с образованием графита хлопьевидной формы.

Состав ковкого чугуна довольно стабилен: (2,2…3)% C, (0,7…1,5)% Si, (0,2…0,6)% Mn, 0,2 P, 0,1 S.

Из-за низкого содержания С ковкий чугун выплавляют не в вагранке, а в электропечи. После заполнения форм отливки быстро охлаждают и получают структуру белого чугуна. Затем отливки подвергают длительному отжигу (до 2 суток) – томлению, предохраняя их от окисления печными газами засыпкой песком и др. В результате отжига структура состоит из зёрен феррита или перлита и хлопьев графита. Излом чугуна, структура которого состоит из феррита и графита, тёмный. Такой ковкий чугун называют чёрносердечным, т.к. он содержит сравнительно много графита.

Если в области эвтектоидного превращения проводить более быстрое охлаждение, то в структуре сохранится перлит. Такой чугун называют перлитным ковким чугуном или светлосердечным. В его структуре содержится графита меньше, чем в ферритном ковком чугуне.

Маркируют ковкий чугун буквами КЧ и цифрами временного сопротивления и относительного удлинения, например КЧ35-10.

Механические свойства и химический состав:

КЧ33-8 (ферритный чугун): (2,6…2,9)% C, (1 …1,6)% Si, (0,4…0,6)% Mn, P<0,18% и S<0,2%, σ_B>323МПа, δ>8%, твёрдость = (100…163)НВ;

КЧ55-4 (перлитный чугун): (2,5…2,8)% C, (1,1 …1,3)% Si, (0,3…1)% Mn, P<1,1% и S<0,2%, σ_B>539МПа, δ>4%, твёрдость = (192…241)НВ

Ковкий чугун широко применяют в автомобильном, сельскохозяйственном и текстильном машиностроении. Из него изготовляют детали высокой прочности, способные воспринимать повторно-переменные и ударные нагрузки и работающие в условиях повышенного износа (тормозные колодки, ступицы, пальцы режущих аппаратов сельскохозяйственных машин, шестерни, крючковые цепи и др.).

Широкое распространение ковкого чугуна, занимающего по механическим свойствам промежуточное положение между серым чугуном и сталью, обусловлено лучшими по сравнению со сталью литейными свойствами белого чугуна, что позволяет получать отливки сложной формы. Ковкий чугун характе-

ризуется достаточно высокими антикоррозионными свойствами и хорошо работает в среде влажного воздуха, топочных газов и воды.

Легированные чугуны.

Элементы, специально вводимые в сплав с целью изменения его строения и свойств, называют легирующими, а сплав легированным.

Легированные чугуны обладают хорошими литейными свойствами. Влияние легирующих элементов на свойства чугунов проявляются в основном в их графитизации, которые определяют структуру и свойство чугуна.

Легируются следующими элементами:

1) Кремний – в чугуне присутствует 0,3%-5% и усиливает графитизацию чугуна;

2) Марганец – 0,5%- 0,8% повышает механические свойства и препятствует графитизации;

3) Фосфор – обычно не более 0,3% находится в чугуне в ратствоpенном состоянии, повышает: жидкотекучесть, износостойкость и хрупкость;

4) Сера – ухудшает свойство чугунов, содержание определено 0,12%, ВЧ – 0,03%.

Хромистые чугуны – содержат 26% – 36% Cr. Структура – твердый раствор хромистого феррита и эвтектические карбиды. Такие чугуны имеют высокую твердость (НВ 325-400), хорошо сопротивляются износу, но плохо обрабатываются резанием. Окалиностойкость сохраняется до 1000–1100 градусов.

Химический состав ЧХ28: 0,5-1,0% C; 0,5-0,8% Si; 0,5-0,8% Mn; 26-30% Cr.

Изготавливают детали и аппаратуру для азотной промышленности, фильеры и т. д. Используют и как жаростойкие материалы – для изготовления печного оборудования, гребков и лопастей в печах, предназначенных для обжига.

Кремнистые чугуны – кремний расширяет область существования феррита и сплавы, содержащие до 14,5% Si, имеют структуру однородного твердого раствора. Содержание углерода в кремнистых чугунах всего лишь 0,3-0,8%, при большом содержании возможно выделение углерода в виде графита. Чугуны выплавляют с содержанием кремния до 18%, так как при более высоком его содержании эти сплавы становятся хрупкими и их невозможно использовать. Из-

делия изготавливают только литьем, без последующей механической обработки.

Химический состав: 0,5-0,8% C; 14,5-18% Si; 0,3-0,8% Mn.

Изготавливают центробежные насосы, распылители кислот, краны, котлы и т.д.

Никелевые чугуны – содержат около 1% Ni. Эти чугуны стойки в расплавах солей и в концентрированных растворах щелочей. С увеличением содержания Ni коррозионная стойкость увеличивается. Состав никелевых чугунов может быть и более сложным: никельмедистый 2-2,8% C; 3-4% Cr; 5-8% Cu; 1,5-1% Si и 12-5% Ni.

Тема 4. Теория и технология термической обработки стали

Превращения в стали при нагреве. Образование аустенита. Превращения в стали при охлаждении. Диаграмма изотермического превращения аустенита. Мартенсит, его строение и свойства. Мартенситное превращение и его особенности. Отжиг и нормализация. Закалка стали. Закаливаемость и прокаливаемость стали. Методы определения прокаливаемости. Отпуск закаленной стали. Обработка стали холодом. Термомеханическая обработка стали.

Термическая обработка – изменение структуры и свойств материала в результате нагрева и охлаждения в твёрдом состоянии.

Отжиг - термическая операция, состоящая в нагреве металла, имеющего неустойчивое состояние, и приводящая металл в более устойчивое состояние.

Закалка - термическая операция, состоящая в нагреве выше температуры превращения с последующим быстрым охлаждением для получения неустойчивого состояния сплава.

Отпуск - термическая операция, состоящая в нагреве закалённого сплава ниже температуры превращения для получения более устойчивого состояния сплава.

Термическая обработка (ТО) - совокупность операций: нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности.

Цель ТО - изменение структуры для получения определенных свойств.

293

Классификация видов Т/О:

При т/о превращения испытывают три структурные составляющие:

1. Перлит (П) - эвтектическая смесь феррита и цементита.
2. Аустенит (А) – твердый раствор углерода в гамма-железе.
3. Мартенсит (М)- пересыщенный твердый раствор углерода в α-железе.

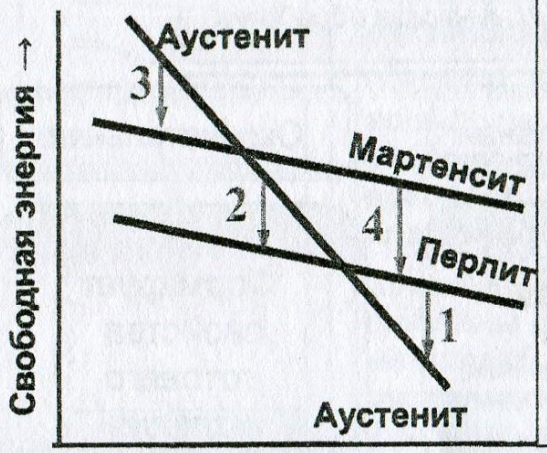
В основе превращений - стремление системы к минимуму свободной энергии.

295

Несмотря на множество существующих режимов, любая термообработка – комбинация всего из 4-х превращений.

296

Четыре основных превращения при ТО

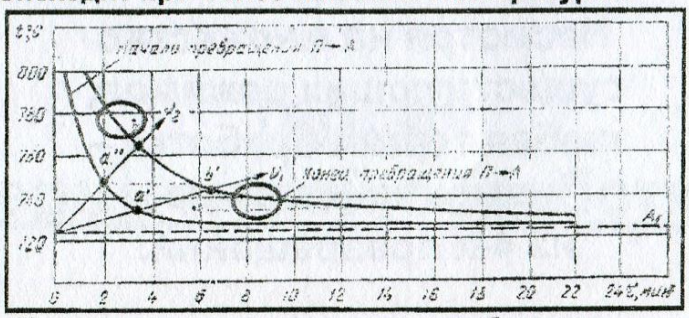


1. П → А (при нагреве выше А1)
2. А → П (при охл. ниже А1)
3. А → М (при быстром охл. ниже метастабильного равновесия
4. М → П (при всех темп, т.к. своб. энергия П всегда меньше)

297

1-е превращение: Образование аустенита (П→А)

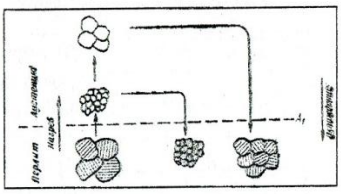
Строго по диаграмме – только при очень медл.нагреве.
В реальных условиях – превращение запаздывает, т.е. происходит при более высоких температурах.



Чем выше перегрет сплав – тем быстрее (пример: при 740 – за 8 мин, при 780 - за 2 мин).
Чем выше скорость нагрева – тем быстрее превращение и при более высокой температуре

299

Как растет зерно аустенита при нагреве:



- **При переходе через A_1 – резкое** уменьшение зерна
- **Затем до 900-1000 С зерно** не растет,
- **Выше 1000 С** - резкий рост зерен **(поэтому важно не превышать 1000 С - падают свойства).**

301

Нужно различать:
действительный **(фактический) размер зерна и** наследственный **размер зерна.**

Бывает сталь с разной склонностью к росту зерна:
- **наследственно** мелкозернистая
- **наследственно** крупнозернистая.

302

2-ое превращение:
при охлаждении аустенит превращается в перлит (А→П)

Теоретически, **(т.е. строго при 727 С как по диаграмме состояния), распад идет очень долго, для этого нужно охлаждать чрезвычайно медленно.**

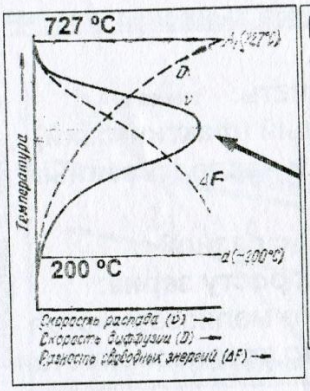
На практике **всегда вначале имеется какое-то переохлаждение, а затем процесс идет при постоянной температуре (например, заготовку нагретую до 900С переносят в печь при 400С).**

303

На скорость распада аустенита влияют два противоположных фактора:

1. **Разность свободных энергий аустенита и перлита. Чем больше переохлаждение (ниже температура) – тем эта разность больше и распад энергетически выгоднее** (кривая F).
2. **Диффузия - нужна для того, чтобы в однородном аустените (например 2,14%С) образовался перлит, (т.е. участки с разным содержанием углерода: феррит – 0%С и цементит – 6,67%С). Диффузия лучше идет при высокой температуре** (кривая D).

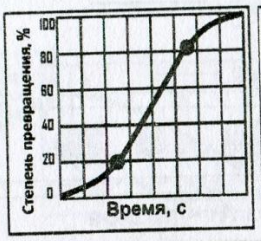
304



В результате максимум скорости превращения (кривая V) приходится на средние температуры переохлаждения

305

Кинетика распада аустенита.



Кинетическая кривая универсальна: нарастание скорости, максимальная скорость, затухание.

Кривая похожа на кривую кинетики кристаллизации.

Но у распада аустенита две особенности:

1. Кривая начинается не с нуля, а правее, есть инкубационный период.
2. Процесс распада аустенита очень долгий , поэтому время - в логарифмической шкале.

308

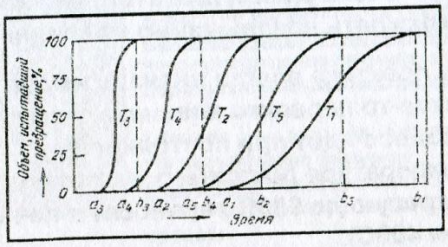
Порядок построения диаграммы изотермического распада аустенита.

(изотермический – значит проходящий при постоянной температуре)

1. Понадобится кинетическая кривая, точнее всего три точки из этой кривой (O, A и B) и два отрезка:
   OA – длительность инкубационного периода
   AB – длительность самого превращения

307

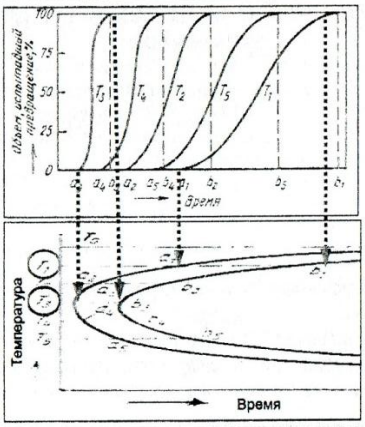
2. Выбирается ряд температур (например 5 шт: t_1, t_2... t_5) по мере их понижения, причем t_1 выше, чем t_5)
3. Для каждой температуры строится своя кинетическая кривая.
4. Внимание! Все кривые будут разные (т.к. при высоких и низких t скорость превращения мала). Высокая скорость - при средних температурах.
5. На каждой кривой отмечаем длину отрезков oa_1 и a_1-$в_1$ (т.е. время начала и окончания превращения).



308

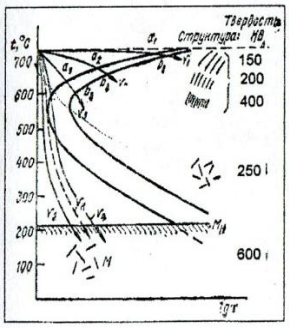
6. Теперь строим саму диаграмму в координатах «время – температура».
7. На каждой горизонтали температур наносим свой отрезок начала и конца превращения. Пример: для t_1 это отрезок a_1-$в_1$ и т.д.
8. Соединяем все точки «а» и все точки «в». (левая линия – начало, правая – окончание превращения).
9. Получилась «С»-образная диаграмма (так называют потому, что похожа на русскую букву «С»).

309



310

Применение изотермических диаграмм на практике.



1. На диаграмму наносят кривые разных скоростей охлаждения.

2.Прогнозируют какие структуры образуются.

311

Чем больше скорость охлаждения, тем тверже образующаяся структура.
Примеры значений твердости:

Перлит - 150 НВ
Сорбит - 200 НВ
Троостит - 250 НВ
Бейнит - 400 НВ
Мартенсит - 600 НВ

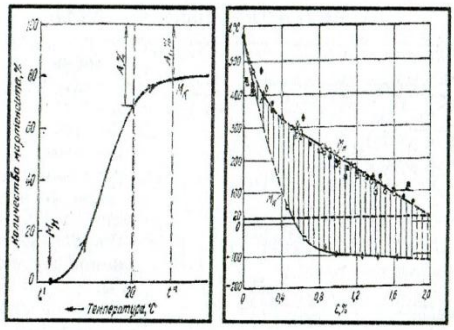
312

Особенности структуры мартенсита:

- Образования похожи на строительные фермы.
- Их возникновение напоминает рикошет пули о препятствие.
- Правильное название мартенситные «иглы».
- На самом деле это плоскости.
- Весь процесс занимает одну десятимиллионную долю секунды.

321

Кинетика мартенситного превращения.

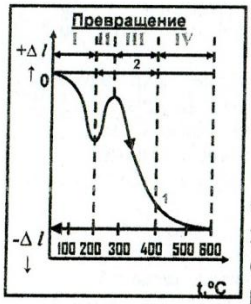


322

➢По мере снижения температуры количество М возрастает.
➢По окончании превращения остается какое-то количество аустенита. Его называют аустенит остаточный.
➢Углерод интенсивно снижает температуру начала и конца мартенситного превращения.
➢Для уменьшения количества А ост. используют обработку холодом, охлаждение до более низких температур.

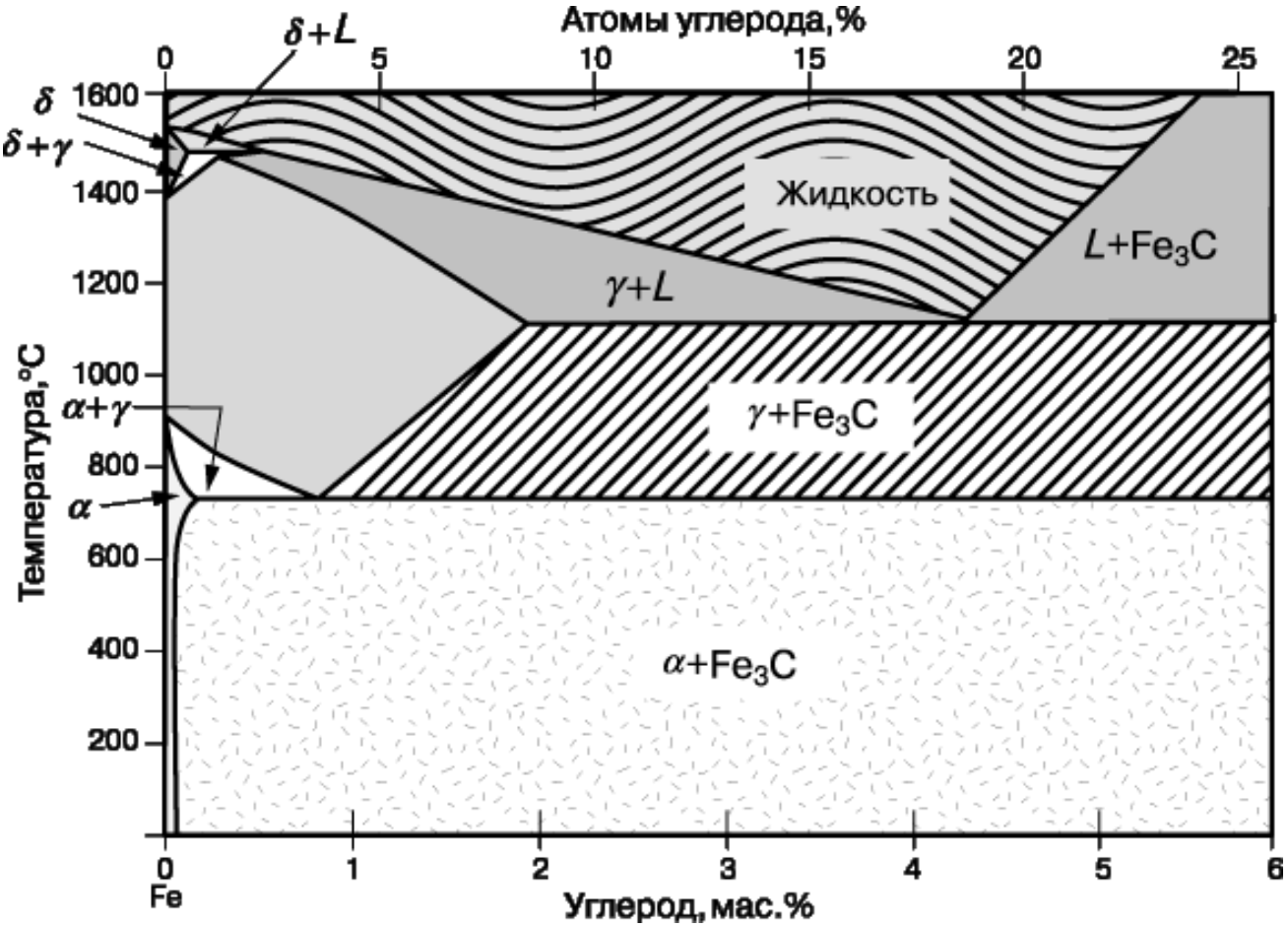
323

Четвертое превращение: мартенсит→перлит. (М→П)



➢ Это превращения при последующем нагреве мартенсита (отпуске).
➢ Исходная структура: мартенсит и остаточный аустенит, характеризуется огромными напряжениями.

324



Превращения в сплавах на основе железа при нагреве и охлаждении.

Fe_α от низких температур до 768°С.

Эта фаза имеет решётку о.ц.к., низкую прочность и твёрдость 80 НВ, низкий предел текучести, удельный вес 7,8 г/см^3, имеет магнитные свойства (ферромагнетик), растворяет углерод 0,006% при 20°С и 0,02% при 727°С. Твёрдый раствор углерода в Fe_α, называемый *феррит*. Свойства феррита близки к свойствам чистого Fe.

Fe_β – от 768°С до 910°С.

Эта фаза имеет решётку о.ц.к., растворяет углерод в небольших количествах, немагнитен, при 768°С теряет магнетизм, 768°С – точка Кюри, парамагнетик.

Fe_γ – 910-1400°С

Эта фаза имеет решётку г.ц.к., это железо немагнитно, растворяет 2,14% С при 1147°С. Раствор углерода в Fe_γ называется аустенитом, немагнитен, твёрже феррита, достаточно пластичен.

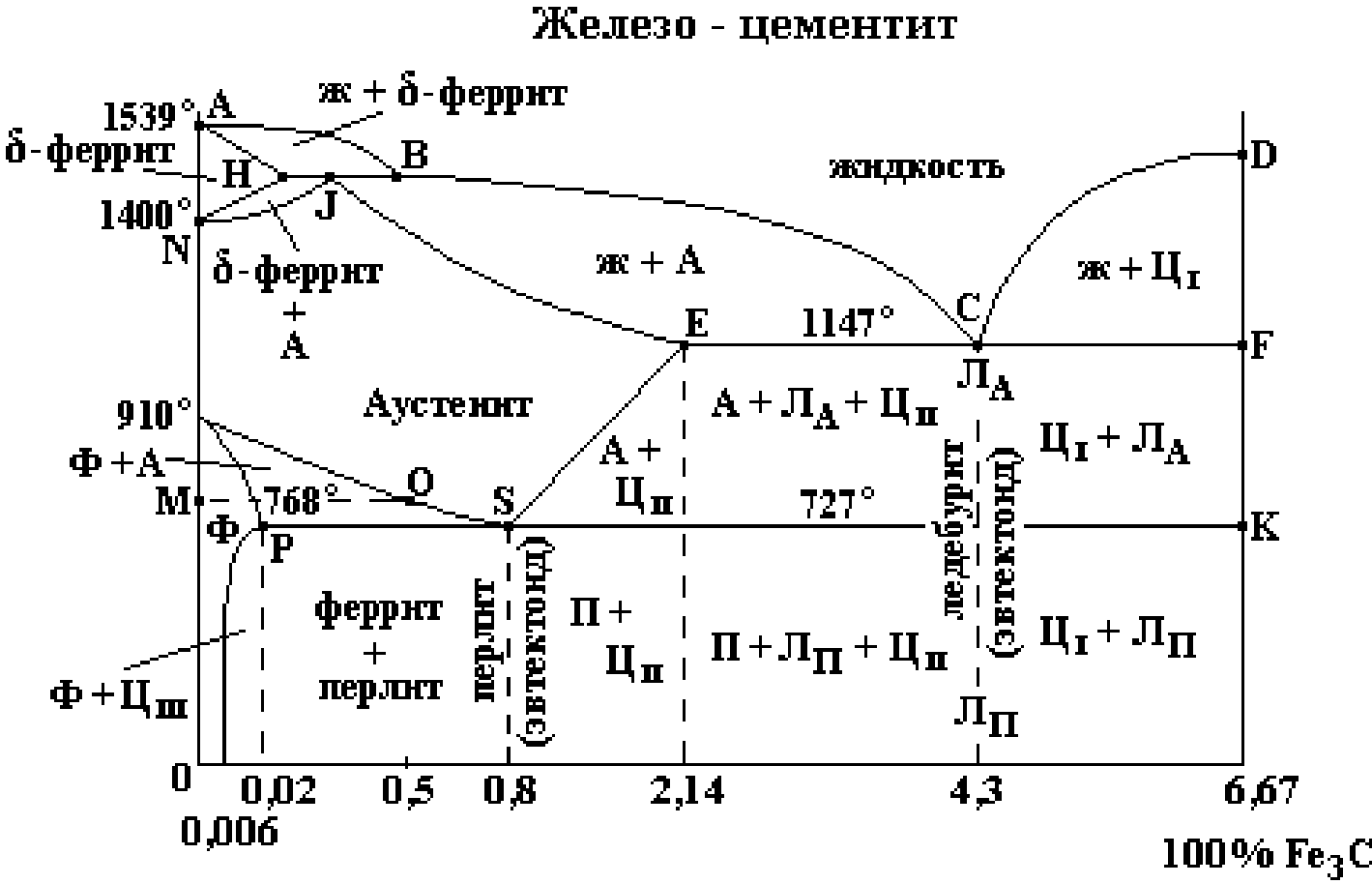
Fe_δ существует в 1400-1539°С.

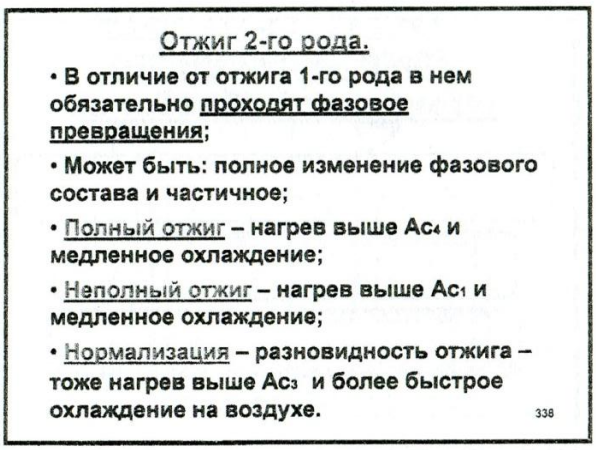
1539°С – плавление Fe. Переход $Fe_\alpha \rightarrow Fe_\gamma$ происходит с изменением объёма (1%) (у α больше V).

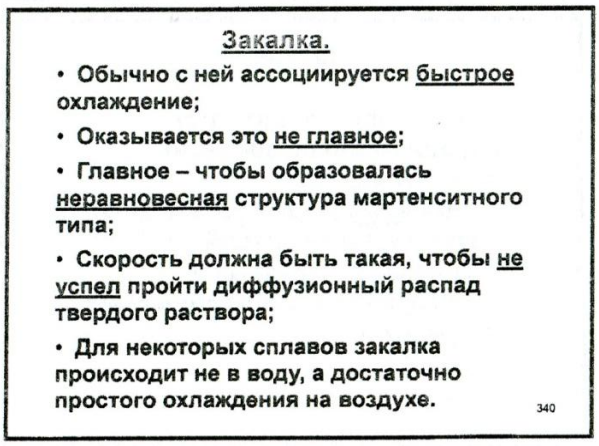
Fe_3C - 6,7% С, твёрдость 800 НВ, Fe_3C – цементит, при низких температурах магнитен. $Fe_3C \rightarrow Fe$+ Графит. При 1147°С идёт реакция, в результате которой образуется эвтектика: смесь аустенита и цементита – ледебурит. [А+Ц] - 4,3% С. Ла – [А+Ц], Лп – [П+Ц], А→П. Из жидкости выделяется $Ц_I$, из А - $Ц_{II}$, из Ф - $Ц_{III}$.

Феррит+цементит – Перлит. [Ф+Ц] – 0,8% С, твёрдость НВ 800.

До 2,14% С – стали, после – чугуны. Сначала жидкость переходит в аустенит, потом происходит переход жидкости в ледебурит аустенитовый (эвтектическая реакция), аустенит переходит в перлит (эвтектоидная реакция), аустенит переходит в феррит.







Отжиг 1 рода.

Отжигом называют термообработку, направленную на получение в металлах равновесной структуры. Любой отжиг включает в себя нагрев до определенной температуры, выдержку при этой температуре и последующее медленное охлаждение. Цель отжига – уменьшить внутренние напряжения в металле, уменьшить прочностные свойства и увеличить пластичность. Отжиг делят на отжиг 1 рода и 2 рода.

Отжиг 1 рода – это такой вид отжига, при котором не происходит структурных изменений, связанных с фазовыми превращениями.

Отжиг 1 рода в свою очередь разделяют на 3 группы:

1. ***Гомогенизация*** – отжиг, направленный на уменьшение химической неоднородности металлов, образующейся в результате рекристаллизации. В отличие от чистых металлов, все сплавы после кристаллизации характеризуются неравновесной структурой, т.е. их химический состав является переменным как в пределах одного зерна, так и в пределах всего слитка.

В процессе отжига на гомогенизацию происходит постепенное растворение неравновесных интерметаллидных фаз, которые могут образоваться в результате кристаллизации с большой скоростью. При последующем медленном охлаждении после отжига такие неравновесные фазы больше не выделяются. Поэтому после гомогенизации металл обладает повышенной пластичностью и легко поддается пластической деформации.

2. Рекристаллизационный отжиг. Для снятия эффекта упрочнения применяют рекристаллизационный отжиг, т.е. нагрев металла до температур выше начала кристаллизации, выдержку с последующим медленным охлаждением. Температура нагрева зависит от состава сплава. Для чистых металлов температура начала рекристаллизации $t_р$=0,4Тпл, ºК, для обычных сплавов порядка 0,6Тпл, для сложных термопрочных сплавов 0,8Тпл. Продолжительность такого отжига зависит от размеров детали и в среднем составляет от 0,5 до 2 часов.

В процессе рекристаллизационного отжига происходит образование зародышей новых зерен и последующий рост этих зародышей. Постепенно старые деформированные зерна исчезают. Количество дефектов в кристаллической решетке уменьшается, наклеп устраняется, и металл возвращается в исходное состояние.

3. Отжиг для снятия внутренних напряжений. Внутренние напряжения в металле могут возникать в результате различных видов обработки: термические напряжения, образовавшиеся в результате неравномерного нагрева, различной скорости охлаждения отдельных частей детали после горячей деформации, литья, сварки, шлифовки и резания. Могут быть структурными, т.е. появившиеся в результате структурных превращений, происходящих внутри детали в различных местах с различной скоростью.

Этот отжиг проводится при температурах ниже температуры рекристаллизации: $t_{отж}$=0,2-0,3Тпл º К. Повышенная температура облегчает скольжение дислокаций и, под действием внутренних напряжений, происходит их перераспределение, т.е. из мест с повышенным уровнем внутренних напряжений дислокации перемещаются в области с пониженным уровнем. Происходит как бы разрядка внутренних напряжений. При нормальной температуре этот процесс будет длиться в течение нескольких лет. Увеличение температуры резко увеличивает скорость разрядки, и продолжительность такого отжига составляет несколько часов.

Отжиг 2-го рода.

Отжиг второго рода — изменение структуры сплава посредством перекристаллизации около критических точек с целью получения равновесных структур.

Отжиг 2-го рода в зависимости от фазовых превращений в данном сплаве разделяют на 3 группы: полный, неполный и изотермический.

Основные цели ***полного отжига*** - устранение пороков структуры, возникших при предыдущей обработке (литье, горячей деформации или сварке), смягчение стали перед обработкой резанием и уменьшение напряжений, для придания стали определенных характеристик.

В целом отжиг II рода проводят для приближения системы к равновесию.

Неполный отжиг доэвтектоидной стали проводят при нагреве до температур выше Ac_1, но ниже Ac_3 . При таких температурах происходит частичная перекристаллизация стали, а именно лишь переход перлита в аустенит. Избыточный феррит частично превращается в аустенит и значительная часть его не подвергается перерекристаллизации. Поэтому неполный отжиг не устраняет пороки стали связанные с нежелательными размерами и формой избыточного феррита.

Для доэвтектоидной стали неполный отжиг применяется лишь тогда, когда отсутствует перегрев, ферритная полосчатость, и требуется только снижение твердости и смягчения перед обработкой резанием.

Гетерогенизирующий отжиг — применяется в случае наличия в сплаве процесса выделения из матрицы другой фазы, вследствие изменения равновесной растворимости компонентов при понижении температуры. При этой обработке не происходит коренной ломки структуры по всему объему. Тип кристаллической решетки матричной фазы не меняется. Отжиг приводит к изменению концентрации компонентов в матричной фазе и к изменению количества, размера, а также формы частиц выделяющейся фазы.

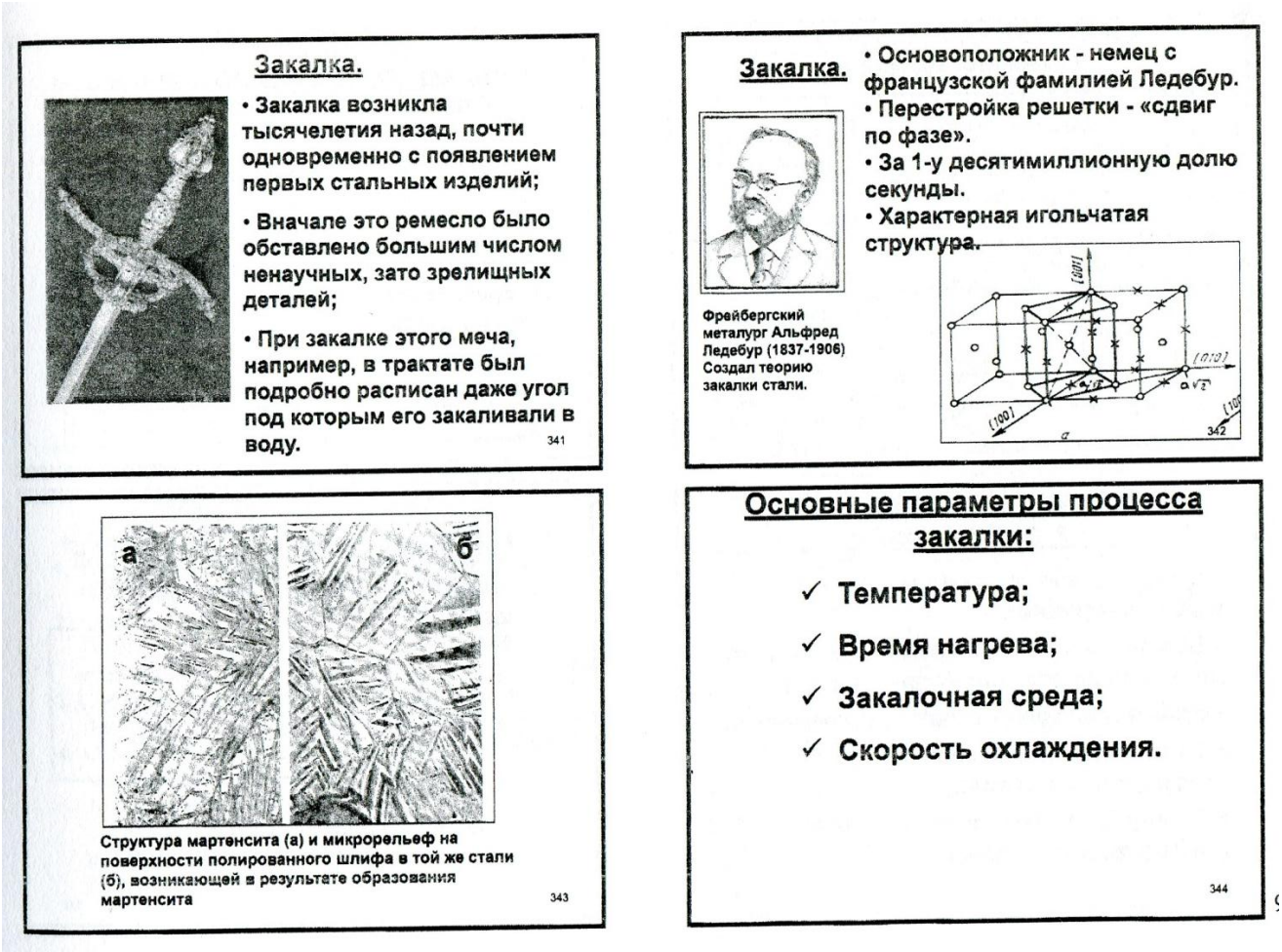
Отжиг с фазовой перекристаллизацией — возможен при наличии в сплаве полиморфного или эвтектоидного (включает полиморфное) превращения и приводит коренной перестройке структуры по всему объему сплава. Он используется для устранения текстуры и измельчения размера зерна.

Закалка

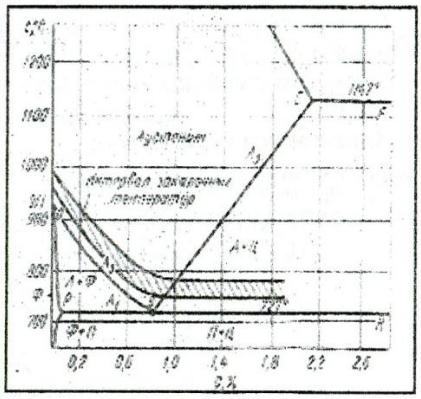
Закалка - это термообработка, направленная на получение в сплаве максимально неравновесной структуры и соответственно аномального уровня свойств. Любая закалка включает в себя нагрев до заданной температуры, выдержку и последующее быстрое резкое охлаждение.

Скорость охлаждения очень сильно влияет на конечную структуру: чем меньше скорость, тем до больших размеров вырастают глобули карбида при распаде аустенита. Регулируя скорость охлаждения, можно получать структуры глобулярного перлита от точечного до крупнозернистого. Более мелкозернистый перлит обладает повышенной твердостью .

В зависимости от вида фазовых превращений, происходящих в сплаве при закалке, различают закалку с полиморфным превращением и закалку без полиморфного превращения.



1. Температура.



•Для доэвтекто-идной стали – на 30-50 °С выше Ac_3

•Для заэвтекто-идной стали - на 30-50 °С выше Ac_1

345

Почему для сталей с содержанием углерода больше 0,8 %С температура не выше Ac_3?
(Ведь теоретически - это неполная закалка)

- Если растворять цементит – твердость после закалки падает.
- Поэтому специально сохраняют в структуре избыточный цементит. Он обеспечивает повышенную износостойкость.
- Если нагревать выше – растет зерно аустенита и у стали затем низкая вязкость.

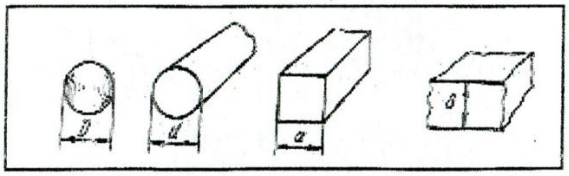
346

Основные параметры закалки. 2. Время нагрева.

- Общее время = время нагрева + время выдержки.
- Время нагрева переменно, зависит от печи, нагревательной среды и т. д.
- Время выдержки обычно принимают:
- 1 минута на 1 мм сечения - для углеродистых сталей;
- 2 минуты на 1мм сечения - для легированных сталей.

347

Для расчета берется минимальный размер максимального сечения:



348

Параметры закалки. 3. Закалочная среда.

- Главная опасность нагрева на воздухе – обезуглероживание; реакция $C+O_2 = CO_2$. Для ответственных деталей используют специальные газовые атмосферы, расплавы селитры или солей.

Примеры солей, применяемых при нагреве:

Состав соли	Температура плавления, °С	Рабочая температура, °С	Область применения
$BaCl_2$	960	1000—1300	Нагрев быстрорежущих, нержавеющих и других сталей
75% $BaCl_2$ + 25% $NaCl$	640	750—900	Нагрев под закалку углеродистых и низколегированных сталей
50% $NaCl$ + 50% KCl	670	750—900	
50% KCl + 50% $NaCl$ + 20% Na_2CO_3	700	750—900	
$NaNO_3$	310	400—550	Отпуск и ступенчатая закалка (среда охлаждения)
50% $NaNO_3$ + 50% KNO_3	220	200—400	
60% $NaNO_3$ + 40% KNO_3	150	160—350	
20% $NaOH$ + 80% KOH	140	160—300	

349

Технология охлаждения

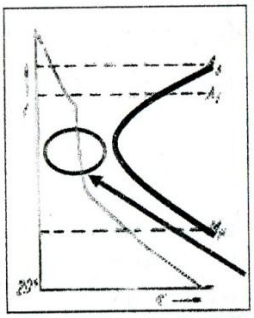
Нужно учитывать разные стадии охлаждения:

1. Паровая рубашка – слой перегретого пара. Через пар охлаждение детали почти не идет.
2. Слой пара разрывается – начинается стадия ПЛЕНОЧНОГО кипения – очень быстрое охлаждение.
3. Стадия ПУЗЫРЧАТОГО кипения – тоже очень быстрое.
4. Стадия конвективного теплообмена- когда Т металла ниже $T_{кип}$ среды (для воды это ниже 100) – охлаждение снова замедленное.

Резюме: Чтобы «разорвать» паровую рубашку - надо энергично передвигать деталь в закалочной среде.

351

Основные параметры закалки. Скорость охлаждения.



Идеальная кривая охлаждения при закалке

- Теоретически высокая скорость – гарантия получения неравновесной структуры.
- На практике - опасность большой скорости – трещины.
- Важно знать: в каком интервале температур скорость ДОЛЖНА быть большая, а в каком МОЖНО охлаждать и помедленнее.
- Особенно важно быстро проскочить выступ «С»-кривой, чтобы не начался диффузионный распад (участок между Ac_1 и Мн)

350

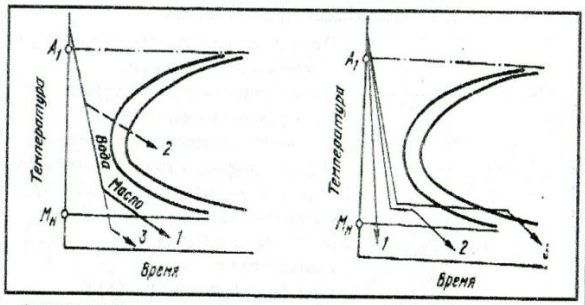
Примеры интенсивности охлаждения в разных средах

Характеристика различных закалочных сред

Закаливающая среда	Температурный интервал пузырчатого кипения, °С	Относительная интенсивность охлаждения в середине интервала пузырчатого кипения
Вода:		
20° С	400—100	1
40° С	350—100	0,7
80° С	250—100	0,2
Дистиллированная вода, 20° С	350—100	0,5
Раствор в воде, 20° С:		
1% NaCl	500—100	1,5
10% NaCl	650—100	3,0
5—30% NaOH	650—100	2,5
50% NaOH	650—100	2,0
50%-ный раствор в воде NaOH, 90° С	650—100	1,0
Масло минеральное, 20—200° С	500—250	0,3

352

Варианты закалки:

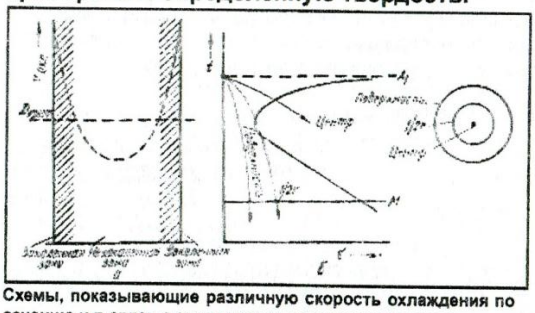


Закалка через воду в масло (закалка в двух средах):
1 - нормальный режим;
2 - недодержка в воде;
3 - передержка в воде.

Закалка в воде и горячих средах: 1 – в воде;
2 – ступенчатая;
3 – изотермическая.

353

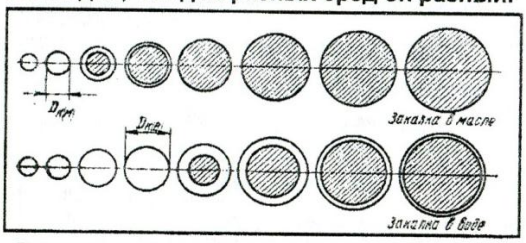
Прокаливаемость – способность закаливаться на нужную ГЛУБИНУ.
Не путать с закаливаемостью - способностью приобретать определенную твердость.



Схемы, показывающие различную скорость охлаждения по сечению и в связи с этим несквозную прокаливаемость.

354

Критический диаметр - тот максимальный диаметр, при котором деталь прокаливается насквозь.
Очевидно, что для разных сред он разный.



Прокаливаемость прутков различного размера при закалке в воде и масле. Заштрихована незакаленная сердцевина.

355

Чтобы сравнивать прокаливаемость разных марок сталей нужно: 1) сделать торцевую пробу, 2) промерять твердость закаленного образца от закалившегося торца к незакаленной части.

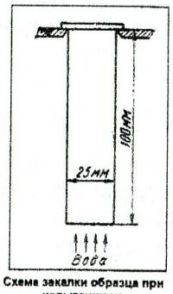
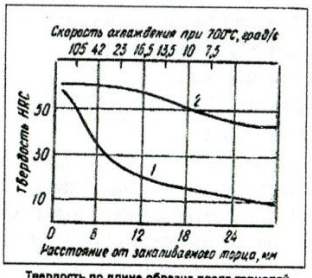
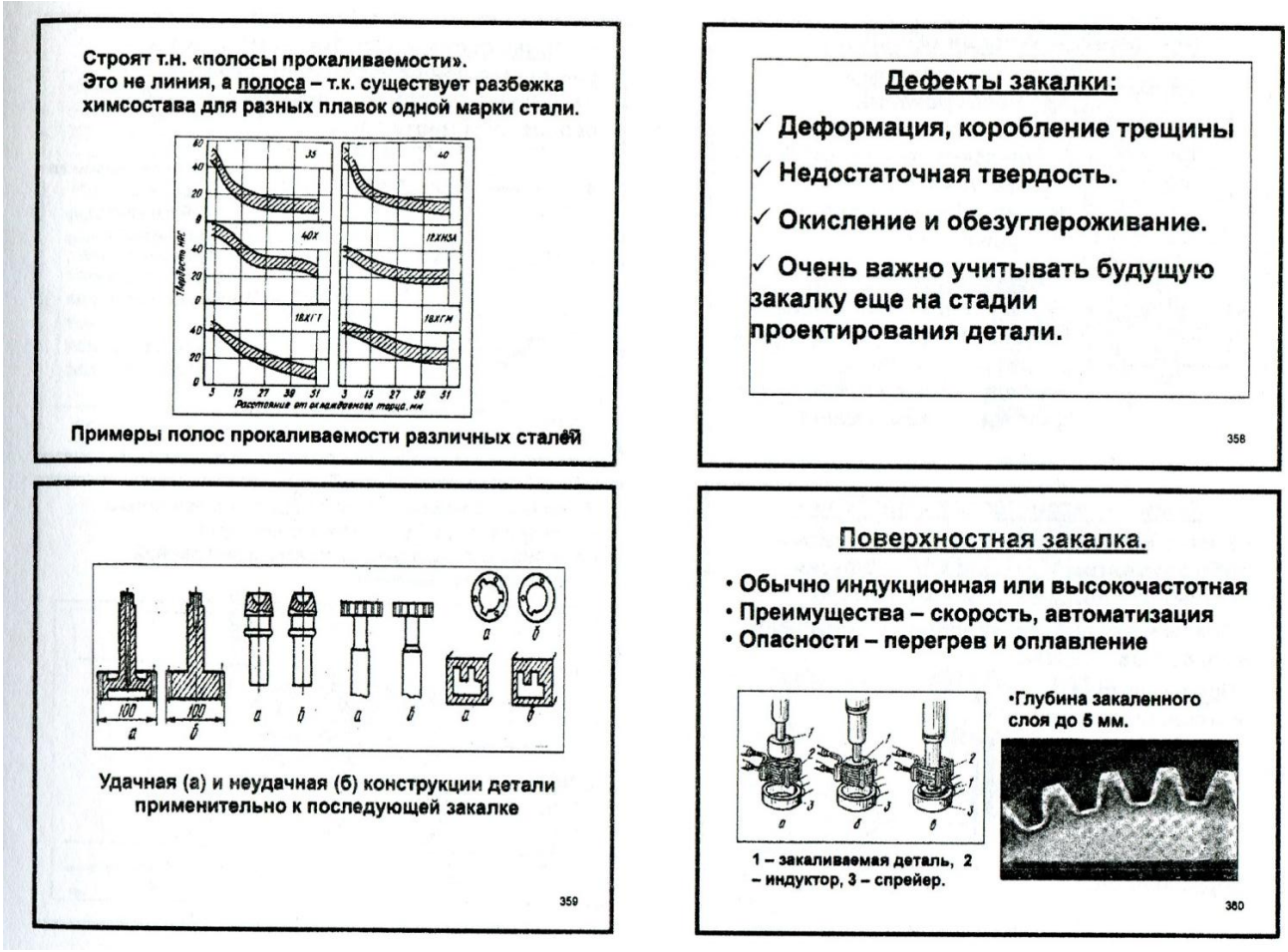


Схема закалки образца при испытании на прокаливаемость методом торцовой закалки.



Твердость по длине образца после торцовой закалки: 1 – образец из неглубокого прокаливающейся стали; 2 - из глубокого прокаливающейся стали

356



Закалка с полиморфным превращением.

Этот вид закалки применяется для сплавов, в которых один из компонентов имеет полиморфные превращения. При закалке с полиморфным превращением нагрев металла производится до температуры, при которой происходит смена типа кристаллической решетки в основном компоненте. Образование высокотемпературной полиморфной структуры сопровождается увеличением растворимости легирующих элементов. Последующее резкое охлаждение ведет к обратному изменению типа кристаллической решетки, однако из-за быстрого охлаждения в твердом растворе остается избыточное содержание атомов других компонентов, поэтому после такого охлаждения образуется неравновесная структура. В металле сохраняются внутренние напряжения. Они вызывают резкое изменение свойств, увеличивается прочность, уменьшается пластичность.

При быстром охлаждении перестройка кристаллической решетки происходит за счет одновременного смещения целых групп атомов. В результате вместо обычных зерен в металле появляется игольчатая структура, которая называется **мартенситом.** Неравновесное состояние металла после такого типа закалки яв-

ляется термодинамически неустойчивым. Поэтому, чтобы перевести металл в более устойчивое состояние, получить необходимый уровень внутренних напряжений, а соответственно и необходимые механические свойства, применяют дополнительную термообработку, которую называют отжиг.

Закалка без полиморфного превращения.

Применяется для сплавов, не испытывающих полиморфных превращений, но имеющих ограниченную растворимость одного компонента в другом. Если сплав, содержащий вторичные фазы, нагреть до температуры выше линии солидус, то увеличение растворимости приведет к растворению вторичных фаз. Если теперь такой твердый раствор быстро охладить, то выделение вторичных фаз образоваться не успеет, т.к. для этого требуется время на прохождение процесса диффузии, образование другой кристаллической решетки, границ раздела между фазами. В результате, при нормальной температуре пересыщенный метастабильный твердый раствор содержит избыток второго компонента. Такое изменение структуры изменяет свойства сплава, прочность может, как увеличиться, так и уменьшиться, а пластичность, как правило, увеличивается.

Состояние металла после такой закалки является термодинамически неустойчивым. Самопроизвольно или под влиянием предварительного нагрева метастабильный твердый раствор начинает распадаться с выделением вторичной фазы, т.е. αмRα+βII. Этот процесс называется старением.

Закаливаемость - способность стали повышать твердость в результате закалки.

Прокаливаемость - способность стали образовывать закаленный слой со структурой мартенсита и высокой твердостью. Прокаливаемость образца характеризуется максимально получаемой твердостью по сечению изделия (образца). При неполной прокаливаемости ее конкретная величина определяет возможность получения при закалке материала с установленным значением твердости на определенной глубине. Полная прокаливаемость, то есть наличие мартенситной структуры по всему сечению изделия, называется сквозной.

Отпуск стали

Отпуск стали - термическая обработка, включающая нагрев закаленной стали до температуры ниже критических точек, выдержка при этой температуре и охлаждение.

В результате отпуска в зависимости от температуры нагрева неустойчивая структура мартенсита закалки в результате диффузионного перераспределения углерода превращается в более устойчивые структуры - мартенсит отпуска, троостит, сорбит и перлит.

Мартенсит отпуска имеет измененную кристаллическую решетку и его образование сопровождается объемными изменениями, выделением теплоты и частичным снятием внутренних напряжений. При более высокой температуре нагрева образуются троостит, сорбит и перлит отпуска, которые в отличие от получаемых из аустенита при непрерывном охлаждении имеют зернистую, а не пластинчатую микроструктуру.

Стали с зернистой микроструктурой отпуска характеризуются более высокой пластичностью и лучшей обрабатываемостью резанием.

В зависимости от температуры отпуска различают низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий) виды отпуска. Закалка на мартенсит с последующим высоким отпуском называется **улучшением стали**. Улучшение обеспечивает хороший комплекс свойств (прочность, ударная вязкость, твердость) и применяется для ответственных изделий из среднеуглеродистых сталей (коленчатые валы, шатуны и др. детали).

К основным дефектам, которые могут возникнуть при закалке стали относят трещины и деформацию.

Трещины - неисправимый дефект, предупредить который можно конструктивном решением (избегать в изделии конструктивных элементов, которые могут стать концентраторами напряжений) и тщательным соблюдением режимов термообработки. Деформация, то есть изменение размеров и формы изделий, всегда сопровождает процессы термической обработки, особенно закалки. Несимметричную деформацию изделий в практике часто называют **короблением** (поводкой).

Деформацию можно уменьшить подбором соответствующего состава стали и условий термической обработки, а избежать коробления - обеспечив равномерность нагрева под закалку и правильное положение детали при погружении в закалочную среду. Легированная сталь имеет меньшую теплопроводность, чем углеродистая, поэтому требует замедленных нагрева и охлаждения, во избежание коробления и трещин.

Старение - это термообработка, которая проводится после закалки без полиморфного превращения, направленная на получение в сплаве более равновесной структуры и заданного уровня свойств.

Термомеханическая обработка (ТМО)

Термомеханическая обработка (ТМО) стали - совокупность операций термической обработки с пластической деформацией, которая проводится либо выше критических точек (ВТМО), либо при температуре переохлажденного (500 ... 700°С) аустенита (НТМО). Такой вид обработки позволяет получить сталь высокой прочности (до 270 МПа).

Формирование структуры стали при ТМО происходит в условиях повышенной плотности и оптимального распределения дислокаций. Окончательными операциями ТМО являются немедленная закалка во избежание развития рекристаллизации и низкотемпературный (Т=100...300ºС) отпуск.

Термомеханическая обработка с последующими закалкой и отпуском позволяют получить очень высокую прочность (σ= 2200...3000 МПа) при хорошей пластичности (δ = 6...8%, ψ= 50...60%) и вязкости.

В практических целях большее распространение получила ВТМО, обеспечивающая наряду с высокой прочностью хорошее сопротивление усталости, высокую работу распространения трещин, а также сниженные критическую температуру хрупкости, чувствительность к концентраторам напряжений и необратимую отпускную хрупкость.

ВТМО осуществляется в цехах прокатного производства на металлургических заводах, например, при упрочнении прутков для штанг, рессорных полос, труб и пружин.

Механотермическая обработка

Метод заключается в том, что защитный слой кристаллизуется из расплава в стесненных условиях под нагрузкой. При этом в нем отсутствуют полости и сквозные поры, основной металл практически не подплавляется и не попадает в наплавляемый слой, который надежно соединяется с основой. Используют две технологические схемы: **фрикционное и электроконтактное формование**.

Фрикционное. Схема включает в себя прижатие с определенным усилием к поверхности детали сухарей из материала будущего покрытия. Возможен и другой вариант: с помощью пуансона прижимается брикет из гранул или стружки. Затем покрываемая поверхность с заданной скоростью приводится в циклическое движение. Наносимый материал трется о поверхность детали, на границе выделяется теплота. В какой-то момент времени температура контакта достигает точки плавления.

Плавление, а следовательно, формирование износостойкого слоя происходит под давлением от 5 до 100 МПа при скорости скольжения 1-8 м/с. При этом время формирования слоя составляет 5-70 с. Таким способом создается покрытие толщиной от 0,5 до 10 мм.

На стальную основу наносятся слои из медных, алюминиевых и других сплавов. Однако этот метод имеет ряд ограничений. Он применим для деталей цилиндрической формы, приводимых во вращение. Причем температура плавления материала покрытия должна быть меньше, чем у материала основы. Также метод успешно используется для создания медного покрытия на поверхностях гильз цилиндров ДВС, что стимулирует возникновение режима избирательного переноса. При испытаниях пара цилиндр - поршень практически не изнашивается.

При **электроконтактном** формировании тепло выделяется в результате прохождения электрического тока через обладающий большим сопротивлением гранулированный материал, прижимаемый с заданным давлением к поверхности детали. Здесь форма поверхности детали может быть любой. Температурные ограничения тоже отсутствуют. Этим методом на сталь наносится широкий спектр материалов: легированные стали, твердые сплавы, износостойкие композиции.

Таким же образом осуществляется электроконтактная наплавка, основанная на принципе контактной сварки. Наплавляемый материал (обычно в виде ленты) прижимается к поверхности детали электродом. Между электродом и деталью разность потенциалов составляет 2 - 12 В. Можно использовать в качестве

источника тока сварочный трансформатор. Если наплавляют длинномерные детали, то электрод делают в виде ролика, катящегося по детали и осуществляющего приварку защитного покрытия.

Тема 5. Поверхностное упрочнение стальных деталей

Поверхностное упрочнение методом пластического деформирования.

Поверхностная закалка, ее виды и области применения. Химико-термическая обработка стали. Физические основы химико-термической обработки. Диффузионное насыщение углеродом и азотом. Диффузионное насыщение металлами и неметаллами.

Упругая и пластическая деформации.

При пластической деформации металлов происходит изменение формы и размеров кристалла, изменение его пространственной кристаллографической ориентации, изменение внутреннего строения зерен.

Под действием нагрузки зерна вытягиваются в направлении деформации. Одновременно происходит ориентация кристаллографических плоскостей, относительно кристаллических направлений.. Формируется так называемая текстура (кристаллографическая текстура). Чем выше деформация, тем развитее становится текстура. В процессе пластической деформации увеличивается и количество дефектов кристаллического строения таких, как вакансии и дислокации. Плотность дислокации увеличивается с 10^6=10^8 см $^{-2}$ до 10^{11}-10^{12} см$^{-2}$. Для некоторых металлов в процессе пластической деформации формируется ячеистая структура. Дислокация останавливается в определенных местах образуются границы ячеек, внутри которых находятся области практически свободные от дислокации. При больших степенях деформации плотность дислокации на границах возрастает. Границы становятся четкими – это так называемые субзернами, т.о. при пластической деформации происходит образование текстуры, увеличивается количество дефектов кристаллографического строения. Происходит увеличение угла разъориетации между отдельными ячейками (для некоторых металлов).

Деформация может быть упругой, исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки. При упругом деформировании под действием внешней силы изменяется расстояние между атомами в крист. решётке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатом-

ного расстояния, атомы становятся на прежние места и деформация исчезает. При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой. Если нагрузку снять, то перемещённая часть кристалла не возвратится на старое место, деформация сохранится. Наклёп. Перекристаллизация. Дисперсионное твердение.

Наклёп – упрочнение металлов и сплавов в результате измельчения зерна при холодной пластической деформации. Перекристаллизация – упрочнение в результате измельчения зерна при полиморфном превращении. Дисперсионное твердение – упрочнение сплавов в результате выделения мелких частиц второй фазы из пересыщенного твёрдого раствора.

При холодной пластической деформации прочностные хар-ки (твёрдость, предел прочности и растяжений) увеличиваются в 2-3 раза, тогда как хар-ки пластичности (относит. удлинение, относит. сужение) снижаются 30-40 раз.

Пластическая деф-ция приводит к переводу металлов в неравновесное состояние, т.е. с повышенным запасом свободной энергии. Как и любая другая сис-ма металл стремиться к уменьшению свободной энергии. Это уменьшение протекает тем интенсивнее, чем выше тем-ра. В зав-ти от тем-ры отжига различают процессы возврата и процессы рекристаллизации.

Поверхностная закалка

Эта операция сопровождает химико-термическую обработку, а также имеет и самостоятельное значение - она применяется для образования твердого износостойкого слоя на поверхности деталей из средне- и высокоуглеродистых сталей и некоторых чугунов. Ей предшествует объемная термообработка: нормализация или объемная закалка и высокий отпуск.

Поверхностная закалка состоит из двух операций: нагрева поверхностного слоя и быстрого его охлаждения. По способу нагрева различают следующие методы поверхностной закалки: высокочастотный, контактный, плазменный, при нагреве в электролите, лазерный.

Наиболее распространенным и эффективным является **высокочастотный метод нагрева**. К генератору высокой частоты подключается охлаждаемая катушка из нескольких витков. Внутри катушки возникает высокочастотное электромагнитное поле, в которое помещают деталь. Вследствие явления электромагнитной индукции в детали возникают вихревые токи (токи Фуко), которые текут лишь в тонком поверхностном слое, где и выделяется вся образующаяся теплота. Поверхностный слой разогревается до температуры закалки за очень

короткое время, недостаточное для того, чтобы тепло распространилось вглубь детали. Затем нагретая поверхность резко охлаждается потоком жидкости (обычно воды). В результате закаливается тонкий поверхностный слой, основа же при этом остается вязкой, что предохраняет деталь от хрупкого излома при циклическом действии нагрузки.

Поверхностная закалка с **электроконтактным нагревом** осуществляется путем пропускания переменного тока через контакт детали с электродом в виде катящегося по поверхности детали ролика. Применяется ток промышленной частоты низкого напряжения. Источником тока является однофазный сварочный трансформатор. Из-за высокого электросопротивления в месте контакта ролика с деталью выделяется большое количество теплоты, и зона контакта разогревается до температуры закалки. Нагретая поверхность охлаждается струей воды.

Плазменные методы предусматривают нагрев поверхности за счет обработки струей низкотемпературной плазмы. Плазма получается двумя способами.

Первый способ заключается с использовании обычных газовых горелок, применяемых для резки и сварки металлов. В качестве сгорающей газовой среды используется смесь кислорода с ацетиленом либо с другими углеводородами.

Другой способ предусматривает использование разогретой струи инертного газа, продуваемого через зону дугового разряда. Устройство, генерирующее струю такой плазмы, называется плазмотроном. В качестве источника плазмы обычно используют аргон.

Нагрев в электролите осуществляется путем помещения детали в ванну с раствором кальцинированной соды или поташа. Ванну подключают к положительному полюсу источника постоянного тока, а деталь - к отрицательному. При достаточно большой силе тока поверхность детали быстро нагревается за счет того, что выделяющийся в результате электролиза водород образует на поверхности оболочку, обладающую высоким электросопротивлением. Эта оболочка является одновременно тепловым экраном, предотвращающим рассеивание тепла в электролит. Таким методом закаливают штанги толкателей и стержни клапанов газораспределительного механизма ДВС и ряд других деталей.

В последние годы все большее распространение получают **лазерные технологии**.

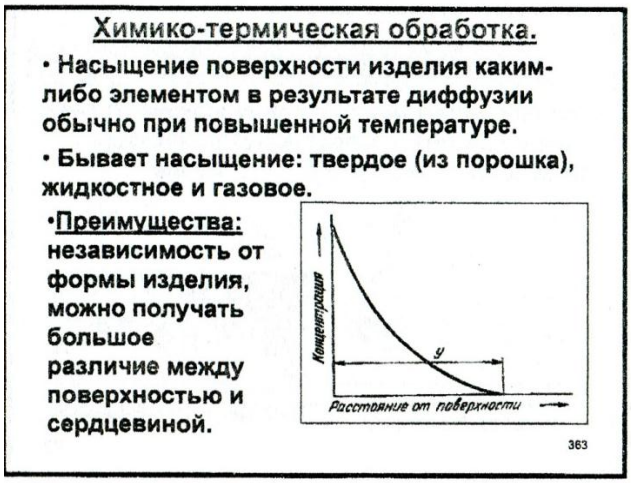
Они отличаются высокой культурой производства и эффективностью. Лазерное излучение в инфракрасном диапазоне, сфокусированное в пятно диаметром порядка десятка микрометров, совершает пилообразное движение (сканирование) по поверхности детали, покрывая весь выделенный под закалку участок. Скорость нагрева микрообъемов детали, взаимодействующих с лучом, и последующего охлаждения достигает 10^6 К/с. Это обеспечивает закалку поверхностного слоя, глубина которого регулируется за счет изменения скорости сканирования.

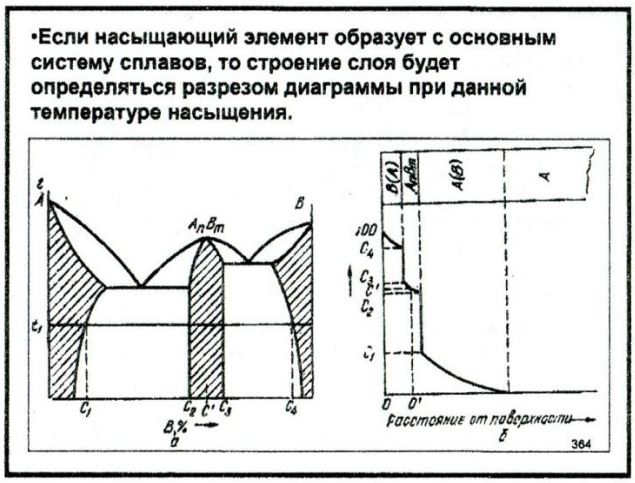
Сканирование производится путем перемещения детали по заданной программе специальными механическими устройствами. Используются как твердотельные лазеры, работающие в импульсном режиме, так и газовые с непрерывным процессом излучения. Лазерная закалка обеспечивает получение однородной мелкокристаллической поверхностной структуры, обладающей повышенной твердостью и износостойкостью. После термообработки лазерным лучом не происходит коробления элементов рельефа детали, не наблюдается заметного ухудшения качества поверхности. Из-за высокой стоимости процесса лазерной закалке подвергаются самые дорогостоящие и ответственные детали, например, коленвалы ДВС.

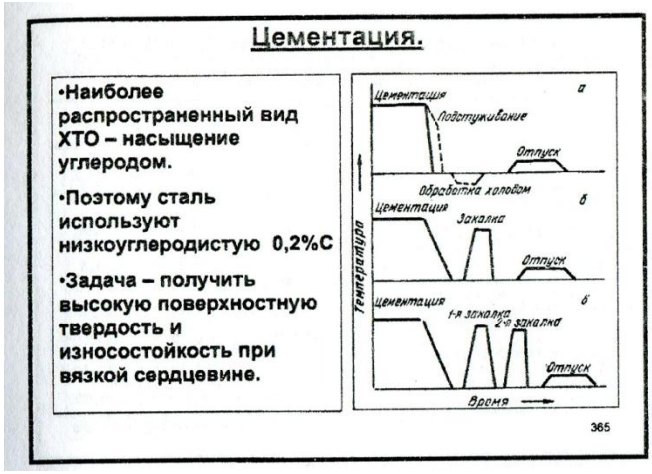
Химико-термическая обработка (ХТО) стали

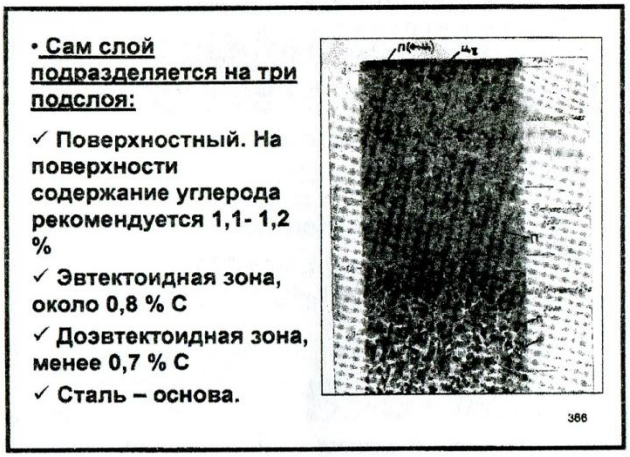
ХТО - совокупность операций термической обработки с насыщением поверхности изделия различными элементами (C, N, Al, Si, Cr и др.) при высоких температурах. Благодаря такой обработке меняется не только структура металла, но и химический состав его верхнего слоя и деталь может иметь вязкую сердцевину, выдерживающую ударные нагрузки, высокую твердость и износность.

Химико-термическая обработка повышает твердость, износостойкость, кавитационную и коррозионную стойкость и, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения сжатия, увеличивает их надежность и долговечность.









Цементация

Цементация - это процесс насыщения поверхности изделия углеродом.

Этому процессу подвергают чаще всего изделия из малоуглеродистых сталей, содержащих не более 0,25% углерода и некоторых легированных сталей.

Цементация повышает твёрдость и износостойкость поверхности детали при сохранении вязкости сердцевины. Различают твердую и газовую цементацию.

При **твердой цементации** в ящик заполненный науглероживающим веществом (карбюризатором) и специальными добавками размещают детали. В качестве карбюризатора используют древесный уголь.

При температуре процесса 900-950^{0}С кислород воздуха, расположенного между кусочками угля взаимодействует с углеродом с образования окиси углерода СО. Именно СО, а не CO_2 т.к. процесс идет при недостаточном количестве кислорода. При контакте окиси углерода с металлической поверхностью про-

исходит реакция диссоциации при которой окись углерода распадается на CO_2+реакция диссоциации с образованием активных атомов углерода, которые диффундируют в поверхность металла:

$$\mathbf{2CO_2 \rightarrow CO_2+C}$$

В качестве добавок к карбюризатору используют соли: CO_3, Na_2CO_3, K_2CO_3, являющиеся дополнительным поставщиком окиси углерода.

Процесс твердой цементации является малопроизводительным и занимает не один десяток часов. Это связанно с тем, что значительная часть времени тратится на прогрев ящика до заданной температуры т.к. корбюризатор является не теплопроводным веществом.

Эффективнее способ **газовой цементации**.

В этом случае через камеру и размещенные в ней детали пропускают науглероживающий газ или СО или, что чаще предельные углеводороды (метан, этан, пропан, гексан, октан, нонан, декан).

В производстве чаще всего используется природный газ, содержащий до 93-95% группы CH_4. При цементации тщательно регламентируют подачу газа. В случае избытка количества газа на поверхности детали оседает слой сажи т.к. не весь углерод может усваиваться поверхностью детали.

Температуру цементации не выбирают ниже A_{C1} т.к. феррит практически не растворяет углерод. Процесс осуществляют выше A_{C3}, а именно при температурах 900–930^{0}С.

После цементации структура по сечению детали не однородна. На поверхности структура соответствует структуре заэвтектоидной стали. Далее структура эвтектоидной стали (перлит), а затем структура доэтектоидной стали (Ф+П).

За толщину слоя принимают толщину заэвтектоидной, эвтектоидной и половину доэвтектоидной зоны. Окончательные свойства формируются после термической обработки. Термообработка обеспечивает измельчение зерна неизбежно выросшего в процессе выдержки при высокой температуре, устранение цементной сетки.

Термообработка заключается в закалке с температурой 820–840^{0}С и низком отпуске при температурах100...300^{o}С. Твердость углеродистых сталей 60–64HRC, легированных 57–60HRC.

Маленькая твердость после ХТО легированных сталей обусловлена повышенным содержанием в структуре аустенита остаточного, для устранения которого после закалки иногда проводят обработку холодом.

Азотирование.

Азотирование это процесс насыщения поверхности детали азотом.

Азотирование проводят в специальных газовых печах, куда помещают детали, а затем подается диссоциированный аммиак, т.е. проходит распад аммиака. Диссоциация аммиака проходит в специальных автоклапанах в присутствии катализатора. Это нужно для того, чтобы в печь поступали атомы азота.

Температура азотирования 520-550º С, т.е. она не высокая, так как растворимость азота в феррите вполне достаточная. Поэтому азотирование можно проводить после окончаний термообработки, например, после закалки и высокого отпуска. Это позволяет подвергать азотированию уже готовые детали, прошедшие обработку резанием, шлифованием, т.е. не требуется оставлять припуски на окончательную обработку как при цементации.

Низкая температура азотирования не позволяет получить глубокого насыщения поверхностей. Поэтому обычная толщина азотированного слоя 0,3 – 0,5 мм, а продолжительность процесса в 2-3 раза превышает продолжительность цементации.

Для повышения эффекта износостойкости стали подвергаемые азотированию обычно содержат Cr,Al, Mo (например, сталь 38Х2МЮА). Эти элементы, взаимодействуя с азотом, образуют собственные ингредиенты, которые дополнительно повышают твердость и износостойкость поверхности.

По сравнению с цементацией азотирование имеет преимущества и недостатки:

Преимущества: проводится после окончательной термообработки, поэтому не требует дополнительных припусков; более высокие твердость и износостойкость; устойчивая прочность деталей; коррозионная стойкость; рабочая температура 400-450º С.

Недостатки: более тонкий слой; более длительный процесс, требующий сложного оборудования, производительность меньше.

Диффузионная металлизация

При насыщении поверхности детали металлами происходит образование твердых растворов по типу замещения, т.е. атомы основного компонента замещаются в кристаллической решетке атомами легирующего элемента.

Процесс диффузии по типу замещения идет гораздо медленнее, чем по механизму внедрения. Поэтому процесс диффузионной металлизации требует более высоких температур и длительных выдержек. Наиболее часто применяют насыщение поверхности Al, Cr, Ti, Zn.

Алитирование. Применяют для стальных и никелевых деталей с целью повышения жаростойкости поверхности, образуются Al2O3. Алитирование можно проводить двумя способами:

Алитирование из порошковой смеси. В этом случае берут порошок FeAl. Нагревают до температуры 1050-1150º С и выдерживают от двух до двадцати часов. Хлор взаимодействует с Al (ALCL3) и за счет образования этого хлористого Al происходит перенос Al на поверхность из порошка.

Погружение детали в расплав Al, выдержка в ванне и затем нагрев до рабочей температуры алитирования.

Хромирование. Хромирование применяют с разными целями:

Для малоуглеродистых сталей с содержанием C<0,4%, с целью повышения коррозионной стойкости поверхности. В этом случае Cr переходит в твердый раствор и если его концентрация превышает 13%, то сталь становится коррозионно-стойкой.

Глубина насыщения Cr зависит от эксплуатационных характеристик деталей.

%C > 0,41% - средне или высокоуглеродная сталь. В этом случае хромирование применяют для повышения твердости и износостойкости поверхности.

Увеличение твердости происходит за счет образования в сталях карбидов хрома, которые и повышают служебные свойства деталей.

В отличие от гальваники, ХТО называют твердым хромированием.

Берут порошок FeCr, добавляют Al_2O_3 и NH4Cl. При хромировании можно получить толщину до 0,2 мм. Мягкое хромирование используется для повышения коррозионной стойкости труб, фланцев.

Титанирование. Насыщение Ti повышает коррозионную стойкость и повышает кавитационную стойкость. Насыщение Ti проводят из порошковых смесей FeTi.

Цинкование. Защищает от коррозии. Насыщение Zn проводят погружением детали в расплав. Температура расплавленного цинка в ванной 350-550º С. Время пребывания в расплавленной ванне 1-10 минут. Толщина цинкового покрытия 10-30 микрон.

Тема 6. Конструкционные легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Маркировка легированных конструкционных сталей и роль отдельных легирующих элементов. Стали цементируемые, улучшаемые, высокопрочные, пружинные, подшипниковые, износостойкие.

Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием. Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки.
Стали, подразделяют на углеродистые и легированные.

Влияние углерода и примесей на свойства сталей

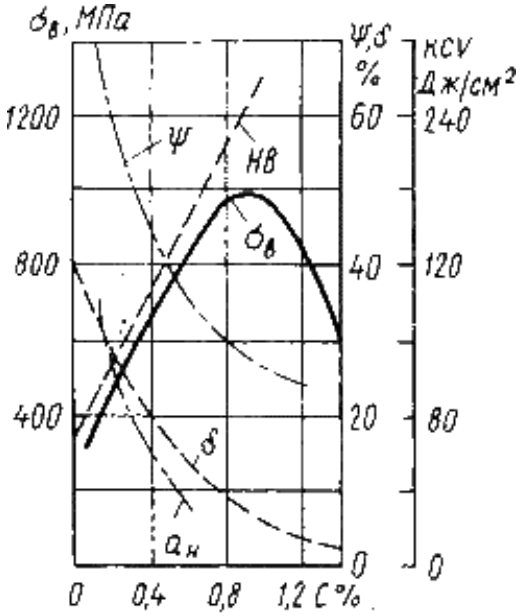


Рис.3.5. Влияние углерода на свойства сталей

Углеродистые стали являются основными. Их свойства определяются количеством углерода и содержанием примесей, которые взаимодействуют с железом и углеродом.

Влияние углерода.

Влияние углерода на свойства сталей показано на рис. 3.5. С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита, при одновременном снижении доли феррита. Изменение соотношения между составляющими приводит к уменьшению пластичности, а также к повышению прочности и твердости. Прочность повышается до содержания углерода около *1%,* а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.

Углерод влияет на вязкие свойства. Увеличение содержания углерода повышает порог хладоломкости и снижает ударную вязкость.

Повышаются электросопротивление и коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность магнитной индукции.

Углерод оказывает влияние и на технологические свойства. Повышение содержания углерода ухудшает литейные свойства стали (используются стали с содержанием углерода до 0,4 %), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость. Следует учитывать, что стали с низким содержанием углерода также плохо обрабатываются резанием.

Влияние примесей.

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы.
1. *Постоянные примеси*: кремний, марганец, сера, фосфор.

Марганец и кремний вводятся в процессе выплавки стали для раскисления, они являются технологическими примесями.

Содержание марганца не превышает *0,5…0,8 %.* Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа *FeS*, так как образует с серой соединение сульфид марганца *MnS*. Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает *0,35…0,4 %.* Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка.

Кремний растворяется в феррите и повышает прочность стали, особенно повышается предел текучести, $\sigma_{0,2}$. Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке

Содержание фосфора в стали *0,025…0,045 %.* Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности $\sigma_в$ и предел текучести $\sigma_т$, но снижает пластичность и вязкость.

Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладоломкость, уменьшает работу распространения трещин, Повышение содержания фосфора на каждую *0,01 %* повышает порог хладоломкости на *20…25°С.*

Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость.

Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до *0,10…0,15 %,* для улучшения обрабатываемости резанием.

S – уменьшается пластичность, свариваемость и коррозионная стойкость. Р– искажает кристаллическую решетку.

Содержание серы в сталях составляет *0,025…0,06 %.* Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы *FeS*, которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления *988°С.* При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины, заготовка разрушается – явление *красноломкости*.

Красноломкость – повышение хрупкости при высоких температурах

Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость $a^н$ и пластичность (δ и ψ), а так же предел выносливости. Она ухудшают свариваемость и коррозионную стойкость.

2. *Скрытые примеси* - газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов (*FeO, SiO_2, Al_2O_3*) нитридов (*Fe_2N*), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Примеси внедрения (азот *N*, кислород *O*) повышают порог хладоломкости и снижают сопротивление хрупкому разрушению. Неметаллические включения (окислы, нитриды), являясь концентраторами напряжений, могут значительно понизить предел выносливости и вязкость.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катанных заготовках и поковках *флокенов.*

Флокены – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета.

Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле.

Если водород находится в поверхностном слое, то он удаляется в результате нагрева при *150…180*^{0}, лучше в вакууме $\sim 10^{-2}...10^{-3}$ мм рт. ст.

Для удаления скрытых примесей используют вакуумирование.

3. *Специальные примеси* – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали - легированные сталями.

Назначение легирующих элементов.

Основным легирующим элементом является хром *(0,8…1,2)%.* Он повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали. Порог хладоломкости хромистых сталей - (0…-100)^{o}С.

Дополнительные легирующие элементы.
Бор - 0.003%. Увеличивает прокаливаемость, а такхе повышает порог хладоломкости *(+20…-60 ^{o}C.*

Марганец – увеличивает прокаливаемость, однако содействует росту зерна, и повышает порог хладоломкости до *(+40…-60)^{o}C.*

Титан *(~0,1%)* вводят для измельчения зерна в хромомарганцевой стали.

Введение молибдена *(0,15…0,46%)* в хромистые стали увеличивает прокаливаемость, снихает порог хладоломкости до *–20…-120^{o}C.* Молибден увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, устраняет

склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.

Ванадий в количестве *(0.1…0.3) %* в хромистых сталях измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладоломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток компенсируется введением в сталь молибдена). Хромоникелевые стали, обладают наилучшим комплексом свойств. Однако никель является дефицитным, и применение таких сталей ограничено.

Значительное количество никеля можно заменить медью, это не приводит к снижению вязкости.

При легировании хромомарганцевых сталей кремнием получают, стали – хромансиль *(20ХГС, 30ХГСА)*. Стали обладают хорошим сочетанием прочности и вязкости, хорошо свариваются, штампуются и обрабатываются резанием.Кремний повышает ударную вязкость и температурный запас вязкости.

Добавка свинца, кальция – улучшает обрабатываемость резанием. Применение упрочнения термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

Распределение легирующих элементов в стали.

Легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (феррит, аустенит, цементит), или образуют специальные карбиды.

Растворение легирующих элементов в Fe_{α} происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Эти амомы создают в решетке напряжения, которые вызывают изменение ее периода.

Изменение размеров решетки вызывает изменение свойств феррита – прочность повышается, пластичность уменьшается. Хром, молибден и вольфрам упрочняют меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден и вольфрам, а твкже кремний и марганец в определенных количествах, снижают вязкость.

В сталях карбиды образуются металлами, расположенными в таблице Менделеева левее железа (хром, ванадий, титан), которые имеют менее достроенную *d* – электронную полосу.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение *d* – электронной полосы атома металла, тогда как у металла ва-

лентные электроны образуют металлическую связь, обуславливающую металлические свойства карбидов.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла более *0,59* образуются типичные химические соединения: Fe_3C, Mn_3C, $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3, Fe_3W_3C – которые имеют сложную кристаллическую решетку и при нагреве растворяются в аустените.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла менее *0,59* образуются фазы внедрения: Mo_2C, WC, VC, TiC, TaC, W_2C – которые имеют простую кристаллическую решетку и трудно растворяются в аустените.

Все карбиды обладают высокой твердостью и температурой плавления.

Тема 7. Коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные материалы

Виды коррозии, методы защиты. Коррозионностойкие стали: хромистые и хромоникелевые. Жаростойкость и методы ее повышения. Жаростойкие стали. Жаропрочность и методы ее повышения. Явление ползучести. Жаропрочные стали. Жаропрочные сплавы на железоникелевой и никелевой основах. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе.

Коррозионно-стойкие стали. Хромистые и хромоникелевые стали. Сталь с содерж. Cr 12-14% приобретает устойчивость к коррозии в воде (пресной и морской), в среде кислот, солей, щелочей.

Коррозионная стойкость увеличивается после термообработки и придания высокой чистоты поверхности. Содержание С должно быть min, т.к. в присутствии С образуются карбиды. Хромоникелевые более устойчивы к коррозии, чем хромистые. Чтобы увеличить коррозионную стойкость, надо, чтобы структура была однородной. Для этого её подвергают закалке: нагревают при (1100…1200)° С и охлаждают в воде.

При эксплуатации деталей при повышенных температурах (700-800° С) коррозионная стойкость резко падает, данные стали дополнительно легируют ниобием и титаном, такие стали называют стабилизированными (04Х18Н10), широко используются в авиа- и судостроении.

Стали 12Х13 и 20Х13 применяют для изготовления деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся ударным нагрузкам (клапанов гидравлических прессов, предметов домашнего обихода), а также изделий, испытывающих

действие слабоагрессивных сред (атмосферных осадков, водных растворов солей органических кислот). Наилучшая нержавеющая сталь - Х18Н10Т.

Жаростойкие стали.

Жаростойкость (окалиностойкость) – способность материала сопротивляться химической коррозии в газовой среде при высоких температурах.

В жаростойких сталях Fe с O_2 может образовывать оксиды трёх видов: FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3. До (560…600)°С окалина состоит преимущественно из плотного слоя оксидов Fe_3O_4 и Fe_2O_3, что затрудняет диффузию атомов O_2 .

Нагрев выше 600°С приводит к интенсивному окислению сплавов на основе Fe. Основным фактором, влияющим на железо, является химический состав М, определяющий защитные свойства оксидной плёнки. Рыхлый оксид Mg почти не защищает М при нагреве. Mg не только быстро окисляется, но и легко воспламеняется при нагреве и используется в пиротехнике.

Оксиды М II-ой группы при нагреве разрушаются за счёт сублимации в случае Mo и W, так и благодаря растворению в М входящего в них кислорода (Ti, Zr).

При увеличении температуры сверх определенного предела увеличивается эффективность оксидов М III группы.

Для технического Fe предельная рабочая температурара нагрева в воздушной среде составляет 560°С. М VI-ой группы, благодаря плотной оксидной плёнке с высокими защитными свойствами при нагреве, имеют хорошую жаростойкость. Cr, Si и Al используют для жаростойкост легированных сталей.

Оксид легирующего элемента должен быть плотным, не подверженным растрескиванию при нагреве, иметь высокие температуры сублимации и плавления. Т.к. высокое содержание Si и Al способствует охрупчиванию и уменьшают технологическую пластичность при обработке давлением, основным легирующим элементом является Cr. Жаростойкие свойства увеличиваются с увеличением его содержания в стали. Сталь, содержащая 5% Cr, сохраняет жаростойкость до 600°С (15Х5), 9% (40Х9С2) – до 800°С, 17% (08Х17Т) – до 900°С.

Хромистые марки сталей относятся к сталям ферритного класса. Для изготовления деталей печного оборудования применяют стали 20Х23Н18, 20Х25Н20С2, имеющие жаростойкость до 1100°С. Эти марки относятся к аустенитному классу и характеризуются не только высокой жаростойкостью, но и высокой жаропрочностью. Хотя уровень жаростойкости стали и её max ра-

бочая температура определяются содержанием Cr, увеличение температуры эксплуатации обусловливает одновременный рост концентрации Ni, что связано с необходимостью стабилизации аустенитной структуры.

Жаропрочные стали.

Жаропрочность – способность противостоять развитию пластической деформации и разрушениям под действием механических нагрузок при высоких температурах (свыше 500°С).

Жаропрочные стали и сплавы применяют для изготовления многих деталей, работающих при высоких температурах. Увеличение температуры сильно влияет на механические свойства: уменьшают модуль упругости, жёсткость, предел прочности, предел текучести.

Способы увеличения жаропрочности:

1) легирование, в результате этого увеличивается энергия связи между атомами, затрудняются процессы диффузии, увеличивается температура рекристаллизации.

2) в сплавах создают гетерогенную структуру, когда в сплаве наряду с твердым раствором имеется выделение избыточных фаз (карбидов, интерметаллидов).

Лучшими жаропрочными сталями являются аустенитные стали. Их состав похож на коррозионно-стойкие стали: 12Х18Н10Т.

Основные критерии жаропрочности:

предел длительной прочности – напряжение, которое приводит к разрушению образца при заданной температуре за определённое время, соответствующее условиям эксплуатации изделий.

предел ползучести – напряжение, вызывающее заданную суммарную деформацию за определенное время при заданной температуре.

Срок службы, на который рассчитана машина или механизм, определяет выбор критерии жаропрочности и материала для их изготовления.

Тема 8. Инструментальные стали

Стали для режущего инструмента: углеродистые, легированные, быстрорежущие. Требования к сталям. Стали для измерительного инструмента. Штамповые стали.

Инструментальными называются углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью 60…65HRC, прочностью, износостойкостью, теплостойкостью и применяются для изготовления различных инструментов: режущих, измерительных, штамповых.

Обычно это эвтектоидные или легированные стали, структура которых после закалки и низкого отпуска представляет собой мартенсит и избыточные карбиды.

Для инструментов, требующих повышенной вязкости, применяют доэвтектоидные стали, которые после закалки подвергаются отпуску при более высоких температурах с получением структуры троостита или сорбита.

Одна из главных характеристик - теплостойкость, т.е. сохранять высокую твёрдость при нагревании или сохранять устойчивость против отпуска при нагреве в процессе работы.

Делятся на 3 группы:

1) углеродистые и легированные стали, содержащие небольшое количество легированных элементов и обладающих теплостойкостью до 200^0 (У7…У13, 9ХС);

2) легированные стали, содержащие 0,6-0,7% C, 4-18% Cr, среднетеплостойкие, работают до $400\text{-}500^0$ (Х12, Х12М, 5ХНМ);

3) теплостойкие стали до $550\text{-}650^0$. Это высоколегированные стали, содержащие Cr, ванадий, вольфрам, Mn, Co.

Углеродистые стали небольшой прокаливаемости, необладающие теплостойкостью. Углеродистые инструментальные стали У8, У10, У11,У12, У13 вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита имеют небольшую прокаливаемость, и поэтому эти стали применяют для инструментов небольших размеров.

Стали У10, У11, У12, У13 применяют для режущего инструмента (фрезы, зенкеры, сверла, шабера, напильники и т. д.). Для деревообрабатывающего инструмента применяют стали У7 и У8.

Стали можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания с малой скоростью, так как их высокая твердость (У10-У12 - 62-63HRC) сильно снижается при нагреве выше 190-200°С.

Легированные стали повышенной прокаливаемости, не обладающие теплостойкостью (11ХФ, 13Х, ХВСГ, 9ХС, Х, В2Ф) пригодны для резания материалов невысокой прочности ($\sigma_в$=500÷600МПа) с небольшой скоростью (до 5-8м/мин). Их используют для инструмента, не подвергаемого в работе нагреву свыше 200-250°С. Легированные стали по сравнению с углеродистыми обладают большей прокаливаемостью.

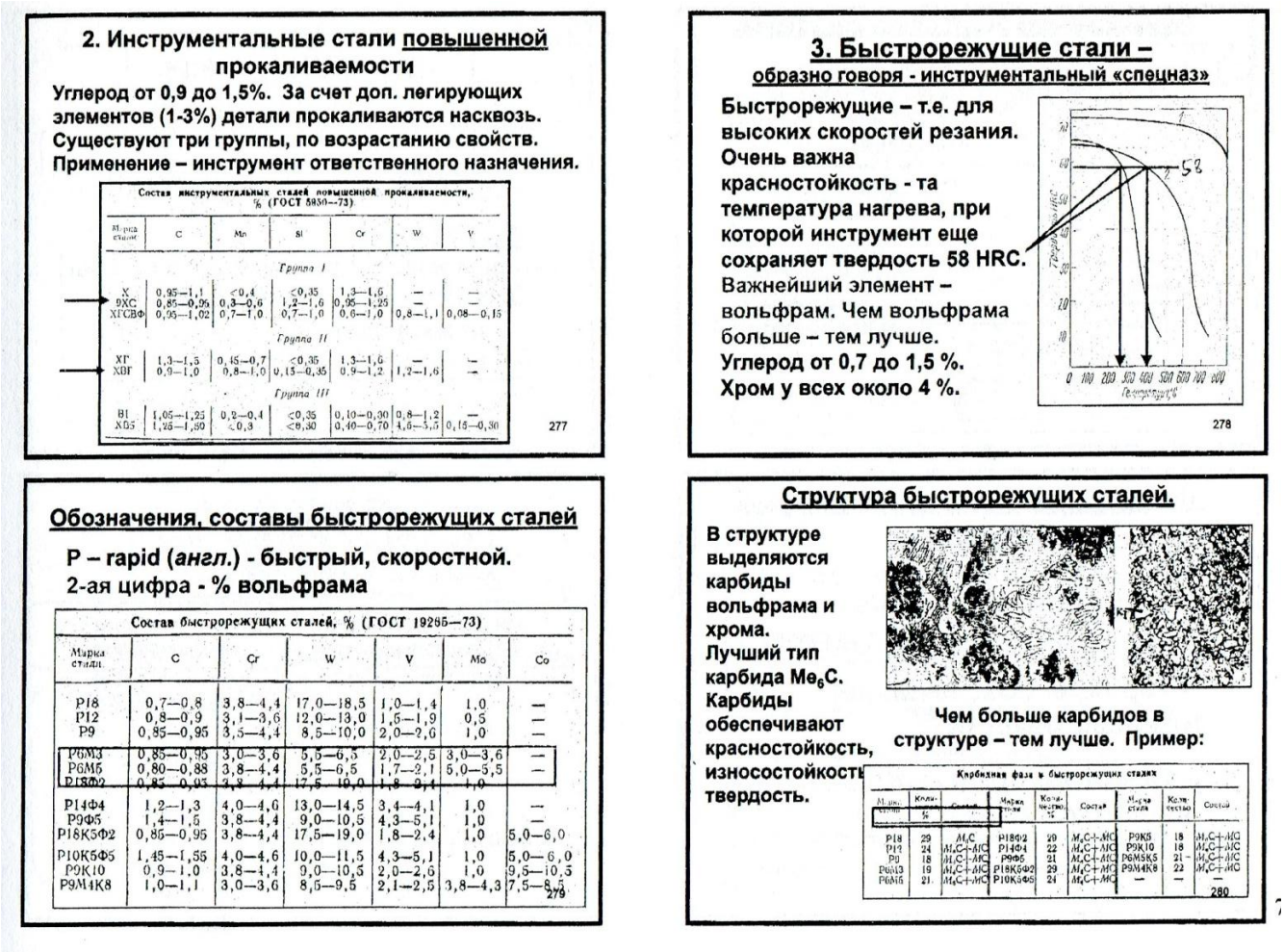
Сталь Х - 0.95-1% C, 0.15-0.4% Mn, 0.15-0.35% Si, 1.3-1.65% Cr, 64-65HRC.

Обозначения легирующих элементов:
Х – хром, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам, К – кобальт, Т – титан, А – азот (указывается в середине марки), Г – марганец, Д – медь, Ф – ванадий, С – кремний, П – фосфор, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий, Ю – алюминий

Быстрорежущие стали (Р6М5, Р12Ф3, Р8М3К6С, Р9, Р8М3, Р8М5) в отличие от других инструментальных сталей обладают высокой теплостойкостью и соответственно имеют высокую твердость, прочность и износостойкость при повышенных температурах, возникающих в режущей кромке при резании с большой скоростью.

Основным легирующими элементами этих сталей являются вольфрам, молибден, кобальт и ванадий.

Сталь Р18 - 0.7-0.8% C, 3.8-4.4% Cr, 17.5-19% W, 1-1.4% V, 0.5-1% Mo.



Тема 9. Алюминий, магний и их сплавы

Алюминий и его сплавы. Применение и основные свойства. Деформируемые и литейные алюминиевые сплавы. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Магний и его сплавы. Литейные и деформируемые сплавы магния. Термическая обработка магниевых сплавов.

Деформируемые алюминиевые сплавы.

Они подразделяются на две группы: сплавы, не упрочняемые термической обработкой и сплавы, упрочняемые термической обработкой. Упрочняющая термообработка таких сплавов заключается в закалке и последующем старении пересыщенного α-твердого раствора.

Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой: прочность алюминия можно повысить легированием. В эти сплавы вводят марганец или магний. Входя в кристаллическую решетку алюминия, атомы этих элементов существенно повышают его прочность, снижая при этом

пластичность. Сплав алюминия с марганцем обозначают АМц, сплав алюминия с магнием – Амг. Среднее содержание в сплаве магния в процентах дополнительно обозначают цифрами (АМг3, АМг6). Прочность сплавов АМц и АМг можно повысить только в результате пластической деформации в холодном состоянии.

В зависимости от степени упрочнения различают сплавы полунагартованные и нагартованные, что дополнительно отмечают в обозначении марки буквой П и Н соответственно (АМгЗП, АМг3Н), отожженное состояние обозначают буквой М (АИг3М).

Эти сплавы применяют для изготовления различных сварных ёмкостей для горючего, азотной и других кислот, трубопроводов, а также мало- и среднегруженных деталей конструкций.

Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой: Содержание легирующих элементов в сплавах, должно быть больше, чем предел их растворимости в алюминии при нормальной температуре. В то же время оно не должно превышать предела их растворимости в твердом алюминии при нагреве. К таким сплавам относятся дюралюмины (сложные сплавы систем алюминий – медь –магний или алюминий – медь – магний – цинк). Они имеют пониженную коррозионную стойкость, для повышения которой вводится марганец.

Дюралюмины обычно подвергаются закалке с температуры 500°С и естественному старению, которому предшествует двух-, трехчасовой инкубационный период. Максимальная прочность достигается через 4…5 суток. Широкое применение дюралюмины находят в авиастроении, автомобилестроении, строительстве. Высокопрочными стареющими сплавами являются сплавы, которые кроме меди и магния содержат цинк. Сплавы В95, В96 имеют предел прочности около 650 МПа. Основной потребитель – авиастроение (обшивка, стрингеры, лонжероны).

Ковочные алюминиевые сплавы АК:, АК8 применяются для изготовления поковок. Поковки изготавливаются при температуре 380…450°С, подвергаются закалке от температуры 500…560°С и старению при 150…165°С в течение 6…15 часов. В состав алюминиевых сплавов дополнительно вводят никель, железо, титан, которые повышают температуру рекристаллизации и жаропрочность до 300°С. Изготавливают поршни, лопатки и диски осевых компрессоров, турбореактивных двигателей.

Литейные и подшипниковые алюминиевые сплавы.

Наиболее распространенными литейными алюминиевыми сплавами являются сплавы алюминия с кремнием, называемые силуминами. Большинство силуминов являются доэвтектическими сплавами (4-13% Si). Их структура состоит из α-твердого раствора и эвтектики, содержащей 11,6% Si. Чем больше в составе силумина эвтектики, тем лучше литейные свойства. Эвтектика представляет собой механическую смесь зерен α-твердого раствора и крупных пластин кремния, являющегося хрупким и непрочным элементом. При таком крупнопластинчатом строении эвтектики сплав имеет сравнительно малую прочность и низкую пластичность. Для улучшения строения эвтектики и получения более мелкозернистой структуры силумины подвергают модифицированию смесью NaCl и NaF.

Силумины маркируют буквами АЛ и порядковой цифрой, не характеризующей ни состав, ни свойства сплава: АЛ2, АЛ13. Силумины широко применяют для изготовления литых деталей приборов, корпусов турбонасосных агрегатов и других мало- и среднезагруженных деталей, в том числе и тонкостенных отливок сложной формы.

Подшипниковые алюминиевые сплавы относятся к эффективным подшипниковым материалам (АСС-6-5 – содержит 5% свинца, 5% - сурьмы, данный сплав имеет высокие противозадирные свойства); АСМ – содержит от 3% до 5% сурьмы, 0,5% – магния. Применяют в подшипниках скольжения, которые с успехом заменяют бронзовые, в частности в двигателях. В том числе в тяжелонагруженых узлах.

Магниевые сплавы

Магний является самым легким конструкционным металлом – его плотность составляет 1,7 г/см^3, температура плавления 650 ^{0}С. К существенным недостаткам относится их малая коррозионная стойкость. Положительным качеством является их отличная обрабатываемость режущим инструментом с получением чистой поверхности.Их широко применяют в тех случаях, когда масса изделия имеет большое значение. Детали из магниевых сплавов изготавливают обработкой давлением, а также литьем. Марки деформируемых магниевых сплавов обозначают буквами МА, литейные – МЛ и порядковым номером. Особенностью сплавов магния является малая скорость диффузии находящихся в нем легирующих элементов и их ликвация.

Mg сплавы делятся на деформируемые (МА 5) и литейные (МЛ 9)

Основное свойство Mg сплавов – их высокая ударная прочность после термической обработки. Прочность достигает 400 МПа, что и обеспечивает высокую

ударную прочность. Поэтому Mg сплавы применяются в приборостроении. Недостаток: низкая коррозионная стойкость, склонность к газонасыщенности и воспламенению.

1) Mg-Al сплавы (МА5)Прочность растет с увеличением содержания Al. Но свыше 10% не добавляют, т.к. резко снижается пластичность

2) Сплавы с Zn относятся к высокопрочным. Термическая обработка затруднена, т.к. в связи с низкой температурой плавления процесс растворения интермиталидов идет медленно и требуется длительная выдержка.

Литейные сплавы: (МА5) Грубая крупнозернистая структура. Которую можно измельчить, модифицированием мрамором или мелом

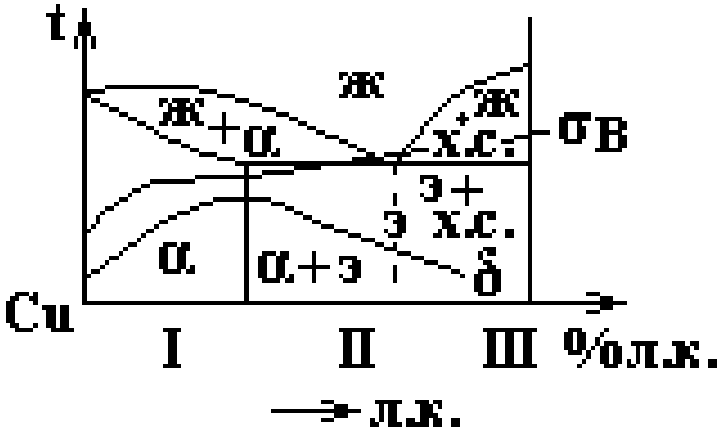
Деформирмируемые сплавы: МА1 – 1,3-2,5% Mn применяют в изгот-ии сварных бензо- и маслопроводах, поковки. МА2 – 0,15-0,5 % Mn, 0,2-0,8% Zn, 3-4 % Al применяют: штампованные, кованные детали для работы до 200 градусов.

Литейные сплавы: Мл2 – 1-2% Mn применяют в изгот-ии слабонагруженных деталей несложной формы.

Тема 10. Медь и ее сплавы

Медь, ее свойства и сплавы. Применение меди. Латуни деформируемые и литейные, их свойства, маркировка и применение. Бронзы деформируемые и литейные. Состав и свойства бронз, их марки и области применения.

Медь: $t_{плавления}$ = 1084°С, низкий коэффициент трения, высокая электропроводность, высокая теплопроводность, высокая устойчивость против коррозии, низкая прочность $\sigma_B \approx 25$ кгс/мм^2, пластичность высокая $\delta = 40\%$. Сплавы меди. Создание сплавов приводит к повышению прочности, улучшению коррозионной прочности и снижению температуры плавления. Zn явл. легирующим компонентом. Сплавы Cu с Zn – латуни. Бронзы – сплавы с др. компонентами. Al + Cu – алюминиевые бронзы, Be + Cu – бериллиевые, Sn + Cu, … Особенности влияния компонентов на структуру.



л.к. – легирующий компонент, х.с. – хим. соединение. Если полиморфные превращения, значит перекристаллизация. I Сплавы – твёрдые растворы (однофазные сплавы, высокая прочность + высокая пластичность), II Механические смеси (α + х.с. – двухфазные: более высокая прочность), III Хим. соединения (хрупкие) – редко исп. В промышленности.

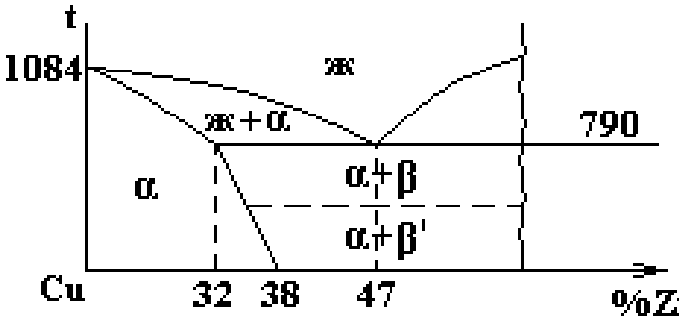
Латуни.

Латунями называют медные сплавы, в которых основном легирующим элементом является цинк. В системе медь – цинк образуются шесть твердых растворов: α, β, γ, δ, ε, η. Практическое значение имеют сплавы, содержащие примерно до 42-43% Zn. При содержании цинка до 39% латуни однофазны (α-латуни), до 46% - двухфазны (α+ β’).

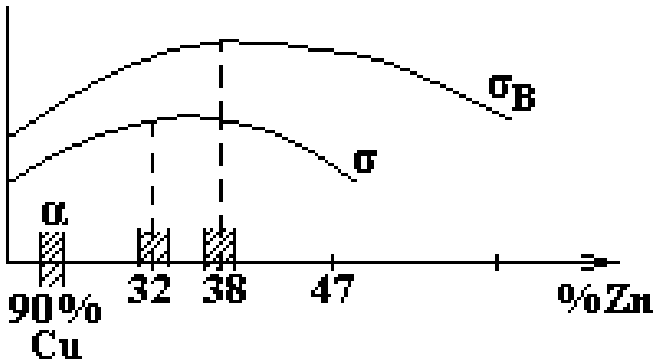
Однофазные латуни характеризуются высокой пластичностью; β’ – фаза очень хрупкая и твердая, поэтому двухфазные латуни имеют более высокую прочность и меньшую пластичность, чем однофазные. При содержание цинка до 30% возрастает одновременно и прочность, и пластичность. Прочность увеличивается до содержание цинка около 45%, а затем уменьшается также резко, как и пластичность.

Для повышения механ-их свойств и химич-ой стойкости латуни в них часто вводят легирующие элементы: алюминий, никель, марганец, кремний и т.д. Олово, марганец, алюминий увеличивают прочность и коррозионную стойкость. Кремний увеличивает твердость и прочность, улучшает литейные свойства. Маркируются буквой Л и числом, указывающим среднее содержание меди. Например, Л80 – латунь, содержащая 80% Cu и 20% Zn. В марках латуней сложного состава имеются буквы, соответствующие введенным легирующим элементам. Например, в латуни ЛМцС58-2-2 содержится 58% Cu; 2% Mn и 2% Pb (остальное Zn).

Отрицательным свойством латуней, содержащих более 20% Zn и особенно более 30% Zn, является их склонность к растрескиванию при вылеживании во влажной атмосфере, содержащей следы аммиака. Никеливые латуни ЛН65-5 – высокие механические свойства, хорошо обрабатываются давлением. Оловянные ЛО90-1, ЛО70-1 – повышенная коррозионная стойкость в морской и пресной воде, хорошо обрабатываются имеют высокие антифрикационые свойства. Свинцовые ЛС 63-3 – повышенные антифрикационые свойства и обрабатываемость резанием.



α – тв. р-р Zn в меди, β и β′ - хим. соединения, β′ - более хрупкое. Сплавы, в которых много β и β′, плохо деформируются, поэтому используются как литейные. Для кованных и литых сплавов весной и осенью (влажность высокая) образуются трещины на поверхности. Сезонное растрескивание – коррозия под действием влаги и напряжения (наклёп + влага). Стараются снять наклёп, сделать нагрев выше $t_{кр}$, порядка 300°С, тогда сезонного растрескивания не возникнет. Изменение свойств латуни.



Латуни: 1) красные латуни, самые дорогие, цинк – жёлтый, медь красная, красные латуни не подвержены сезонному растрескиванию, Л80 (80% Cu), самовары делают из красной латуни; 2) сплавы, характеризующиеся пластичностью; 3) латуни с высокой прочностью, автоматные (изг. на станках-автоматах), обладают хорошей обрабатываемостью резанием, ЛС-59-1 (латунь свинцовая с 59% Cu и 1% Pb), самые дешёвые; 4) сложные латуни.

Бронзы:

- это сплавы меди, олова, железа, берилия, алюминия и меди, название бронзам дают по названию основных легирующих элементов (оловянистые бронзы, железистые бронзы). Бронзы широко используются как антифрикционные сплава. Бронзы делятся на: оловянистые, алюминиевые, кремнистые, бериливые.

Бронзы – сплавы с др. компонентами. Al + Cu – алюминиевые бронзы, используются в судостроении, авиации, в виде лент, листов, проволоки их применяют для упругих элементов, в частности для токоведущих пружин. Be + Cu – бериллиевые, используются в изделиях небольшого сечения в виде лент, проволоки для пружин, мембран, сильфонов и контактов в электрических машинах, аппаратах и приборах. Sn + Cu – оловянные, применяют для литых деталей сложной формы. Si + Cu – кремнистые, применяют для арматуры и труб.

Структура оловянистых бронз вследствии ликвидации не всегда соответствует равновесной диаграмме сплавов.

Бронзы условно разделяют: 1) оловянные; 2) безоловянные (специальные). Оловянный – высоко стойкие, морозостойкие и немагнитные. Недостатки: склонность к образованию газовых пор в отливках, невысокая герметичность изделия. малая красностойкость. В зависимости от технологии изготовления: деформируемые и литейные.

Деформируемые оловянистые бронзы содержат до 8% олова, применяются для пружин и деформируемых деталей, до 6% олова, обладают высокими антифрикациоными свойствами и достаточной прочностью. Обычно в алюминиевых бронзах содержится 9 – 11 % алюминия. Эти бронза обычно легированы не только алюминием, но и железом , никелем, марганцем.

Маркировка: - деформированная: БрОЦС5-5-5 (бронза; олово, цинк, свинец по 5%, остальное медь); - литая БрО5У5С5. БрАЖН10-4-4 (10% Al, 4% Fe, 4%Ni) и БрАЖН11-6-6 (11% Al, 6% Fe, 6%Ni) являются наиболее прочными из всех алюминиевых бронз.

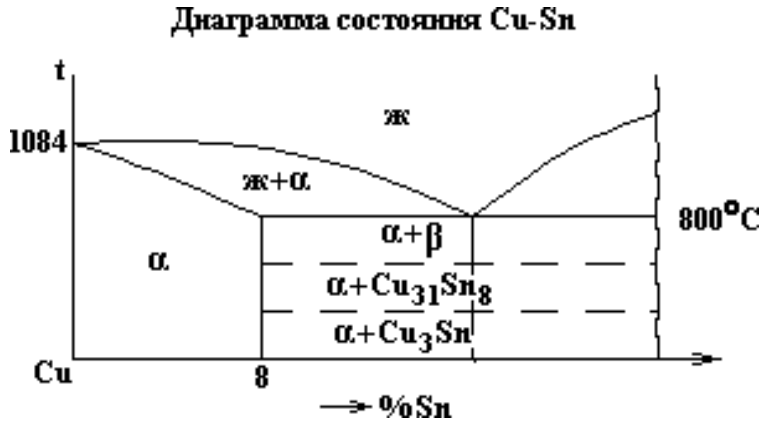
Мех. свойства бронзы:

- зависят от состава и концентрации легирующего элемента
- оловянистые бронзы σ_B = 150-450Мпа, твёрдость до 600Мпа, Δl = от 3 до 70%
- алюмине-железистые бронзы: Бр АЖ 9-4 (алюминия 9%, железа 4%, остальное медь). НВ = 1800Мпа, если добавить никель, твёрдость ещё более повысится.

Области применения:

Из алюминиевых бронз изготавливают зубчатые колеса, сальники, детали турбин, электропроводные пружины. Они хорошо работают в условиях износа, повышенного давления и даже повышенных температурах.

- изготовление втулок, вкладыши, припой для пайки изделий.



Влияние олова на сплавы меди. Олово улучшает литейные св-ва, т.к. снижает температуру плавления, образуется эвтектика, которая уменьшает ликвацию. Олово уменьшает коэффициент усадки, можно сделать художественное литьё. Много пор у оловянной бронзы, поэтому плохо работает под давлением пара. Эти сплавы коррозионно-стойкие, используются в судостроении. Оловянная бронза с течением времени темнеет, поэтому из них часто изготавливают украшения. Низкий коэффициент трения. Есть однофазные (5-6% Sn) и двухфазные (>8% Sn). Из однофазной бронзы изготавливают медные монеты, т.к. у них высокая пластичность и хорошая коррозионная стойкость. Чаще используются двухфазные бронзы, их используют для подшипников скольжения. БрОФ-10-1 (бронза оловянно-фосфорная, 10% олова, 1% фосфора), БрОЦС-5-5-5 (с цинком свинцовая).

Тема 11. Титан и его сплавы

Титан, его свойства и сплавы. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титана. Деформируемые и литейные сплавы титана, их свойства, маркировка и применение. Термическая обработка титановых сплавов.

Плотность титана составляет 4,5 г/см^3. Темпераура плавления зависит от степени его чистоты, поэтому она колеблется от 1660 до 1680. Ионидный титан, в котором общая сумма примесей ≤0,05-0,1%, имеет $\sigma_в$ = 30 и δ=50%. В техническом титане ВТ1 сумма примесей ≤0,8% и $\sigma_в$ =60, δ=20%. Титан является поли-

морфным металлом. При нагреве до 882 ^{0}C α-титан, имеющий гексагональную кристаллическую решетку, переходит в β-титан с. о. ц. к. решеткой.

Титановые сплавы имеют ряд преимуществ:

1. Сочетание высокой прочности ($\sigma_в$=80-150кгс/мм^2) с хорошей пластичностью (δ=12-25%).

2. Малую плотность. Как следствие этого, титановые сплавы имеют наиболее высокую удельную прочность по сравнению с другими металлами и сплавами.

3. Относительно хорошая жаропрочность. Их можно использовать до 600-700^0 С.

4. Высокая коррозионная стойкость во многих агрессивных средах. В результате легирования титановых сплавов можно получить нужный комплекс свойств.

Почти все элементы могут взаимодействовать с титаном, образуя при этом твердые растворы или интерметаллиды. Наиболее часто титан легируют алюминием. Алюминий увеличивает их прочность, жаростойкость и их термическую стабильность. Титановые сплавы широко используют в авиационной и химической промышленности, ракетостроении и в др-х областях, где требуется сочетание незначительной массы с высокой прочностью, коррозионной стойкостью и жаропрочностью до 500-600гр.

Одним из недостатков является их плохая обрабатываемость режущим инструментом. ВТ4 – 3%Al, 5%Mn, 4,5-6%Al, 1.5%Mn – листы, прутки, трубы поковки.

Тема 12. Неметаллические материалы

Общие сведения о неметаллических материалах. Полимеры: молекулярная структура и свойства. Пластмассы: термопластичные и термореактивные, их свойства, состав, области применения. Резина. Формообразование деталей из резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резины.

Полимеры

Полимеры – это сложные высокомолекулярные соединения. У полимеров нет определённой температуры плавления. Отличие в степени насыщения - предела

насыщения не существует. Полимеры обладают очень высокой вязкостью, высокой молекулярной массой.

Полимеры – это макромолекулы, которые состоят из большого числа небольших молекул, которые называются мономерами.

Бутадиен – мономер. Бутадиен + … + бутадиен (4000 раз) → полибутадиен (искусственный каучук) [–CH_2–CH=CH–(–n)CH^2–], n – степень полимеризации.

Полимеры получают либо полимеризацией, либо поликонденсацией.

Процесс, при котором полимер получается вследствие соединения мономеров друг с другом, наз. полимеризацией.

Поликонденсация - это процесс образования полимера в результате хим. реакции исходных веществ с получением нового в-ва, структура которого отличается от исходной.

Термопласты, при повышении температуры размягчаются, им придаётся опред. форма, которую они сохраняют при охлаждении, получаются полимеризацией.

Реактопласты, при повышении температуры претерпевают хим. изменения и превращение в неплавкую массу, получаются полимеризацией и поликонденсацией.

Полимеры по структуре макромолекул:

Механические свойства полимеров. Свойства полимеров определяются: природой мономера, молекулярной массой полимера, структурой полимера

(кристаллический полимер или аморфный полимер), температурой нагрева. Есть пластическое и хрупкое разрушение.

Фазовые переходы аморфных полимеров: стеклообразное состояние → (t стеклования) высокоэластическое состояние (каучук) → (t текучести) расплав полимера.

В стеклообразном состоянии полимеры не обладают ни сегментальной, ни молекулярной подвижностью. Это состояние хар-ся только колебательным движением атомов. Стеклообразное состояние – это твёрдое и хрупкое состояние.

В высокоэластическом состоянии полимер обладает сегментальной подвижностью, при этом сегменты цепи обладают значительной свободой в движении, но в то же время перемещение макромолекул запрещено. В высокоэластическом состоянии полимеры похожи на жидкости с включёнными в них твёрдоподобными областями. Это состояние хар-ся высокой вязкостью и претерпевает вязко-упругую деформацию. t перехода из стеклообр. сост. в высокоэласт. наз. t стеклования.

При дальнейшем нагревании полимер начинает течь. t, при которой происходит переход из высокоэласт. сост. в вязко-текучее, наз. t текучести. Из-за отсутствия в полимерах истинной кристал. решётки процесса плавления как такового в аморфных полимерах не существует.

Ориентационное упрочнение справедливо как для аморфных, так и для кристаллических полимеров. Оно состоит в том, что все макромолекулы ориентированы в одном направлении и имеют в этом направлении большую прочность и больший модуль упругости (E, МПа, хар-ет жёсткость системы). Оно достигается вытяжкой либо в одном направлении, либо в двух направлениях.

Старение полимеров – это самопроизвольное, необратимое изменение св-в полимера вследствие разрушения межмолекулярных связей в цепочках макромолекул.

При старении происходят реакции, вызывающие: деструкцию (разложение) полимера, структурные изменения (увелич. хрупкость, уменьшение прочности, понижение эластичности). При ионизирующем излучении или под действием света процессы деструкции ускоряются. Для замедления старения вводят стабилизаторы.

Пластмассы.

Пластмассы - материалы, полученные на основе природных или синтетических полимеров, способных под воздействием t-ры и давления формироваться в изделие сложной формы, а затем устойчиво сохранять форму

Компоненты пластмасс:

- связующее вещество – служит для связки, сохранения других компонентов; применяют синтетические смолы; некоторые пластмассы состоят из одного связующего вещества (полиэтилен, оргстекло);
- наполнители – добавляют в кол-ве 40-70% с целью повышения мех. свойств, снижения стоимости изделия; часто служат порошково-деревянная мука, графит, окись кремния, часто используют волокнистые материалы (хлопчатобумажные нити), иногда листовые материалы (бумага, ткань, шпон);
- пластификаторы – добавляются в кол-ве 10-20% для уменьшения хрупкости и улучшения формуемости; служат эфиры, полимеры с гибкими молекулами;
- отвердители – добавляют в кол-ве нескольких % для отвердения термопластов; служат перекиси и специальные амины.
- Специальные добавки – красители, ускорители, смазочные, отвердители, замедлители.

Пластмассы подразделяют на 2-е группы: термопласты (обратимые), термореактивы (необратимые).

Термопласты:

Полиэтилен: продукт полимеризации этилена; высокие антикоррозионные и диэлектрические свойства; применяется в виде труб плёнок и т.д., хороший изолятор.

Полистирол: продукт полимеризации стирола; свойства как у полиэтилена; но имеет большую прочность и твёрдость; раковины, детали холодильников, прищепки.

Органическое стекло: полимер с высокой светопрозрачностью, значительной прочностью и малой плотностью; легко формуется, склеивается, сваривается, обрабатывается резанием; изготавливают стёкла часов, авто, самолётов, детали различных приборов.

Термореактивы:

Текстолит: наполнителем служит хлопчатобумажная ткань; изготавливают подшипники, шестерни, прокладки, электропанели; высокая стойкость к вибрации, хороший диэлектрик.

Гетинакс: прессованные листы, состоящие из нескольких слоёв пропиточной и изоляционной бумаги, пропитанной специальными смолами; применения и свойства аналогичны текстолиту.

Стеклопластик: содержит стекловолокнистый наполнитель и смолу; иногда вместо стекловолокна используют лавсан; применяют в судостроении, машиностроении, при изготовлении различных ёмкостей и облицовочных материалов.

Термопластичные пластмассы

1. Полиэтилен (ПЭ). Состав мономера: $[–CH_2–CH_2–]_n$. Этилен $[–CH_2–CH_2–]$ при комнатной t находится в газовом состоянии, t кипения составляет -140°С. ПЭ бывает двух видов: 1)Низкой плотности высокого давления ПЭНП (ПЭВД), разветвлённая структура, плотность ρ = 0,91-0,92 г/см^3, $t_{экспл}$ = -70÷120-140°С, $t_{плавл}$ = 110-125°С; 2) ПЭВП (ПЭНД), линейная структура, ρ = 0,96 г/см^3, $t_{экспл}$ = -70÷140-150°С, $t_{плавл}$ = 150°С. Недостаток – старение ПЭ. При воздействии ионизованного излучения увеличивается прочность материала и теплостойкость. Применение: упаковочная плёнка, литьё бутылок, трубы, электроизоляционный кабель.

2. Фторопласт (ФП). Состав мономера: $[–CF_2–CF_2–]_n$. ФП обладает аморфной кристаллической структурой. Плотность ρ = 0,25, $t_{экспл.}$ = -269 ÷ +250°С. Химически стоек к действию растворителей. ФП обладает очень низким коэффициентом трения μ = 0,04. Недостаток ФП: трудность его переработки. Применение: насосы, винтили, антифрикционные покрытия.

Термореактивные пластмассы

Текстолит относят к слоистым пластикам. Связующее в этом полимере – это термореактивные смолы. Наполнители: хлопчатобумажные ткани. Среди всех слоистых пластиков этот материал обладает наибольшей способностью поглощать вибрационные нагрузки. Кроме этого хорошо сопротивляется раскалыванию. Применяют для зубчатых колёс и как вкладыши для подшипников. Температура эксплуатации: -60 ÷ 60-80°С.

Газонаполненные пластмассы

Это гетерогенные (сост. из нескольких фаз) химически сложные системы, состоящие из твёрдой и газообразной фаз. В качестве связывающего используются термопласты (или реактопласты), которые образуют стенки ячеек или пор. В качестве наполнителей используют газообразные в-ва. В зависимости от физической структуры газонаполненные пластмассы делят на пенопласты, поропласты и сотопласты. Пенопласт – система, в которой присутствуют замкнутая

ячеистая структура, а газовый наполнитель изолирован от окр. среды тонкими слоями полимерного связующего. Замкнутая ячеистая структура обеспечивает высокие теплоизоляционные св-ва и хорошую плавучесть. Прочность таких материалов низкая и зависит от плотности материала. ρ = 20-300 кг/м^3. Применяется для изоляции кабин, холодильников, рефрижераторов, труб (поропласт), в авиа-, кораблестроении, на ж/д транспорте. Поропласт – материал с открытопористой структурой. Применяется для впитывания жидкости. ρ = 130-500 кг/м^3. Сотопласты – тонкие листовые материалы, выполненные в форме гофра, которые затем сшиваются в виде пчелиных сот. Материалом для гофров служат ткани, которые пропитываются различными связующими. Применение: тепло- и звукоизоляционные материалы (авиация), обладают радиопрозрачностью, используются для заполнения многослойных панелей в авиа- и судостроении.

Эластомеры и резины.

Эластомеры – это материалы, которые при приложении нагрузки удлиняются, а при снятии нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму.

Цепные макромолекулы под действием нагрузки распрямляются, а при снятии нагрузки сворачиваются. Для данного состояния характерна сегментальная подвижность, кроме этого, данные полимеры должны обладать определённым межцепным свободным пространством для осуществления движения сегментов.

Наиболее распространённым эластомером является каучук C5H8. На основе каучука получают резины. Молекулы чистого каучука слабо связаны друг с другом, поэтому легко отделяются одна от другой. В результате этого каучук прилипает к предметам, с которыми он взаимодействует. Для устранения этого дефекта применяют вулканизацию.

Вулканизация – нагрев каучука вместе с серой. При нагреве сера разрывает двойные связи в молекуле каучука, и образуются мостики между линейными цепочками каучука. Свойства каучука зависят от содержания серы, до 30% S – твёрдый каучук (шайбы).

Пластмассы как конструкционный материал.

Полиэтилен, фторопласт, текстолит. Малая плотность материала ρ = 1-2 т/м^3. Низкие значения модуля упругости и других мех. св-в. Низкая теплопроводность. Хорошие изоляционные свойства (электро, звуко, тепло). Для них характерно старение материалов и ползучесть.

Стекло.

Неорганическое стекло – химически сложные аморфные изотропные материалы, которые обладают свойствами хрупкого твёрдого тела. Стёкла состоят: 1. Стеклообразователи – основа: а) SiO_2 – силикатное стекло, если $SiO_2 > 99\%$, то это кварцевое стекло; б) $Al_2O_3 + SiO_2$ – алюмосиликатное стекло; в) $B_2O_3 + SiO_2$ – боросиликатное стекло; г) $Al_2O_3 + B_2O_3 + SiO_2$ – алюмоборосиликатное стекло; 2. Модификаторы, вводятся для придания стеклу определённых св-в. Ввод оксидов щелочноземельных металлов (I, II группа: Na, K) уменьшает температуру размягчения. Оксиды хрома, железа, ванадия придают стеклу определённые цвета. Оксиды свинца увеличивают коэффициент преломления. По количеству модификаторов стёкла бывают трёх типов: щёлочные – стёкла, в которых содержится модификаторов до 20-30%, бесщёлочные – до 5% модификаторов, кварцевое стекло – модификаторов нет; 3. Компенсаторы, подавляют негативное воздействие модификаторов. Стёкла в автомобилях, в стеклопластиках, оптика, теплопроводимость низкая, не растворимы в кислотах (кроме плавиковой HF) и щёлочах.

Свойства стёкол: Стёкла отличаются высокой твёрдостью и пределом прочности. Теоретически предел прочности достигает 10-12 ГПа. Модуль упругости E = 70 ГПа. Твёрдость по Виккерсу HV ~ 750 кгс/мм^2. Практически предел прочности составляет 50-100 МПа. Низкий σ_B объясняется след. факторами: высокий коэффициент линейного расширения. Поэтому, когда стекло остывает, на его поверхности образуются растягивающие напряжения. Это приводит к появлению трещин на поверхности. Кроме этого, стекло является хорошим теплоизолятором, что также приводит к образованию трещин. Стекло не сопротивляется динамическим нагрузкам.

Способы упрочнения стёкол: 1) травление с целью удаления дефектного поверхностного слоя. Предел прочности увеличивается до 3000 МПа. Но этот способ малоэффективен, т.к. в дальнейшем стекло взаимодействует с абразивными частицами или др. твёрдыми материалами; 2) создание на поверхности сжимающих напряжений. Это достигается путём закалки. Идёт нагрев до определённой температуры, а затем производят охлаждение в заданном режиме (температура нагревания, охлаждение и время выдержки). Предел прочности в этом случае увеличивается до 1000-1500 МПа; 3) нанесение на поверхность стёкол полимерных материалов. Полимерное связующее склеивает микротрещины на поверхности стекла.

Ситаллы – частично закристаллизовавшиеся стёкла. По структуре от обычных стёкол отличаются тем, что в них водят затравки (это соли серебра, золота, ме-

ди, свинца и т.д.). Эти стёкла непрозрачны. По способу получения ситаллы различаются на фотоситаллы и термоситаллы.

Тема 13. Композиционные материалы

Принципы создания и основные виды композиционных материалов. Армирующие материалы и их свойства. Композиционные материалы с металлической и неметаллической основой.

Композиционные материалы (КМ) - это материалы, состоящие из двух или более компонентов, объединенных различными способами в монолит и сохраняющие при этом индивидуальные особенности.

Характерные признаки КМ:

Состав и форма определены заранее.

Материал состоит из двух и более компонентов различного химического состава разделенных границей.

Свойство материала определены каждым из его компонентов, содержание которых достаточно большое.

КМ обладают свойствами, отличными от свойств компонентов взятых в отдельности.

КМ однородны в макромасштабе и неоднородны в микромасштабе.

Такие материалы не встречаются в природе.

Классификация КМ:

По геометрии наполнителя:

- Нуль-мерные (размеры которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок)

- Одномерные наполнители- один из размеров значительно превосходит другие.

- С двумерным наполнителем – два размера значительно превосходят третий

По схеме расположения наполнителя:

- С одноосным или линейным расположением наполнителя в виде волокон, нитей расположенных параллельно друг другу в матрице.

- Двуосным или плоскостным.

- Трехмерное или объемное расположение с отсутствием преимущественного направ. распределений.

По природе компонентов:

- Компоненты состоят из металлов или сплавов.

- Из неорганических карбидов, оксидов, нитридов.

- Из неметаллических элементов (углерод, бор)

- Из органических соединений (смолы).

Тема 14. Порошковые материалы

Порошковые материалы: свойства и способы получения. Конструкционные, специальные порошковые материалы. Области применения в машиностроении.

Порошковыми называют материалы, изготовляемые путем прессования металлических порошков в изделия необходимой формы и размеров и последующего спекания сформованных изделий в вакууме или защитной атмосфере при температуре $0.75\text{-}0.8T_{пл}$.

Применение порошковых материалов рекомендуется при изготовлении деталей простой симметричной формы, малых массе и размеров.

Процесс приготовления смеси состоит из классификации порошков по размерам частиц, смешивания и предварительной обработки.

Порошки с размерами частиц 50 мкм и больше разделяют по группам просеиванием на ситах, а более мелкие порошки – воздушной сепарацией. В металлические порошки вводят технологические присадки различного назначения: пластификаторы (парафин, стеарин, олеиновую кислоту и др.), облегчающие процесс прессования и получения заготовки высокого качества; легкоплавкие присадки, улучшающие процесс спекания, и различные летучие вещества для получения детален с заданной пористостью. Для повышения текучести порошок иногда предварительно гранулируют. Подготовленные порошки смешивают в шаровых, барабанных мельницах и других смешивающих устройствах.

Предварительную механическую или термическую обработку (например, отжиг) применяют для повышения технологических свойств порошков.

При проектировании деталей с высокими требованиями по точности исполнительных размеров необходимо предусматривать припуск на их дальнейшую механическую обработку. Наружные и внутренние резьбы следует изготовлять обработкой резанием. В конструкциях деталей необходимо избегать выступов, пазов и отверстий, расположенных перпендикулярно оси прессования

Для свободного удаления заготовки пресс-форма должна иметь незначительную конусность. При проектировании конических поверхностей необходимо исходить из удобства извлечения заготовки (обратная конусность недопустима). Радиусы перехода сопрягающихся поверхностей должны быть не менее 0,2 мм.

Антифрикционные порошковые сплавы имеют низкий коэффициент трения, легко обрабатываются, выдерживают значительные нагрузки и имеют хорошую износостойкость. Наибольшее применение получил материал ФМК-11.

Сплавы на основе цветных материалов (АЛП-2, АЛПД-2-4, БрПБ-2, ЛП58Г2-2 и др.) применяют в приборостроении и электронной технике.

В марке сплавов первые буквы, указывают:

класс материала («Ал» – алюминий, «Б» – берилий, «Бр» – бронза, «Л» – латунь и т.д.),

буква «П» – порошковый сплав,

число после дефиса – плотность материала в процентах.

Буквы («Д» – медь, «Ж» – железо, «Г» – марганец и др.) и цифры в марке указывают состав сплава.

Так же как обычные сплавы, порошковые сплавы на основе цветных металлов обладают высокой теплопроводностью и электропроводимостью, коррозионной стойкостью, немагнитны, хорошо обрабатываются резанием и давлением.

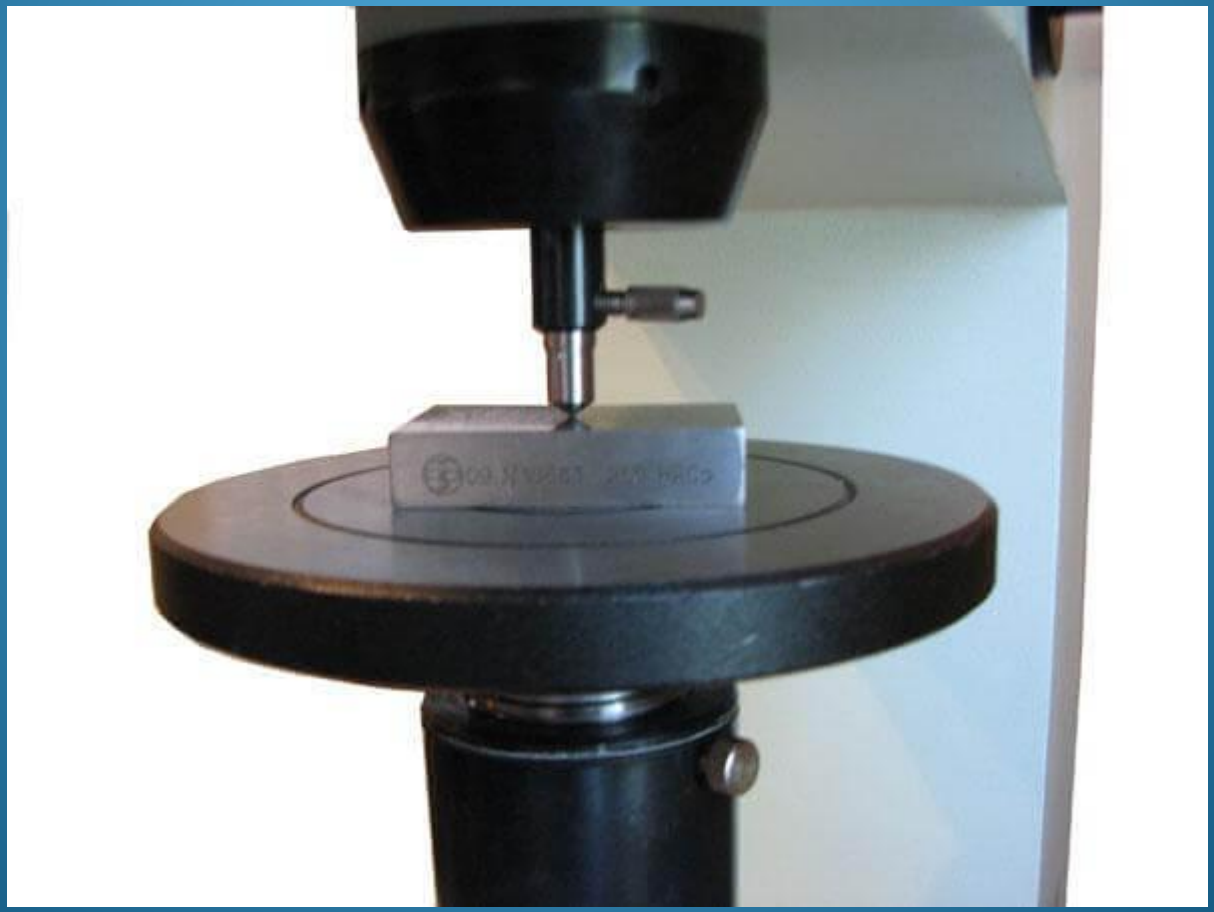
Республика Беларусь

УО «Брестский государственный технический университет»

Белозёров
Роман Фёдорович

Старший преподаватель кафедры машиноведения

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

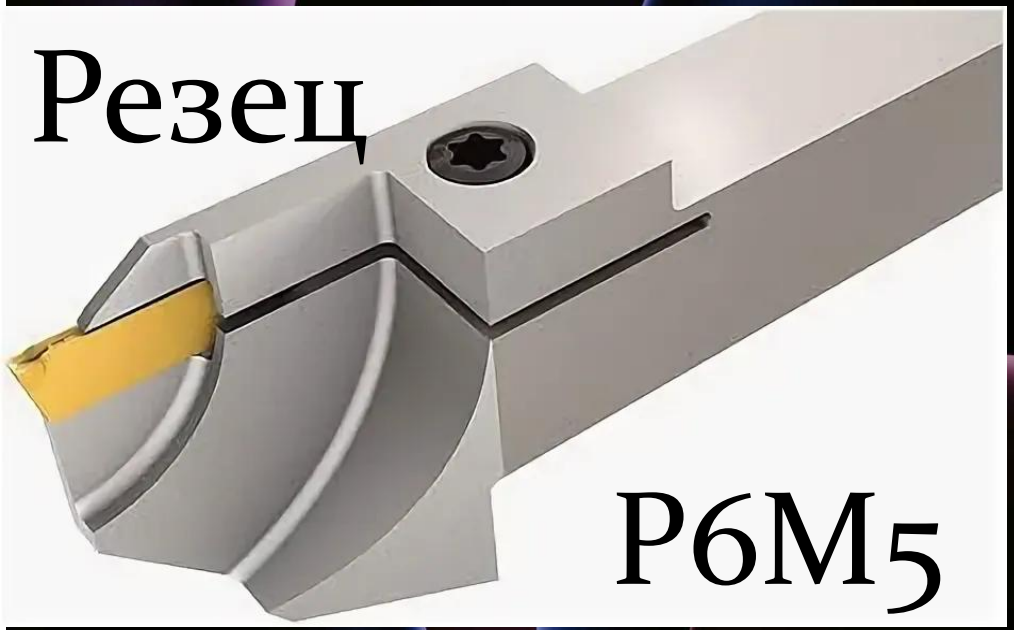


Целью изучения дисциплины является формирование теоретических знаний и практических умений о **связях между структурой и свойствами материалов, а также методах их упрочнения для наиболее эффективного использования в технике**

Промышленное применение металлов

Производство машин и оборудования

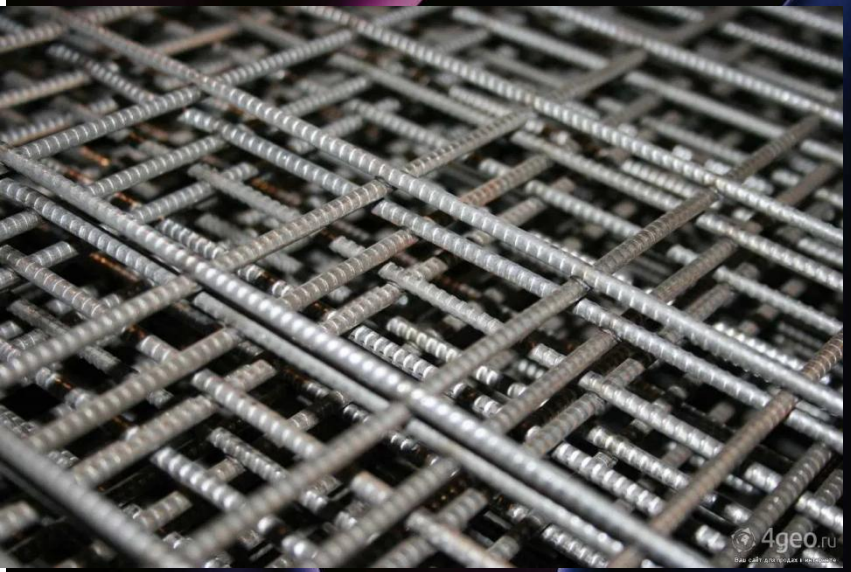
Металлы используются для изготовления различных машинных деталей и инструментов



Строительство и архитектура

Металлы применяются в строительстве зданий, мостов, и других инженерных конструкций.

Арматуа



Металлопрофиль

Транспортное производство

Металлы используются для производства автомобилей, поездов, и самолетов

Машина

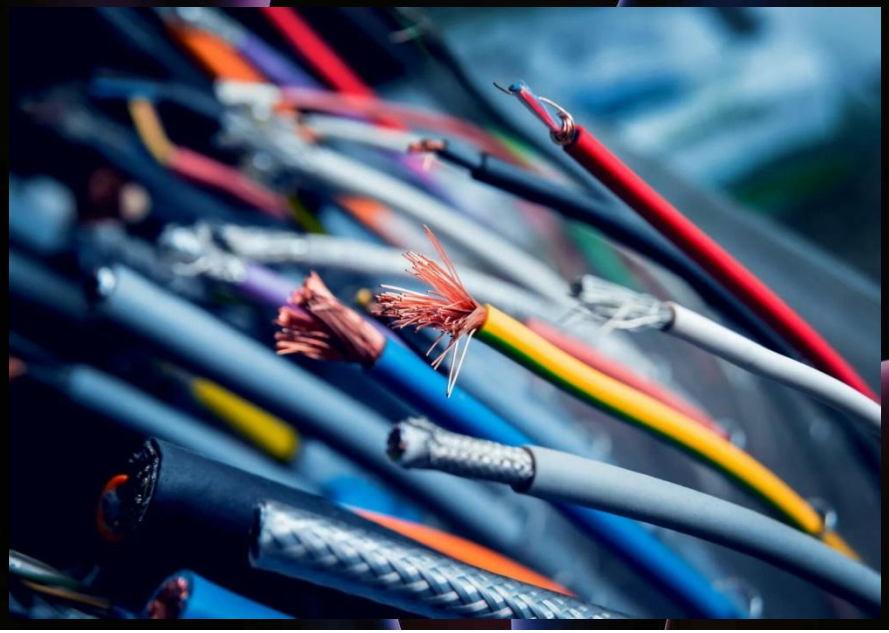
Поезд

Электроника и электротехника

Металлы широко применяются в производстве электронных компонентов и проводов

Процессор

Провода



Примеры важности качественных металлов в нашей повседневной жизни

Критерии оценки качества металлов

80

Прочность

Исследуется на изгиб, растяжение и ударную вязкость.

95

Твердость

Измеряется с помощью различных методов, включая твердомеры и методы нацеживания.

3

Коррозионная стойкость

Оценивается в экстремальных условиях, таких как соляные растворы и кислоты.

99%

Чистота

Используются методы спектрального анализа для определения примесей и элементов, влияющих на свойства металла.

Межпредметные связи

- «Режущие инструменты»
- «Сопротивления материалов»
- «Технология машиностроения»

Межпредметные связи

- «Режущие инструменты»

Фреза

Межпредметные связи

- «Сопротивления материалов»

Испытание на прочность

Межпредметные связи

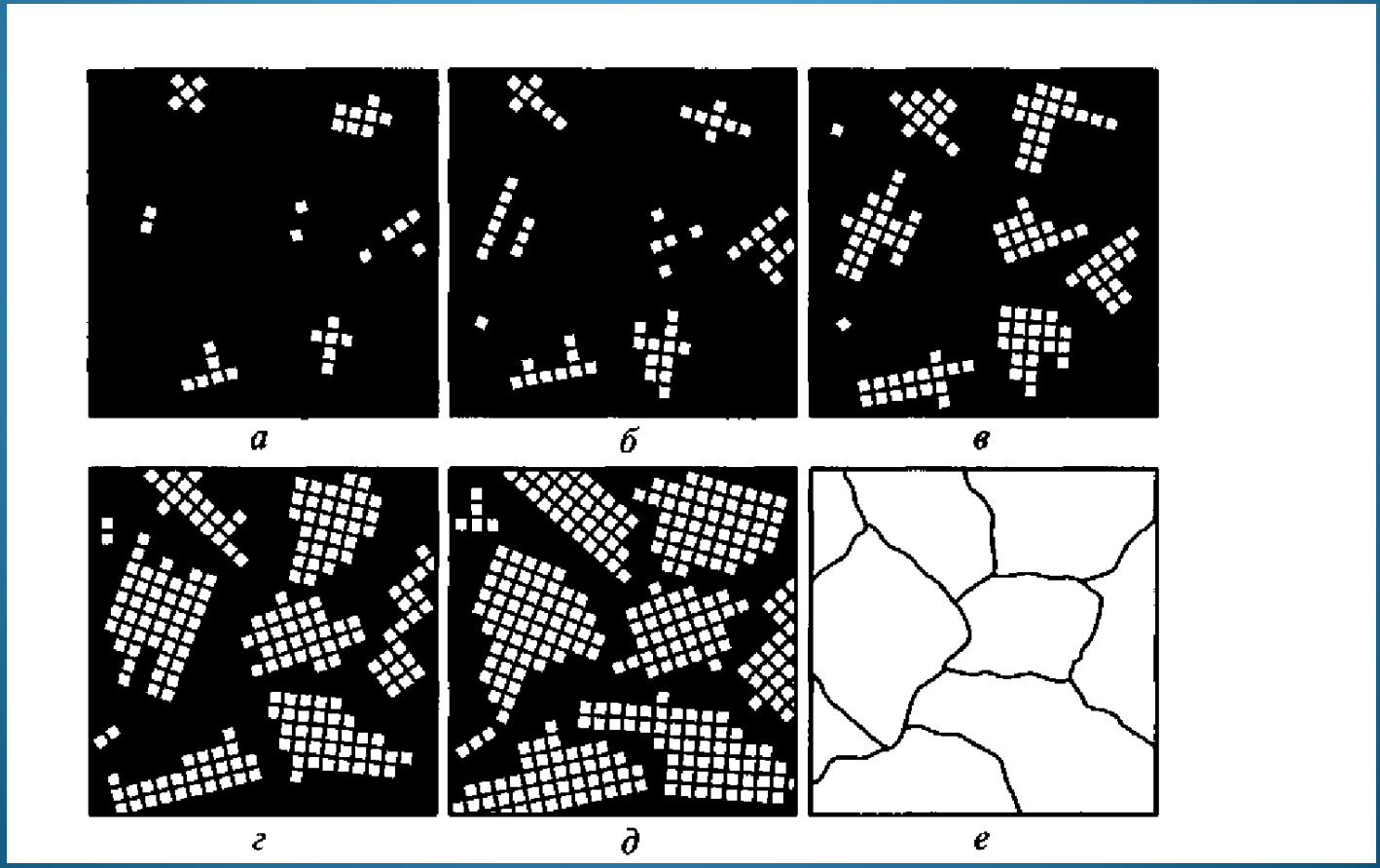
- «Технология машиностроения»

- Введение. Строение и кристаллизация металлов.
- Деформация и механические свой-ства металлов и сплавов.
- Железо и его сплавы.

- Теория и технология термической обработки стали
- Поверхностное упрочнение стальных деталей
- Конструкционные легиро-ванные стали
- Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы

- Инструментальные стали
- Алюминий, магний и их сплавы
- Медь и ее сплавы
- Титан и его сплавы
- Неметаллические материалы
- Композиционные материалы
- Порошковые материалы

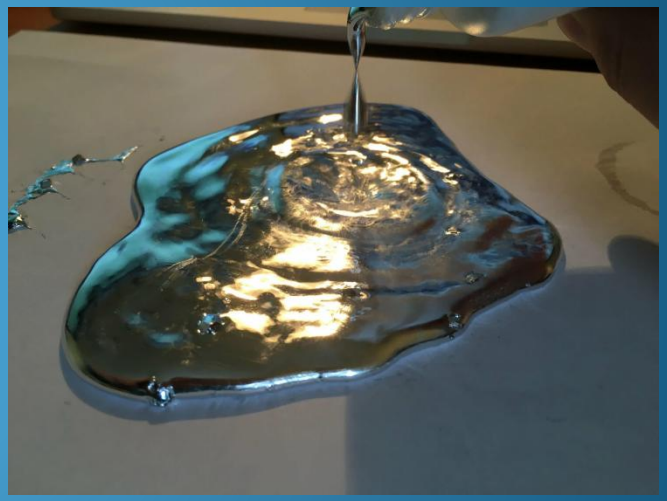
Тема 1: Введение. Строение и кристаллизация металлов



Все тела в твёрдом состоянии имеют кристаллическое или аморфное строение

Кристаллические тела остаются твердыми, т.е. сохраняют приданную им форму до вполне определенной температуры, при которой они переходят в жидкое состояние

нагрев



Твердый

жидкий

Металлы

Аморфные тела при нагреве размягчаются в большом температурном интервале, становятся вязкими, а затем переходят в жидкое состояние

Стекло

нагрев

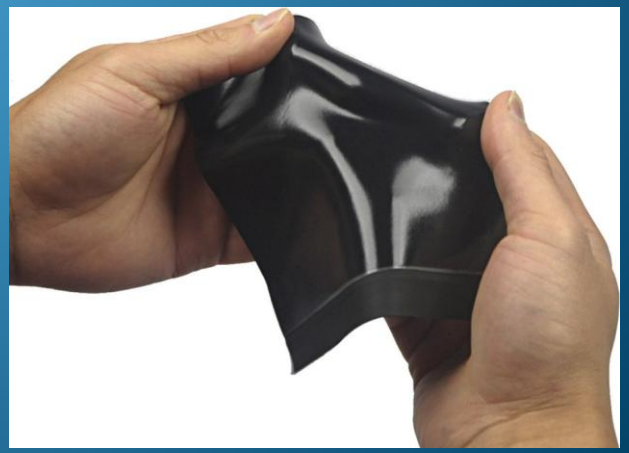
Твердый

вязкий

жидкий

При охлаждении процесс идет в обратном направлении

- Помутнение неорганических стекол при нагреве
- Частичная кристаллизация плавленого янтаря
- при нагреве
- Резина при растяжении

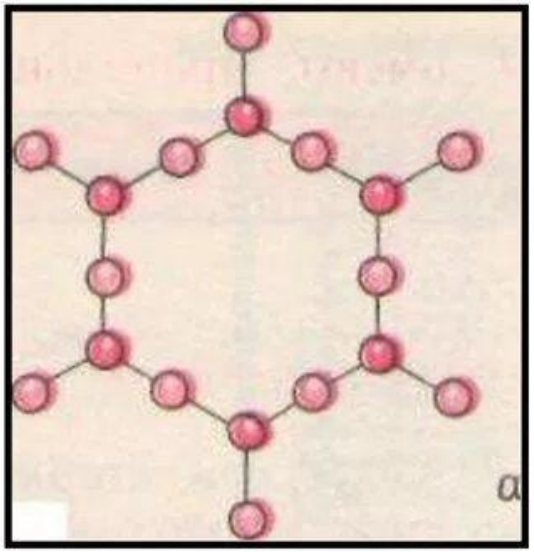


В аморфных телах (стекло, пластмассы) атомы располагаются в пространстве беспорядочно, хаотично

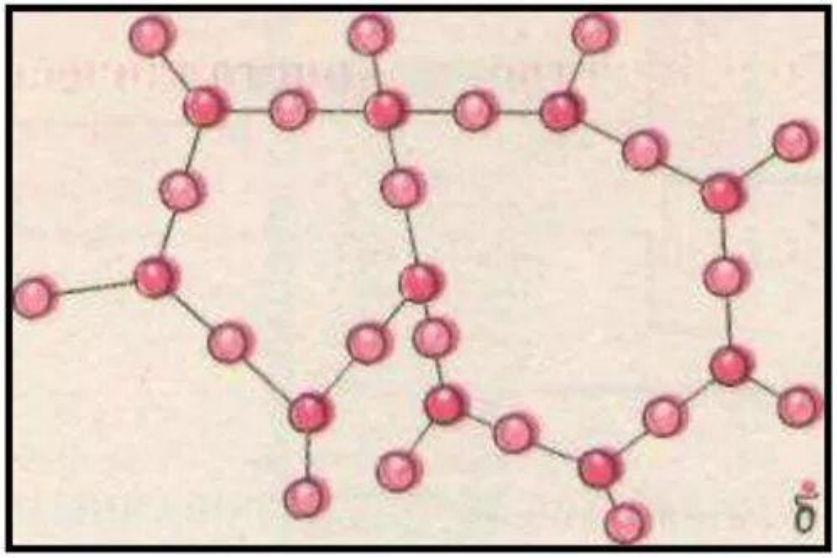
Кристаллические тела характеризуются упорядоченным расположением в пространстве частиц из которых они составлены (ионов, атомов, молекул)

Аморфные тела

Вещества, у которых кристаллическая решётка имеет большие нарушения



кристаллическая структура твёрдого тела



кристаллическая структура аморфного тела

Все металлы и их сплавы - тела кристаллические

Металлами называют химические элементы, характерными признаками которых являются непрозрачность, блеск, хорошая электро- и теплопроводность, пластичность, а для многих металлов также способность свариваться

Чистые химические элементы металлов (например, железо, медь, алюминий и др.) могут образовывать более сложные вещества, в состав которых могут входить несколько элементов-металлов, часто с примесью заметных количеств элементов-неметаллов

Такие вещества называются **металлическими сплавами.** Простые вещества, образующие сплав, называют **компонентами сплава**

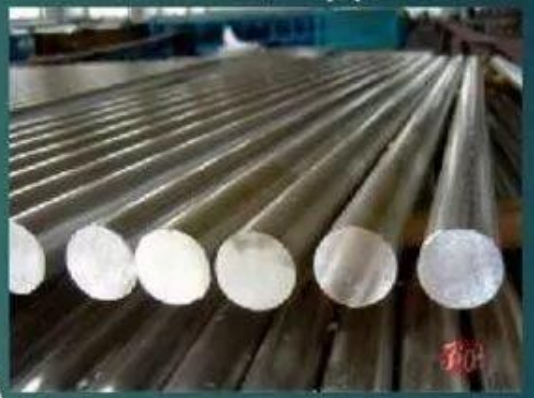
Сплавы металлов

Сталь и чугун

(железо с углеродом)

Дюралюмений

(алюминий с медью и т.д.)



Бронза

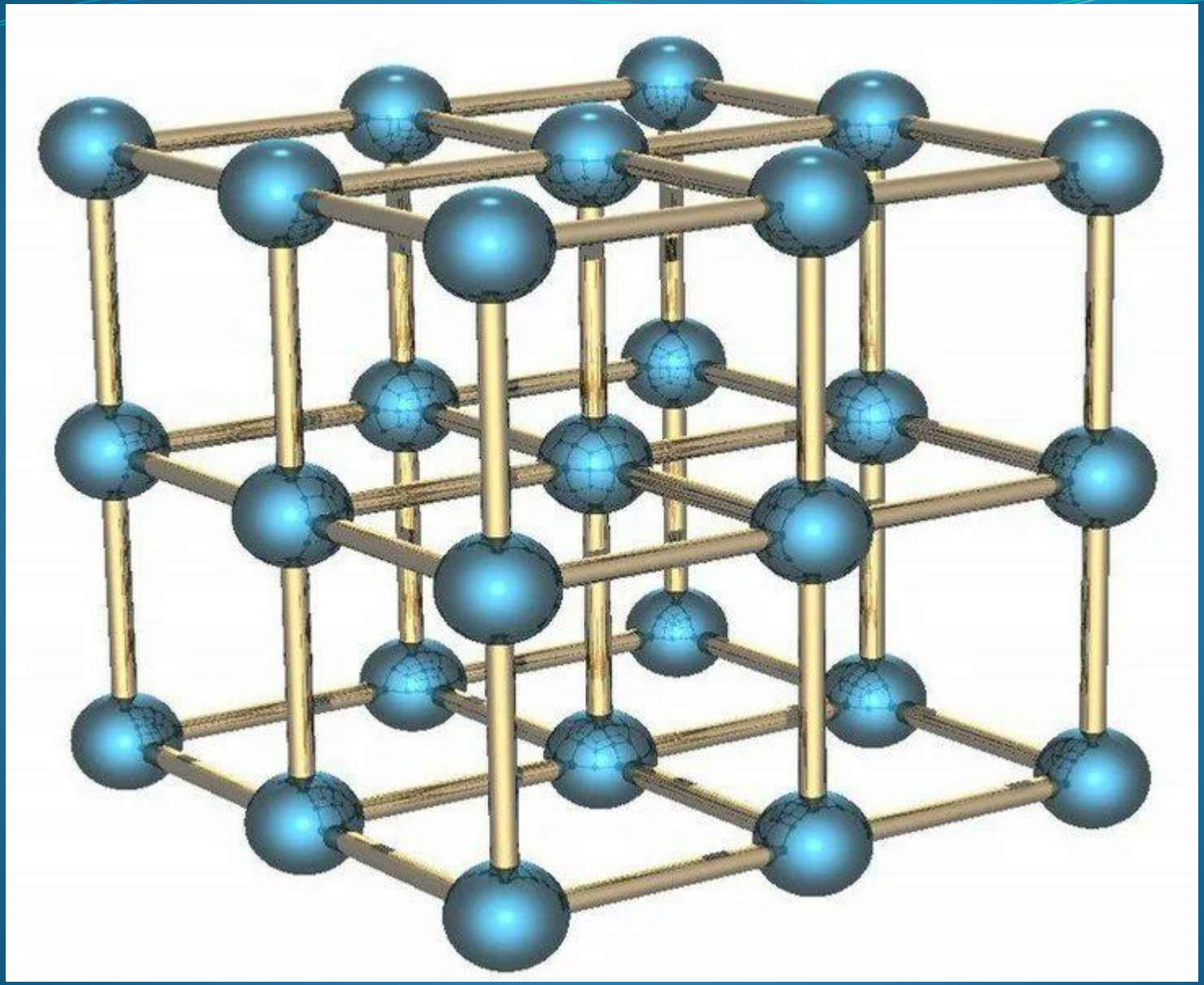
(медь со свинцом, оловом и т.д.)

Латунь

(медь с цинком)

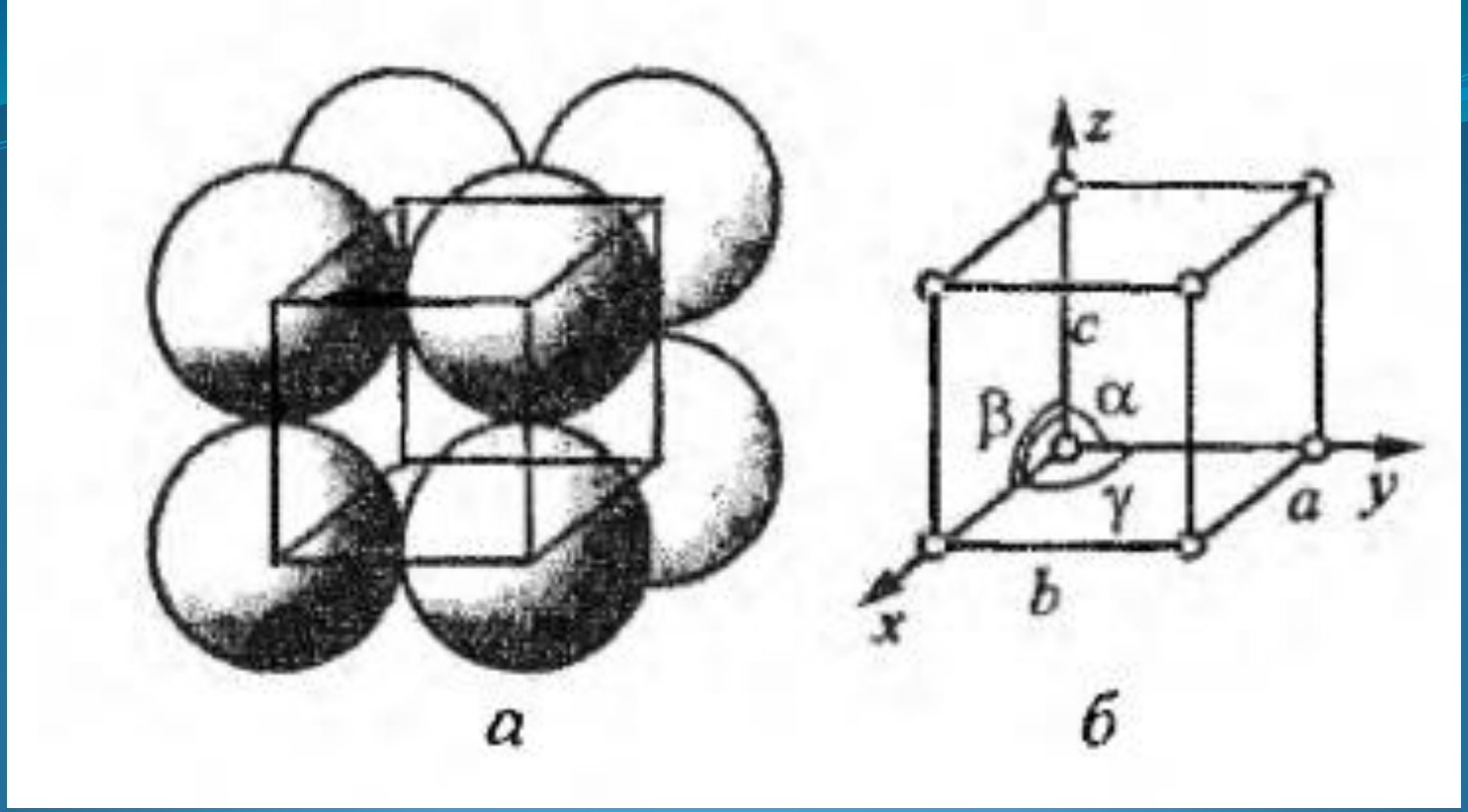
Для описания кристаллической структуры металлов пользуются понятием **кристаллической решетки**

Кристаллическая решетка-это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл. Частицы вещества (ионы, атомы), из которых построен кристалл, расположены в определенном геометрическом порядке, который периодически повторяется в пространстве

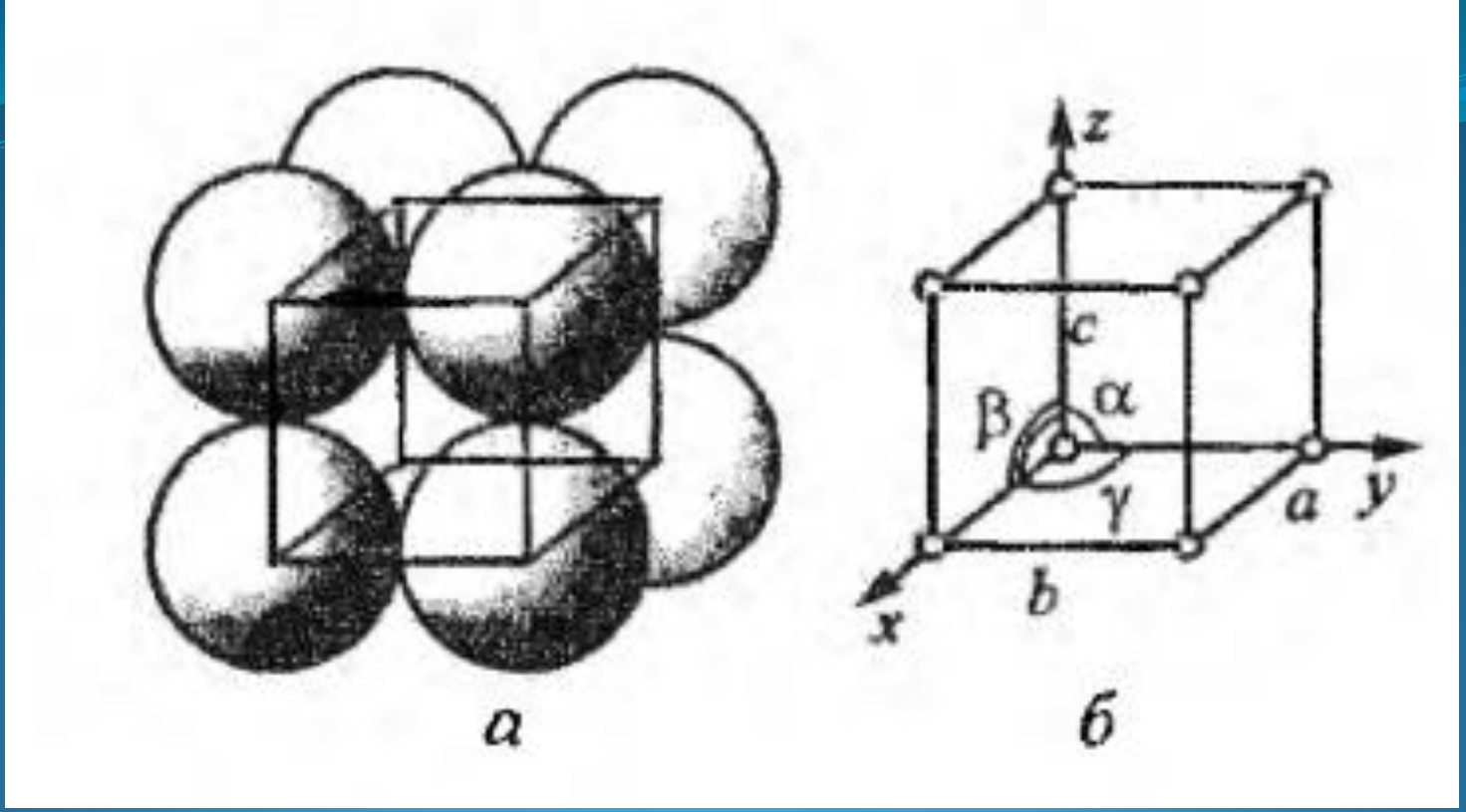


Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл

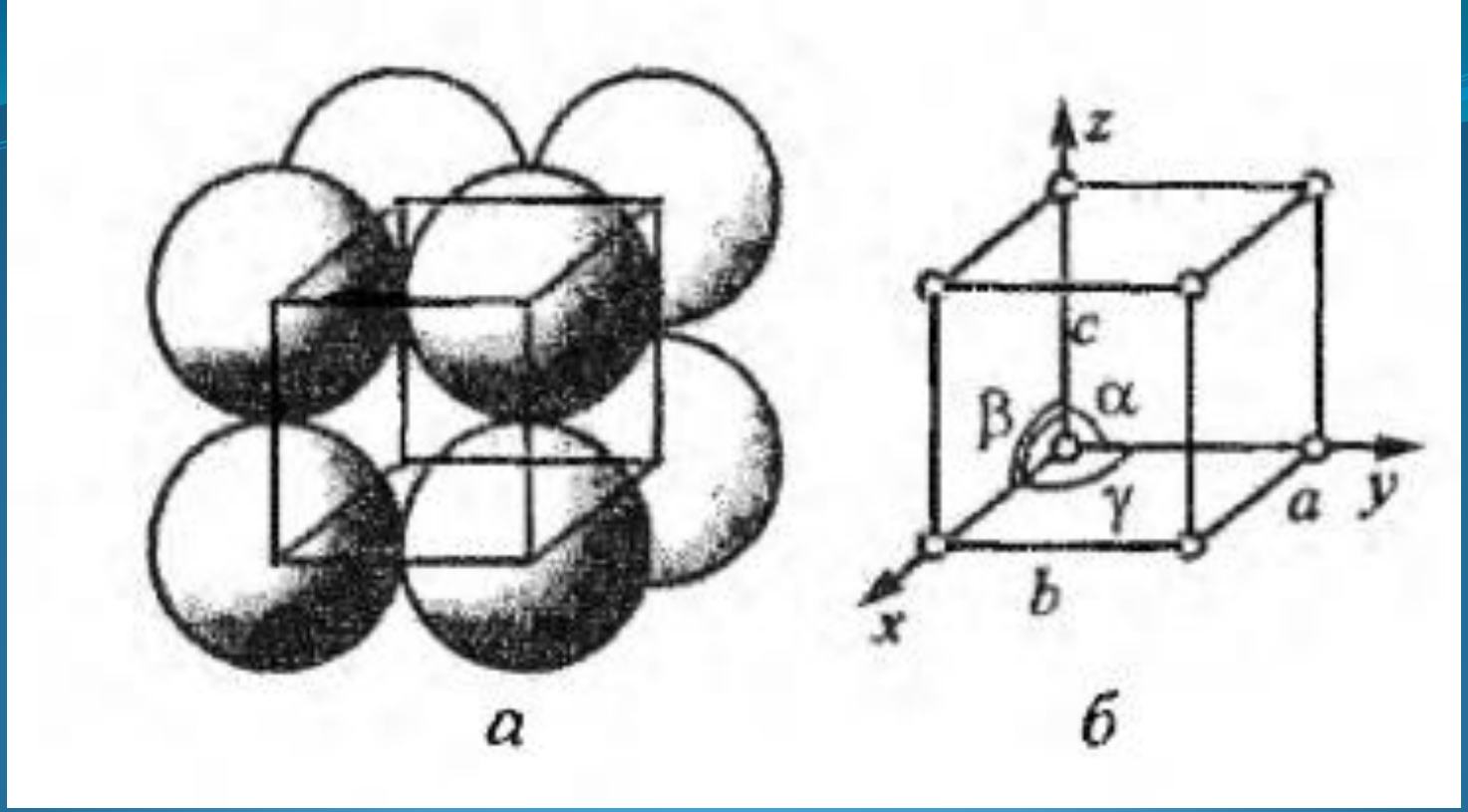
Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:



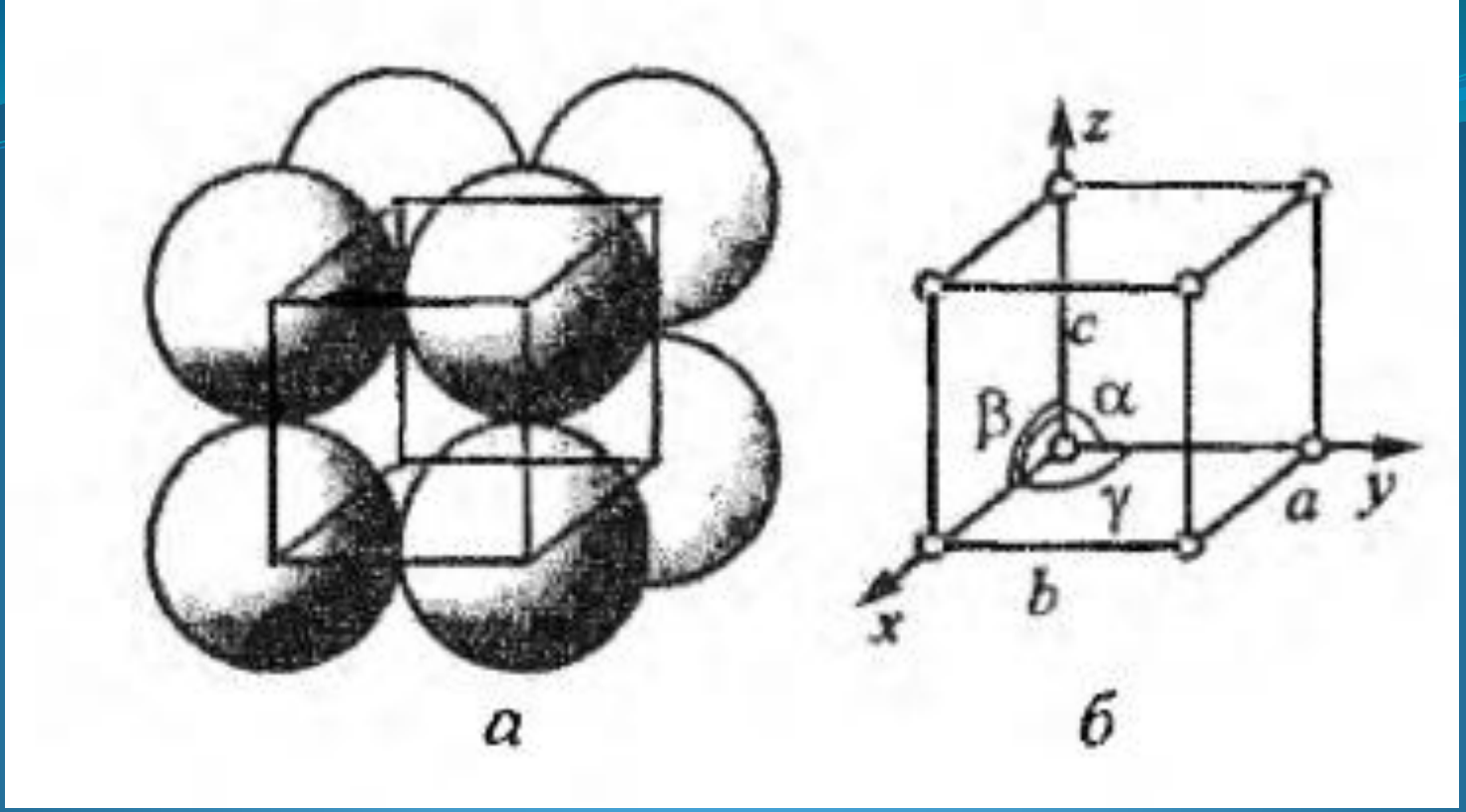
Расположение частиц в кристалле: а – пространственное изображение; б – схема



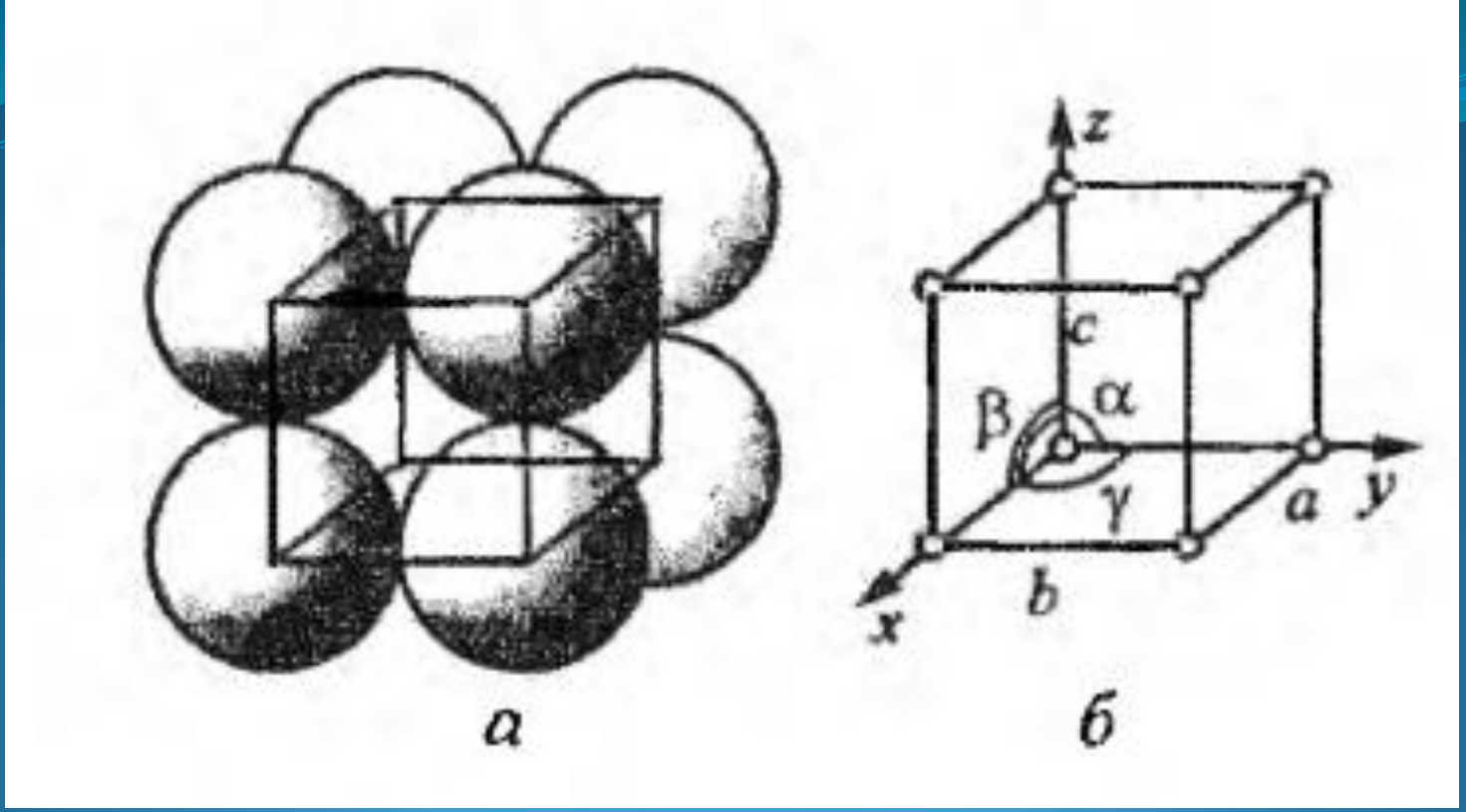
- Размеры ребер элементарной ячейки. a, b, c – периоды решетки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными



- координационное число (К) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке

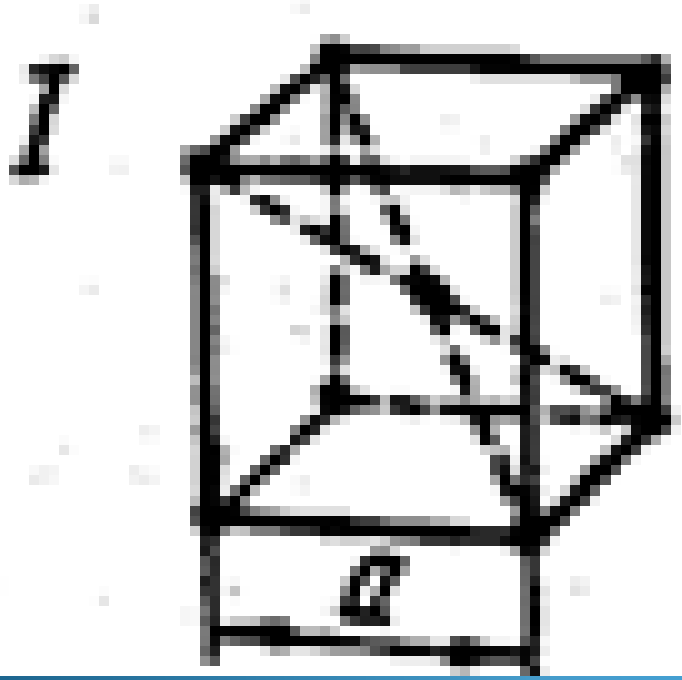


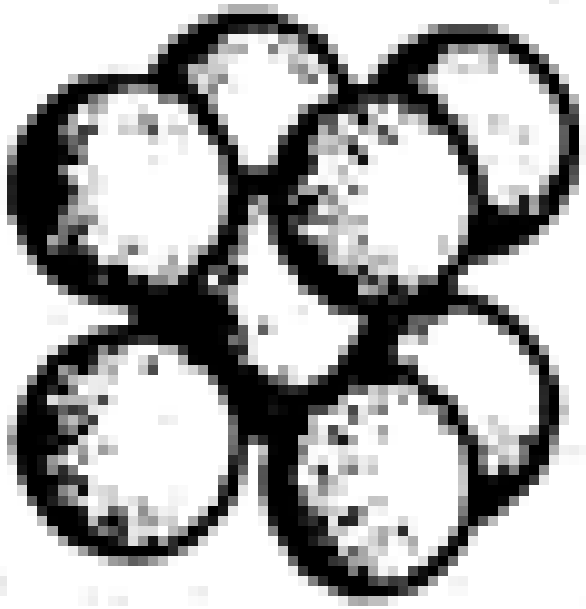
- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки



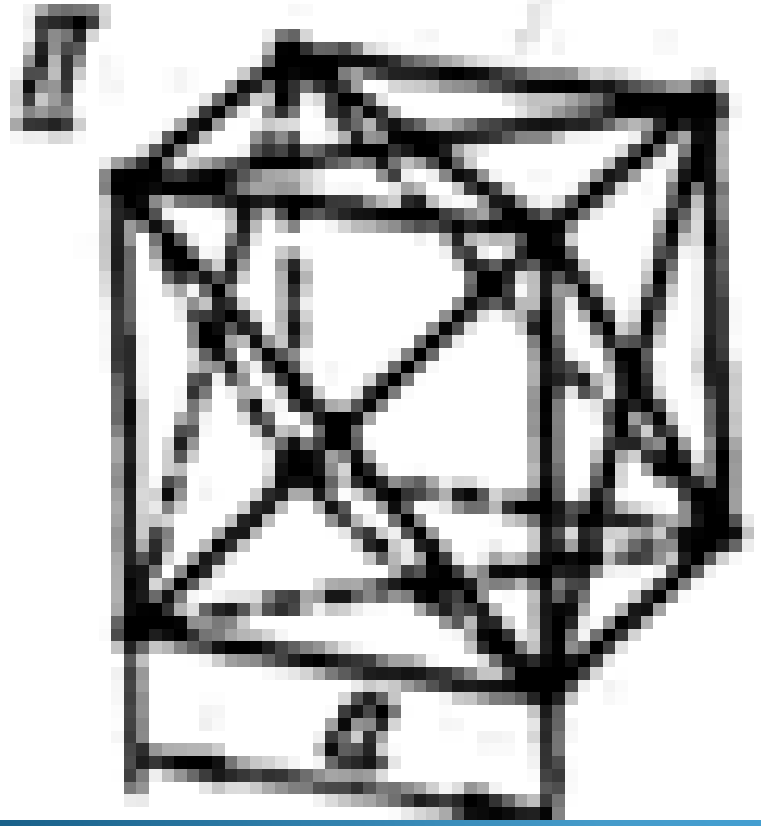
- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74)

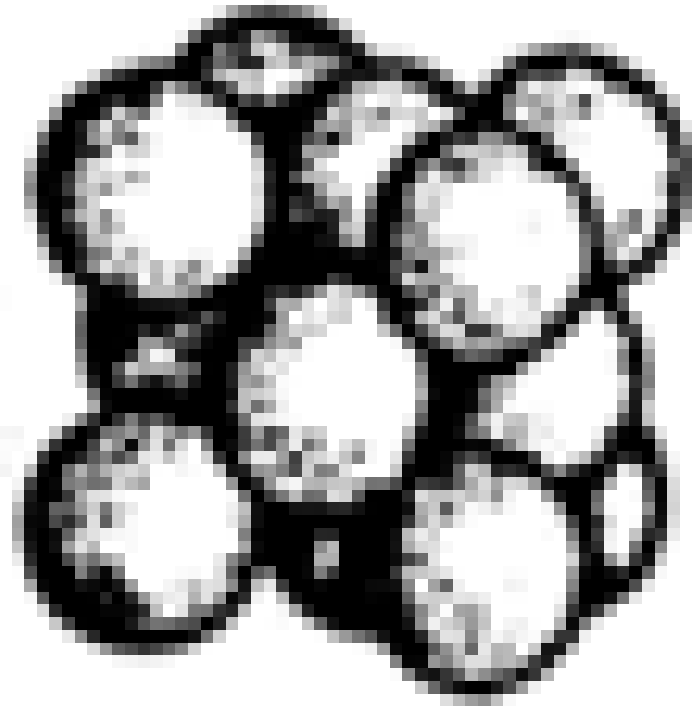
Основными типами кристаллических решеток являются:



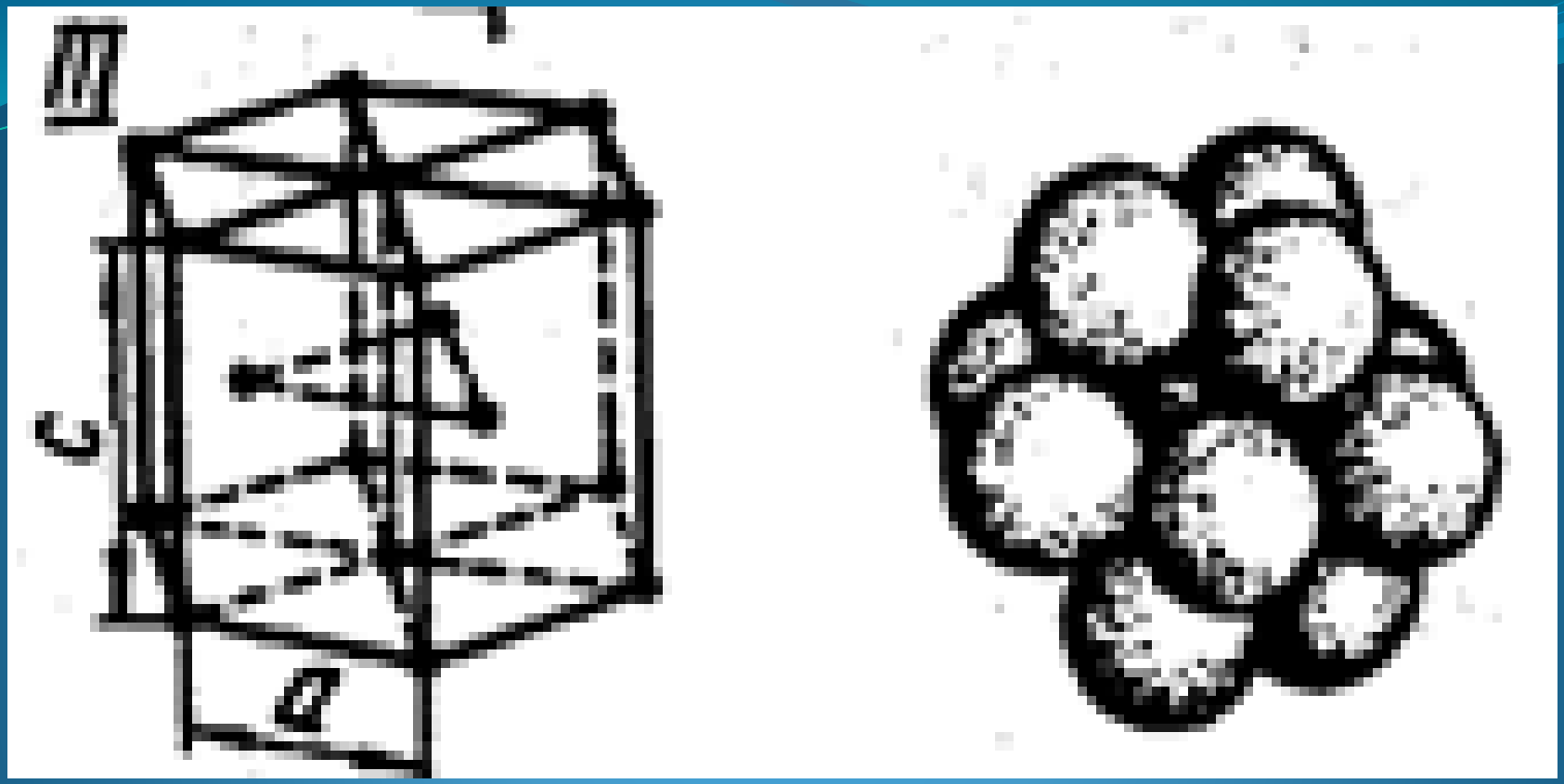


1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Feα)



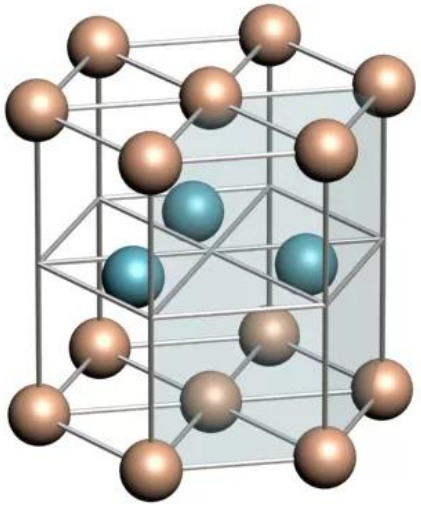


2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из шести граней (Ag, Au, Feγ)



3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:

- простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру двух оснований (углерод в виде графита);



- плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк)

Неодинаковость физических свойств среды в разных направлениях называют анизотропией. Анизотропия кристаллов обусловлена различием плотности упаковки атомов в решетке в различных направлениях

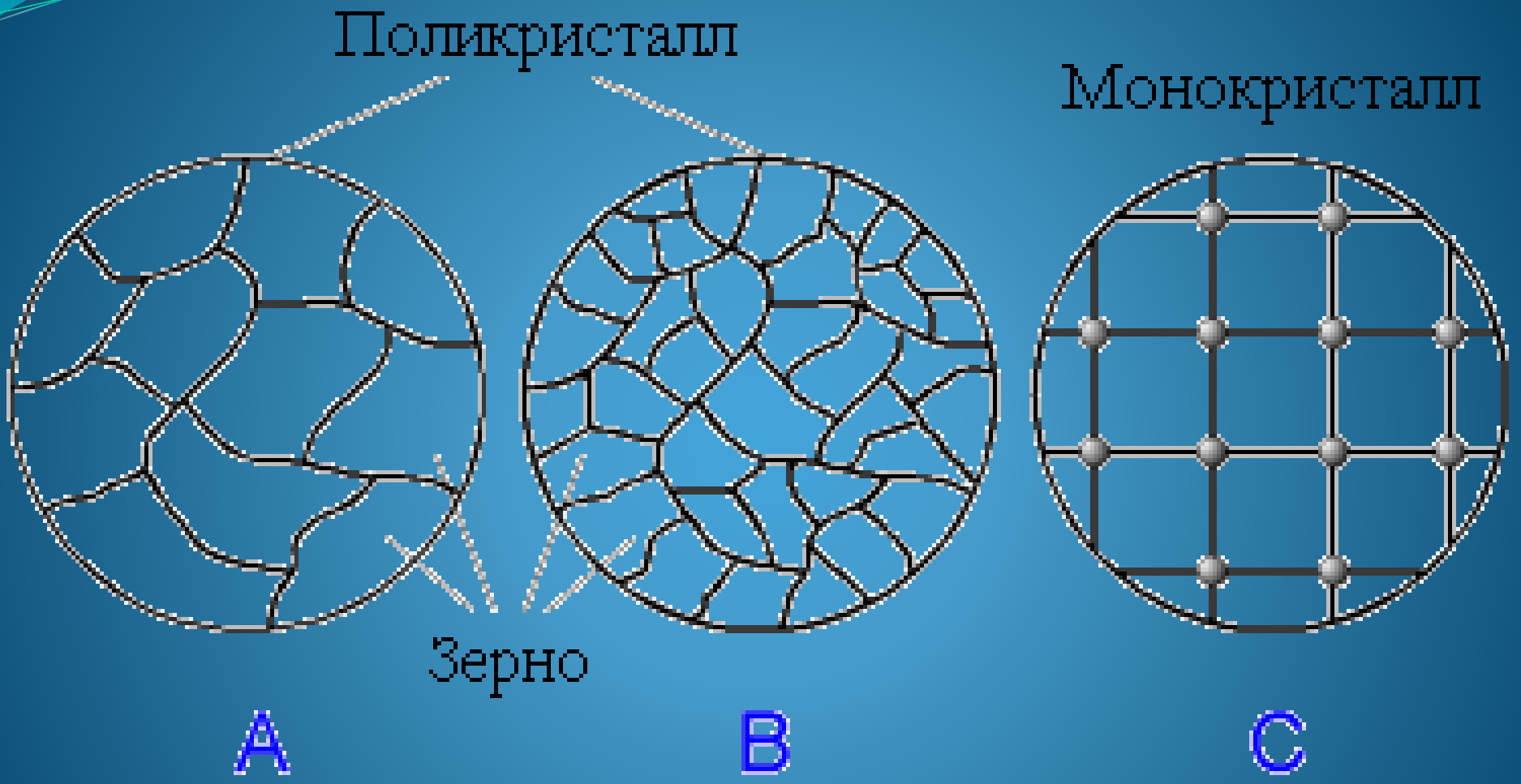
Анизотропия кристаллов

- ***зависимость физических свойств от направления внутри кристалла*** – следствие упорядоченного строения кристалла

Различная механическая прочность кристаллов по разным направлениям

Кусок слюды легко расслаивается водном из направлений на тонкие пластинки, но разорвать его в направлении перпендикулярном пластинкам гораздо труднее.

Металлы и сплавы, применяемые в технике, обычно имеют поликристаллическую структуру, т. е. состоят из множества мелких и различно ориентированных кристаллов, не имеющих правильной кристаллической огранки и называемых кристаллитами (или зернами)

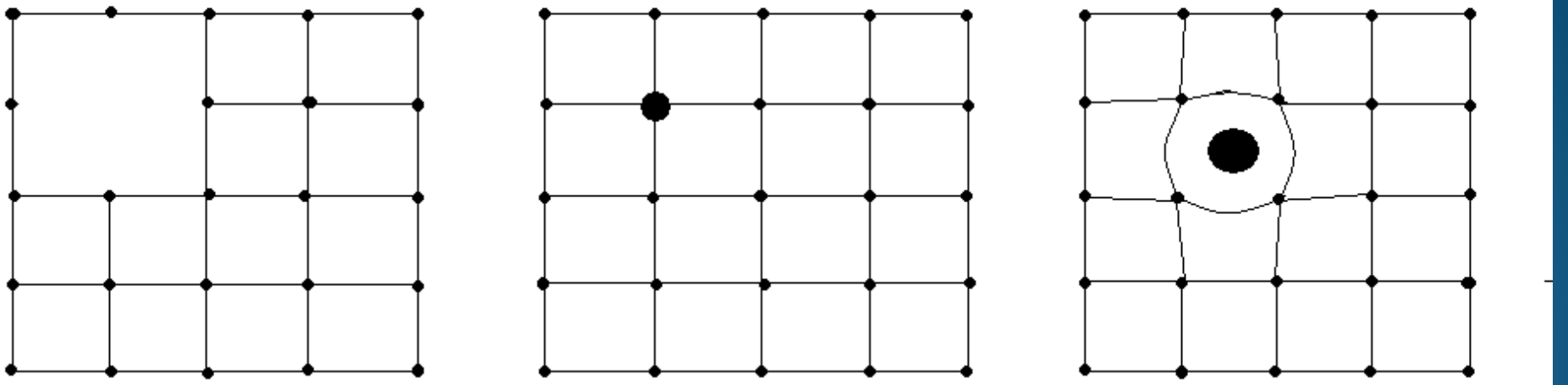

Поликристалл
Монокристалл
Зерно
A
B
C

Однако вследствие разнообразной, беспорядочной ориентировки кристаллографических плоскостей в различных зернах поликристалл может иметь одинаковые свойства по разным направлениям и не обнаруживать анизотропию (когда размеры зерен значительно меньше размеров поликристалла и количество их весьма велико)

В реальных условиях не всегда кристаллическая решетка имеет правильное строение

Дефекты подразделяются на следующие типы:

- Точечные или вакансии, представляющие собой свободные места в узлах кристаллической решетки, а также дислоцированные и примеси других атомов

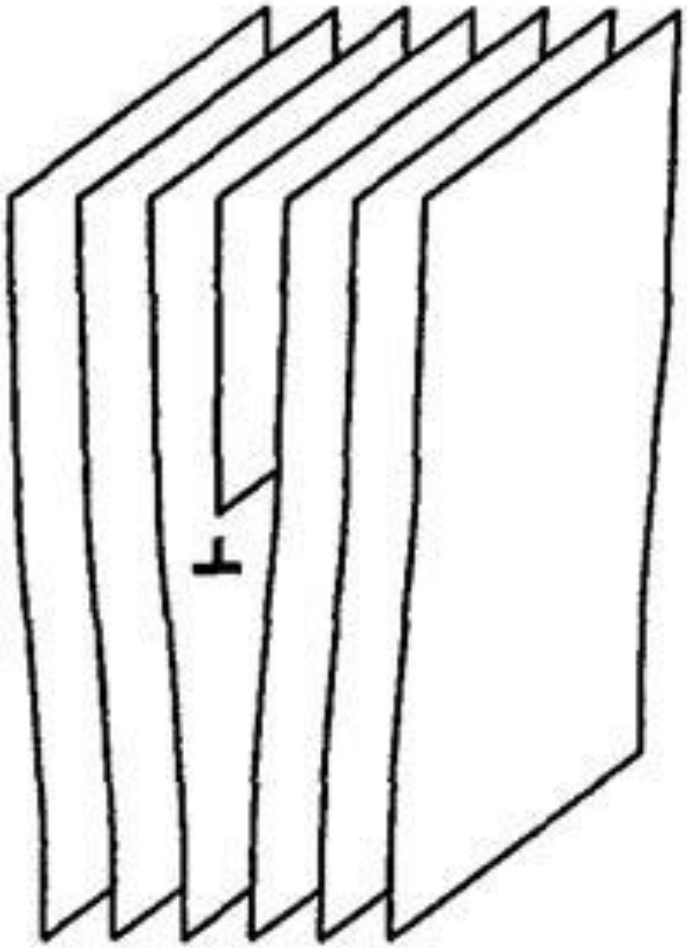


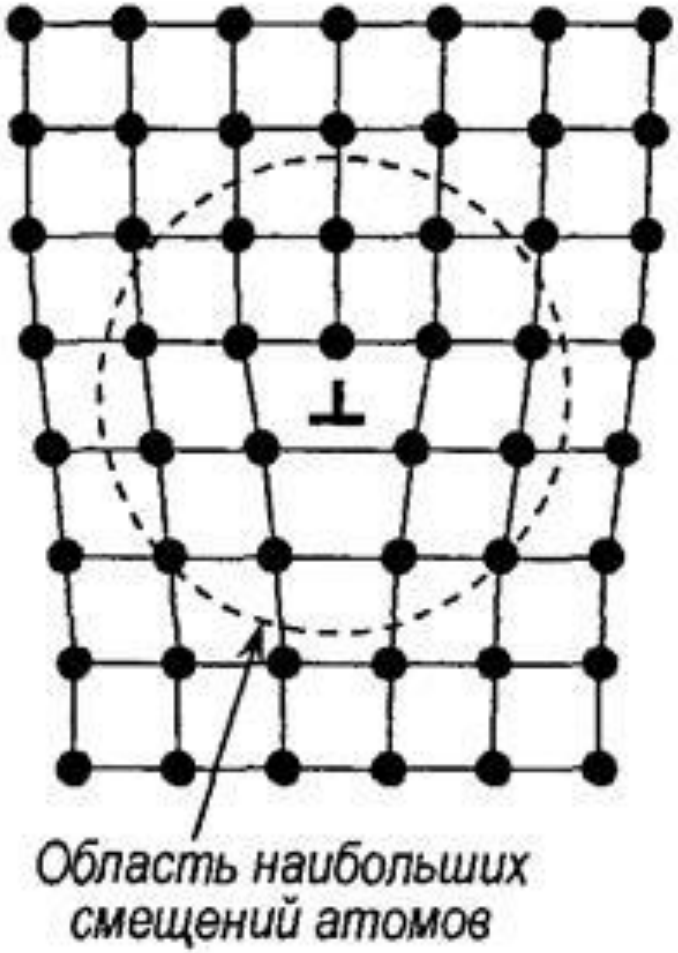
а) вакансия (атом отсутствует);

б) примесный атом;

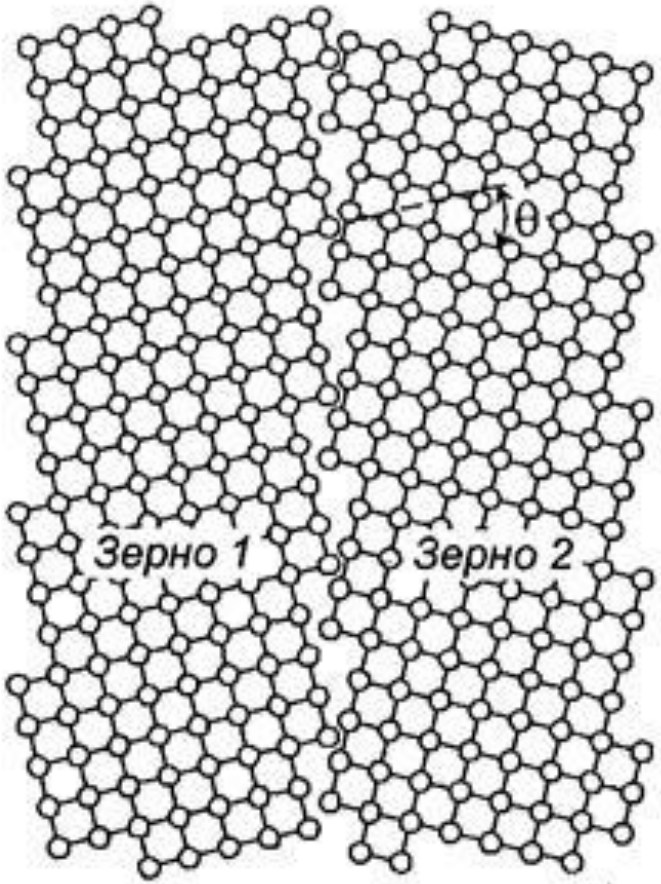
в) дислоцированный атом – линейный атом

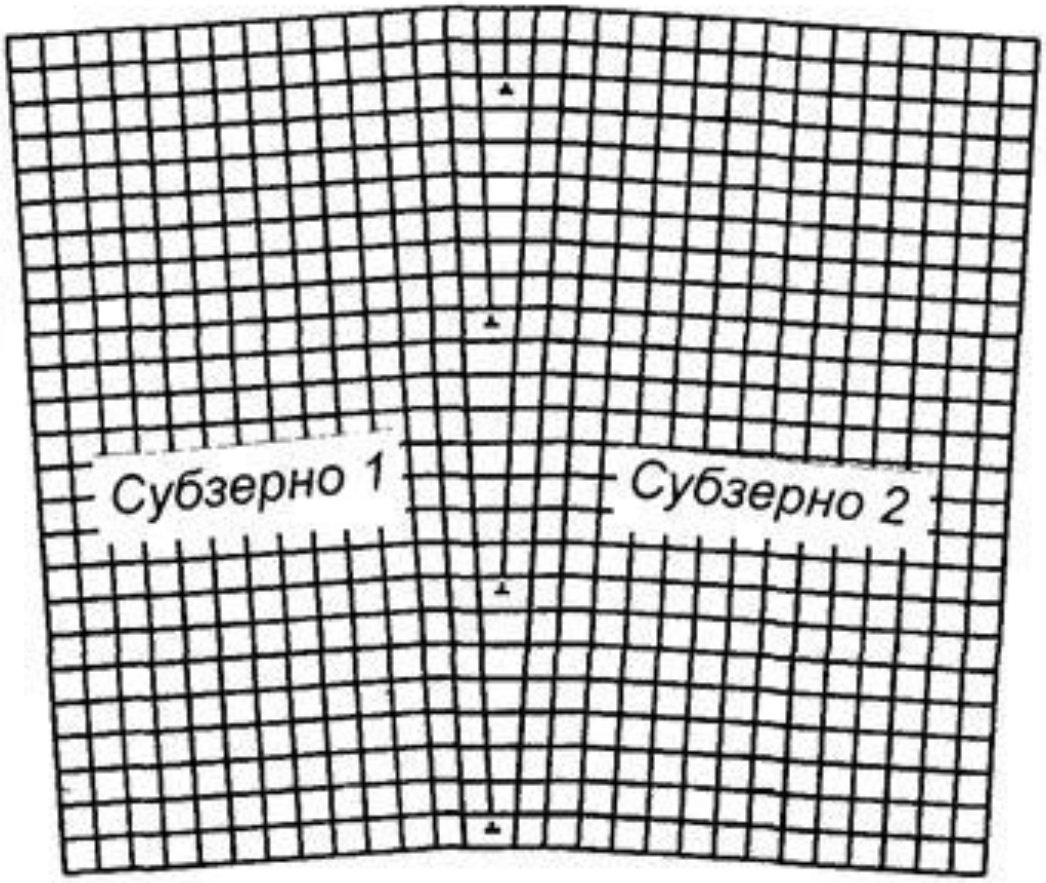
- линейные или дислокации, представляющие собой нарушения кристаллического строения, выражающиеся в смещении отдельных участков кристалла. Дислокации возникают в процессе кристаллизации, пластической деформации и т.д.




Область наибольших
смещений атомов

- поверхностные дефекты. Они чаще всего проявляются на границах зерен, где кристаллическая решетка бывает недостроенной





а – большеугловая граница (q – угол разориентировки); б – малоугловая граница

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Переход из жидкого состояния в твердое (кристаллическое) называют кристаллизацией

Смотреть видео кристаллизация

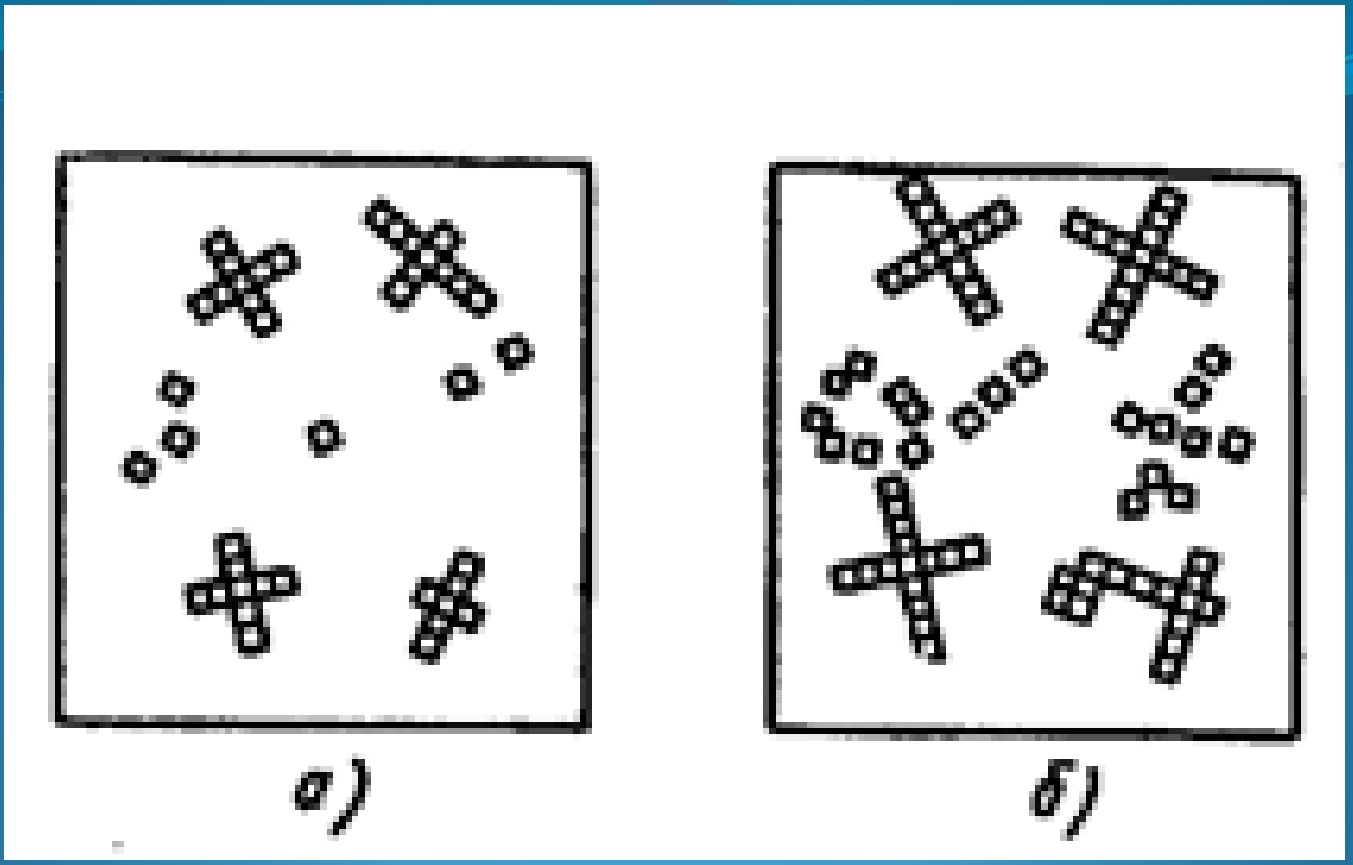
Процессы кристаллизации зависят от температуры и протекают во времени

Идеальный, процесс кристаллизации металла без переохлаждения протекает при температуре *Ts*. При достижении которой падение температуры прекращается до полной кристаллизации. Это объясняется тем, что перегруппировка атомов при формировании кристаллической решетки идет с выделением тепла

Каждый чистый металл кристаллизуется при индивидуальной постоянной температуре. По окончании затвердевания металла температура его снова понижается

Практически кристаллизация протекает при более низкой температуре. Чем чище жидкий металл, тем он более склонен к переохлаждению. При увеличении скорости охлаждения степень переохлаждения возрастает, а зерна металла становятся мельче, что улучшает его качество

Процесс кристаллизации состоит из двух стадий: зарождения кристаллов (зародышей или центров кристаллизации) и роста кристаллов из этих центров



При переохлаждении сплава ниже *Tn* на многих участках жидкого металла образуются способные к росту кристаллические зародыши

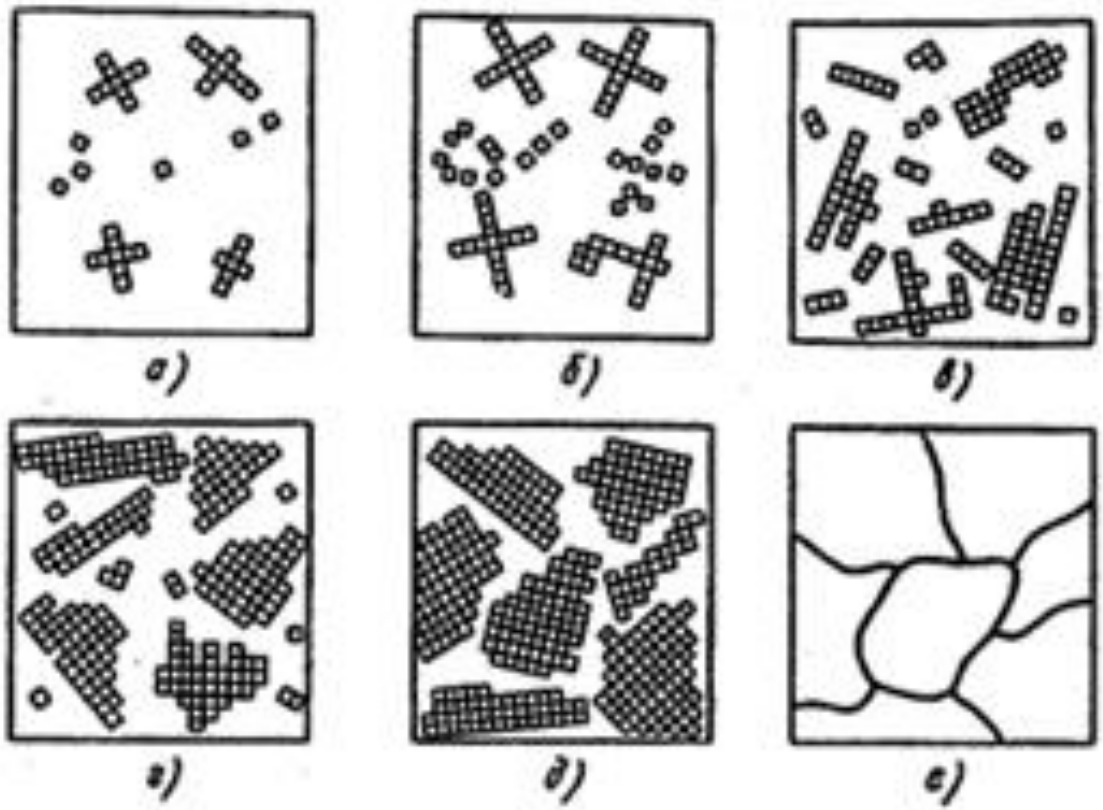


Рис. 4.

Сначала образовавшиеся кристаллы растут свободно и имеют более или менее правильную геометрическую форму

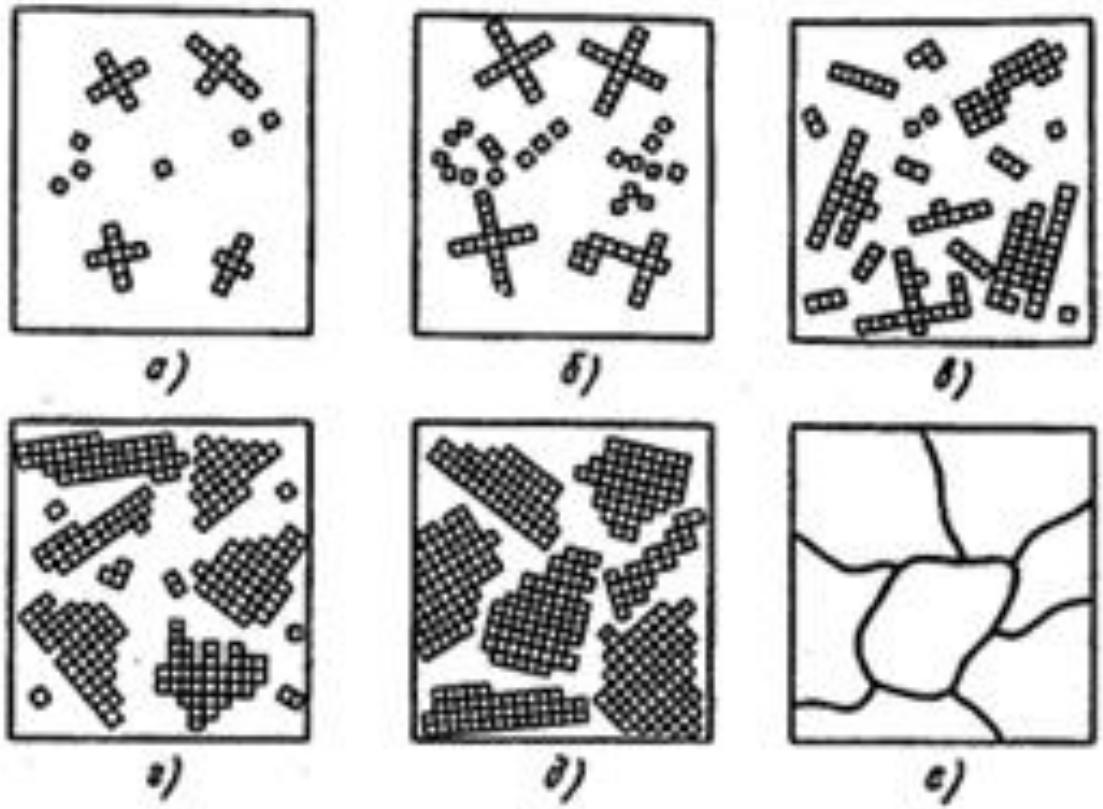


Рис. 4.

Затем при соприкосновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается, так как в этих участках рост граней прекращается.

Рост кристалла продолжается только в тех направлениях, где есть свободный доступ жидкого металла

Величина зерен зависит от числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов. Чем больше центров кристаллизации, тем мельче зерно металла

Величина зерен, образующихся при кристаллизации, зависит не только от количества самопроизвольно зарождающихся центров кристаллизации, но также и от количества нерастворимых примесей, всегда имеющихся в жидком металле

Такие нерастворимые примеси являются готовыми центрами кристаллизации. Ими являются оксиды (например, Al_2O_3), нитриды, сульфиды и другие соединения

Обычно механизм образования кристаллов носит дендритный (древовидный) характер

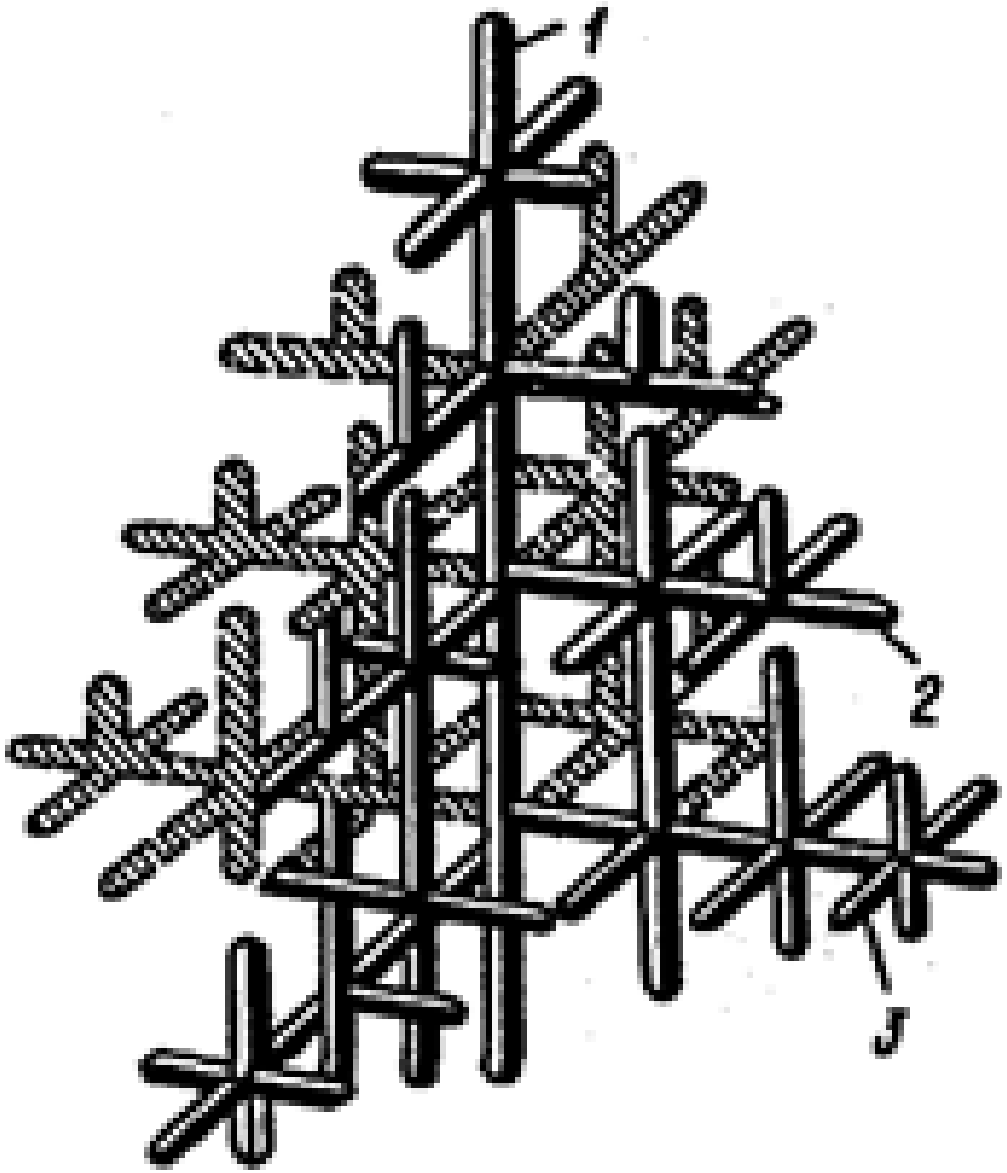


Рис.5.

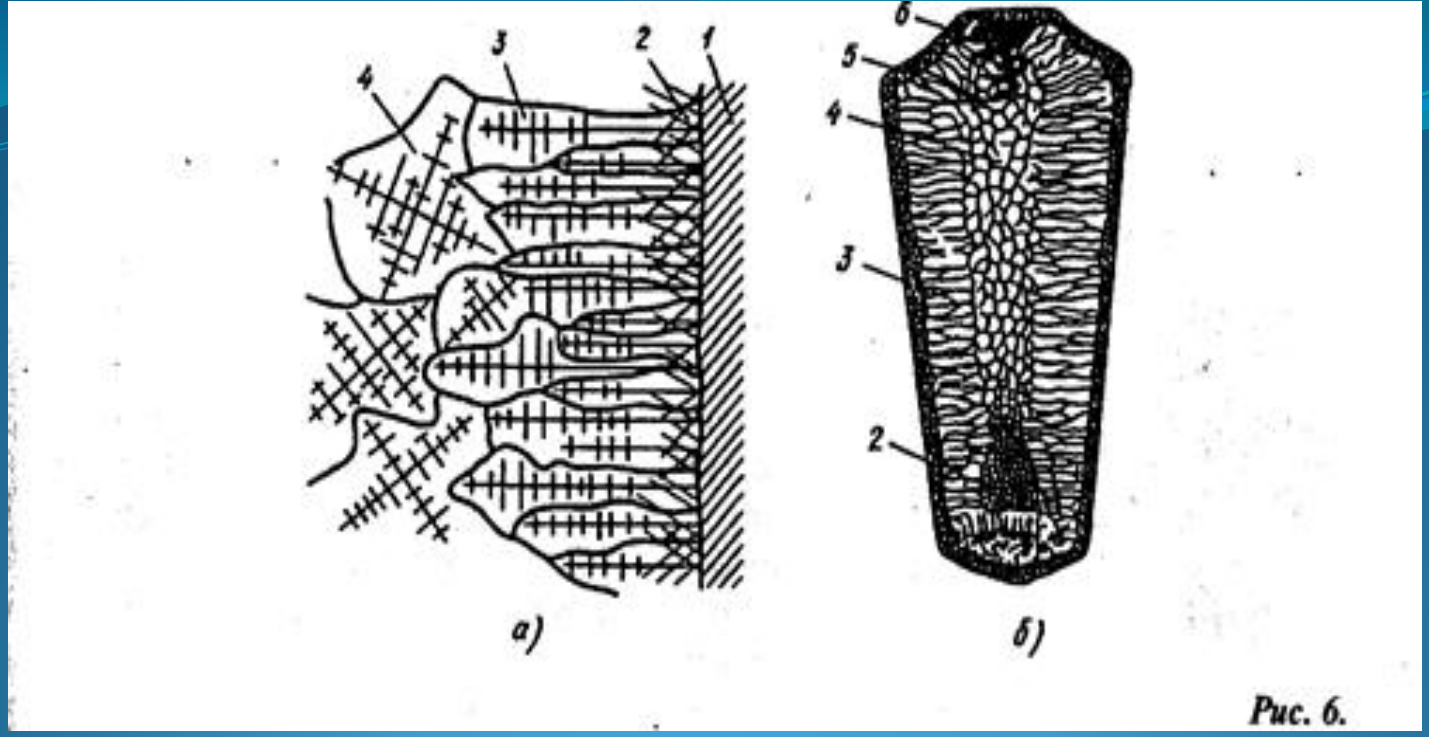


Рис. 6.

Схема строения стального слитка:

а - расположение дендритов в наружных частях слитка, б - строение слитка; 1 - стенки изложницы, 2 - мелкие равноосные кристаллы, 3 - древовидные кристаллы, 4 - равноосные неориентированные кристаллы больших размеров, 5 - усадочная рыхлость, 6 - усадочная раковина

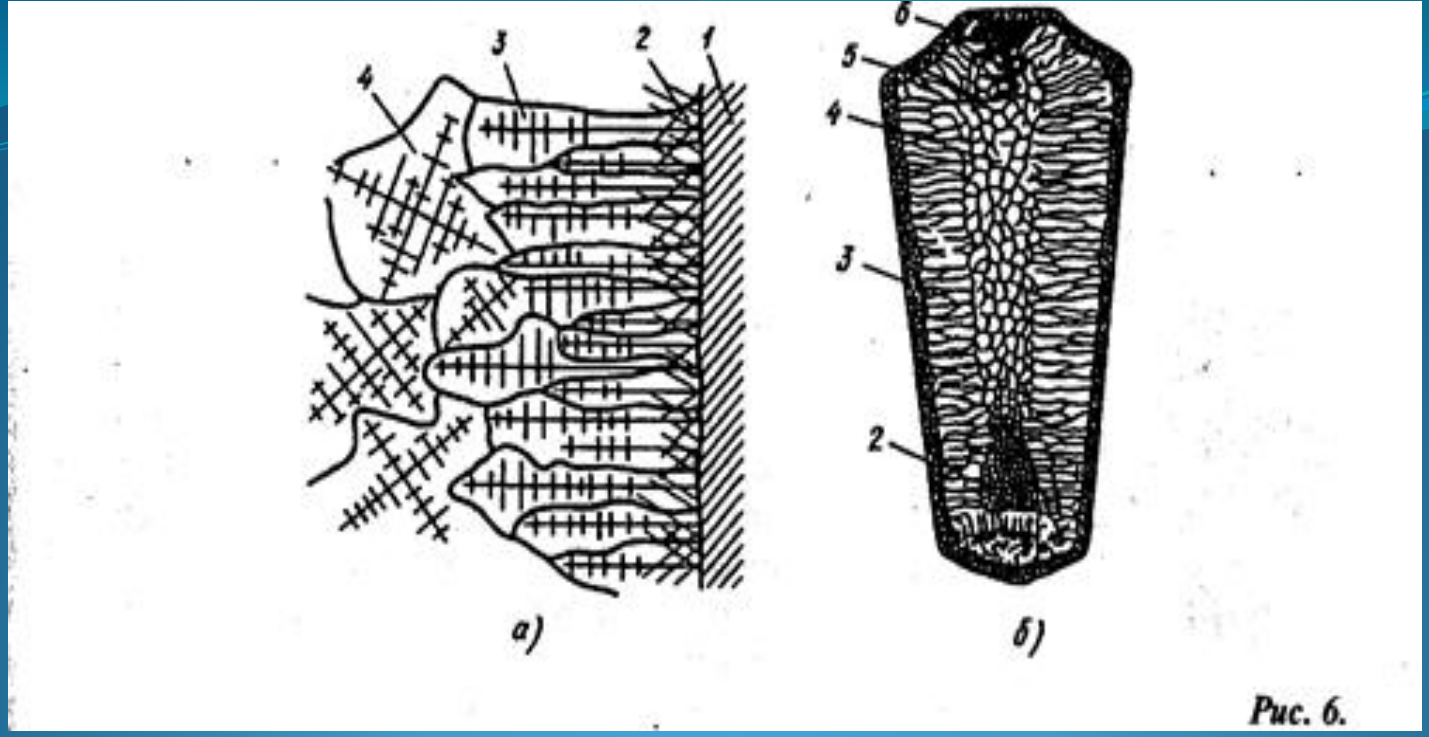


Рис. 6.

При соприкосновении жидкого металла со стенками изложницы *1* в начальный момент образуется зона мелких равноосных кристаллов 2

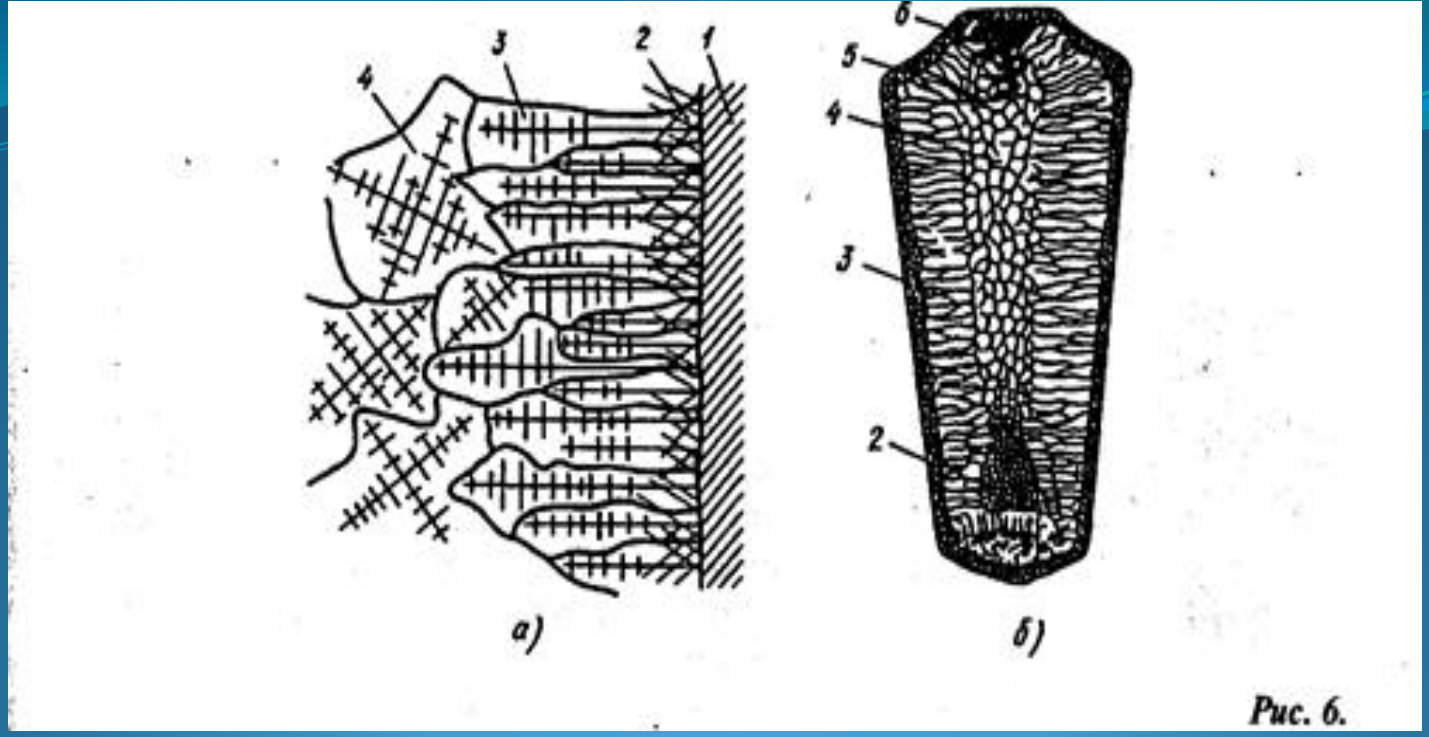


Рис. 6.

Скорость охлаждения металла снижается, и кристаллы растут в направлении отвода теплоты. При этом образуется зона 3

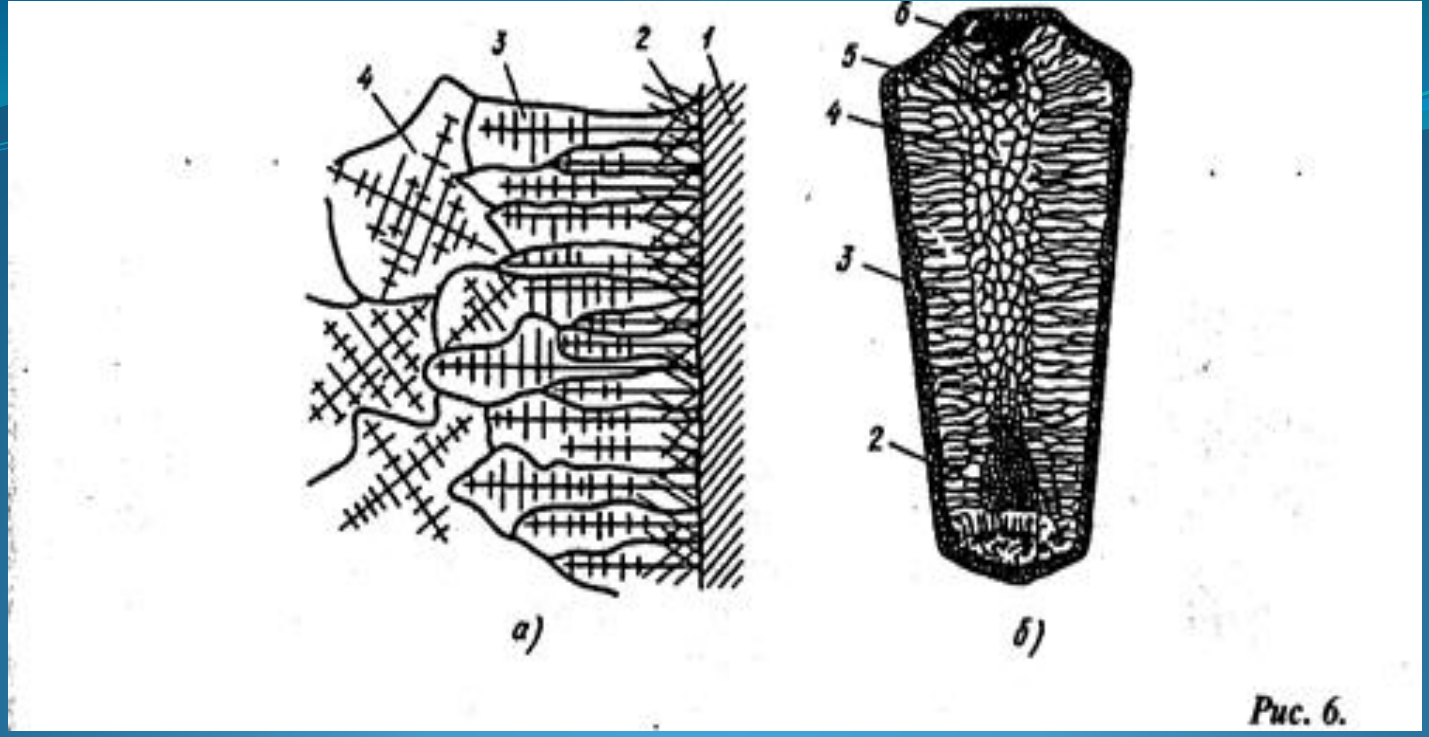


Рис. 6.

Во внутренней зоне слитка *4* образуются равноосные, неориентированные кристаллы больших размеров в результате замедленного охлаждения

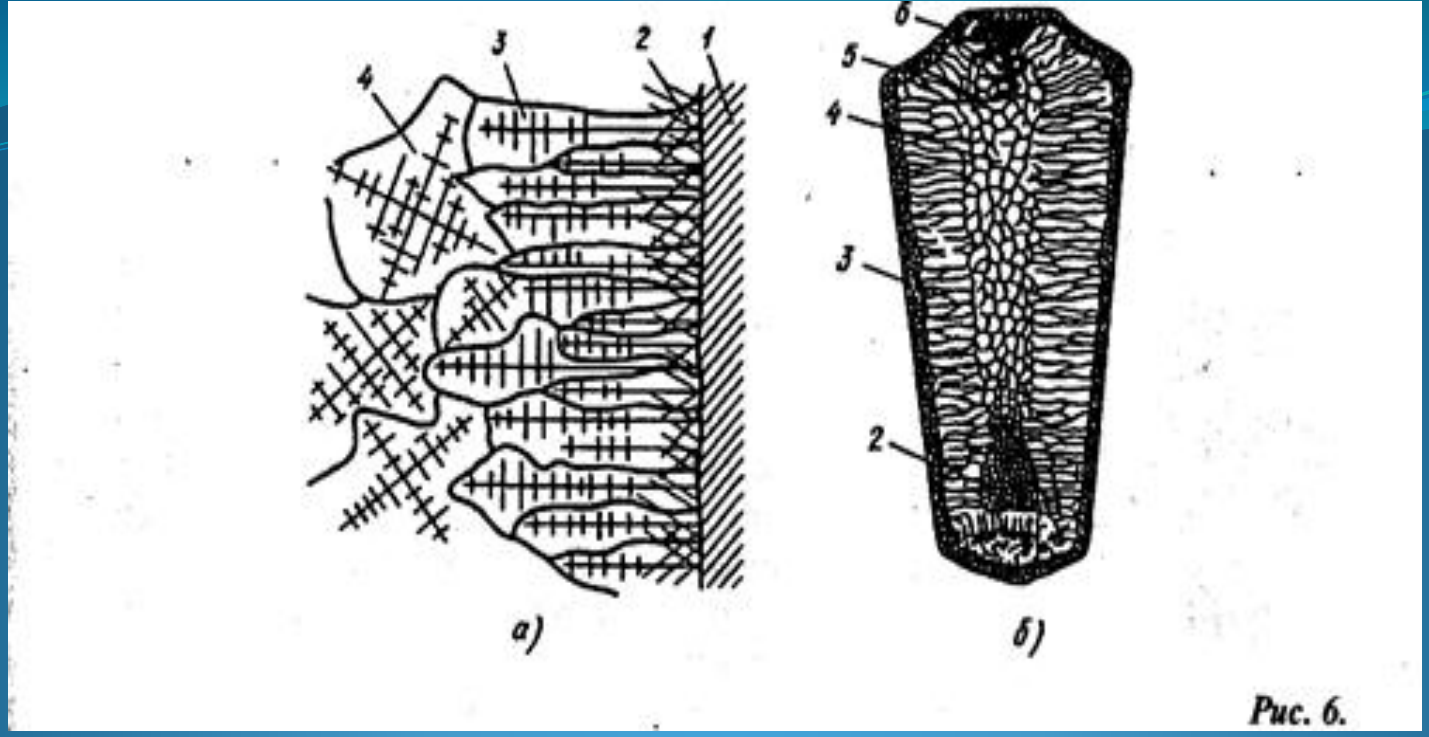


Рис. 6.

В верхней части слитка, которая затвердевает в последнюю очередь, образуется усадочная раковина 6 вследствие уменьшения объема металла при охлаждении

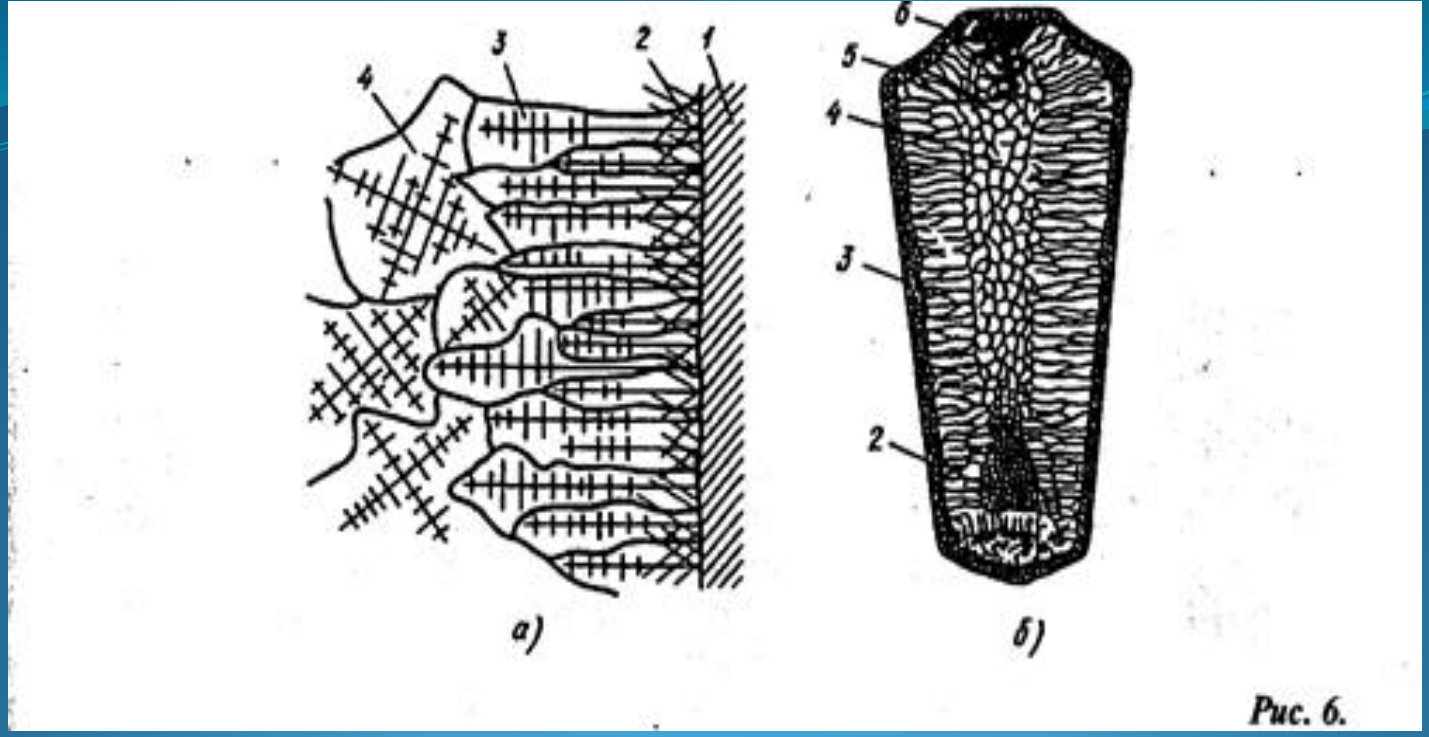


Рис. 6.

Под усадочной раковиной металл в зоне 5 получается рыхлым из-за большого количества усадочных пор

Слиток имеет неоднородный химический состав, который тем больше, чем крупнее слиток

Спасибо за внимание!

Тема 3: Железо и его сплавы

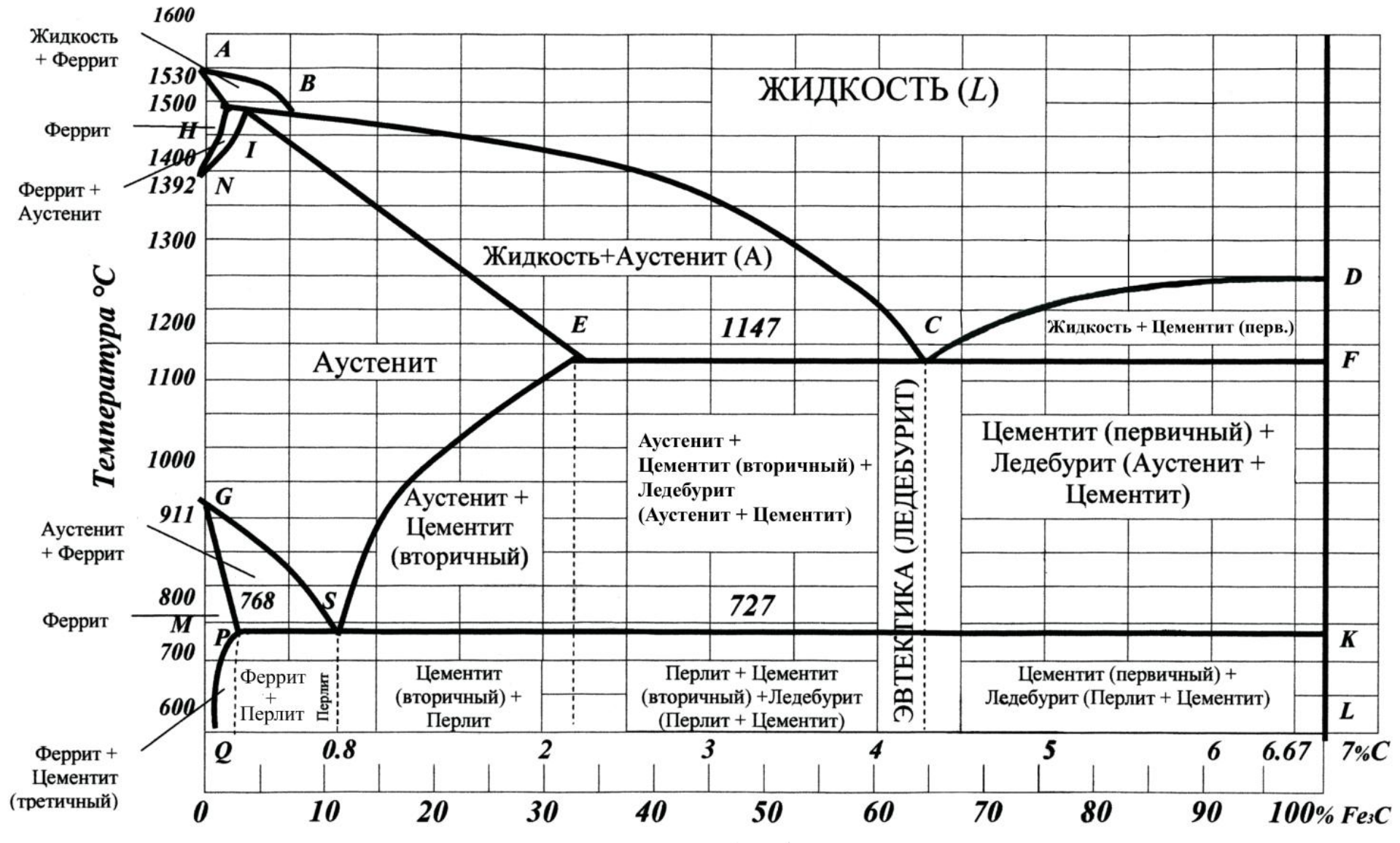
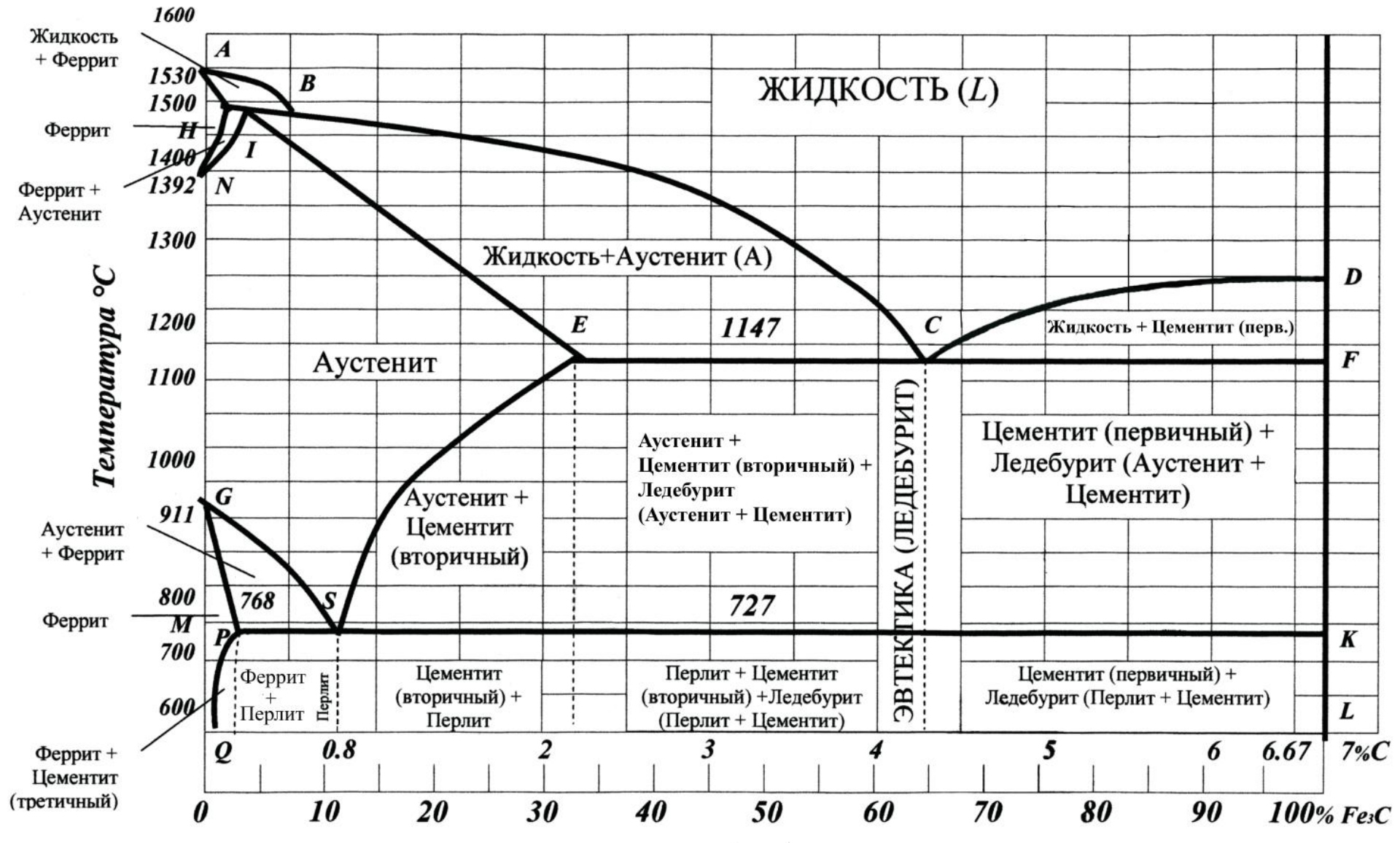
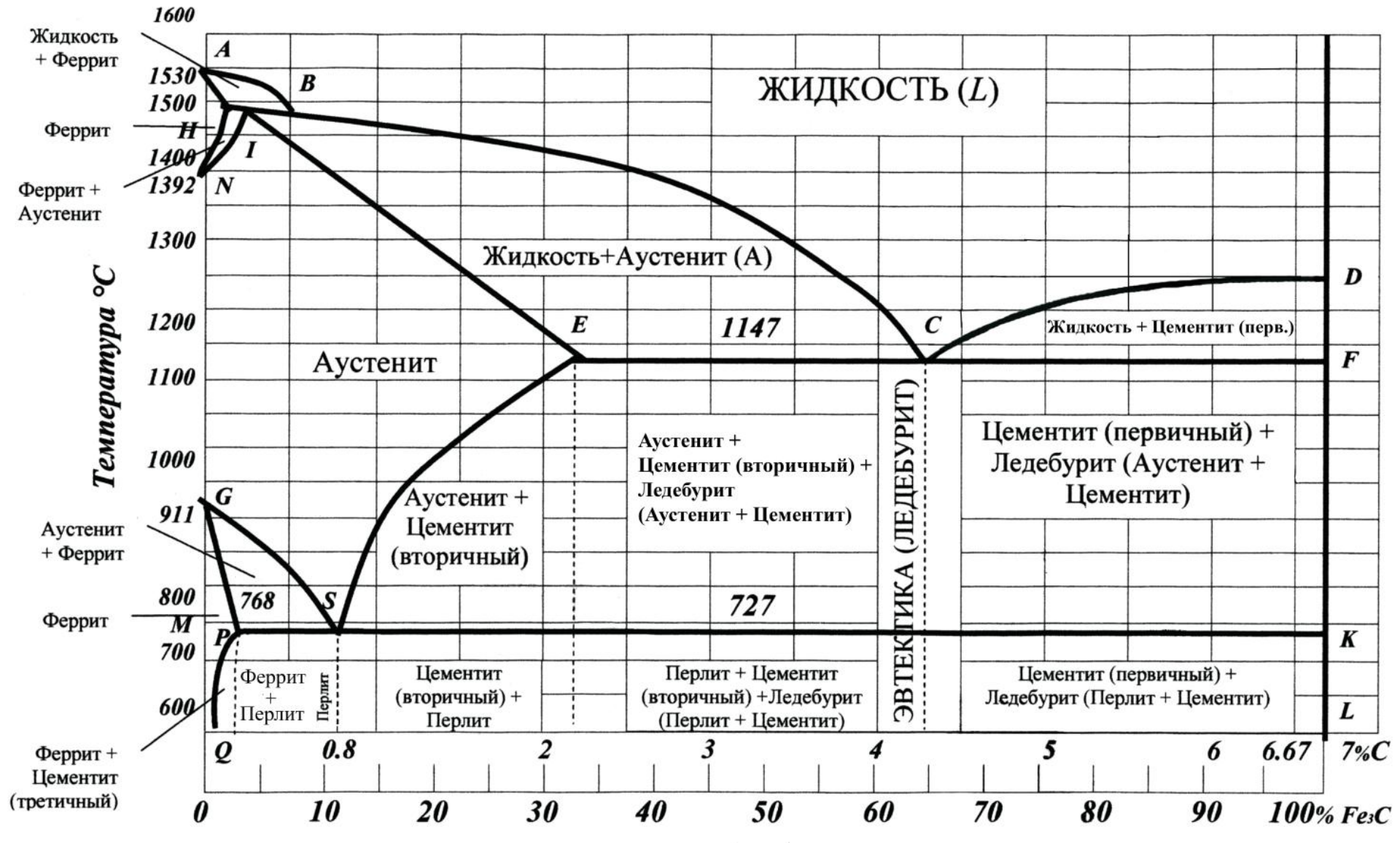


Диаграмма состояния Fe–Fe3C (железо-цементит)

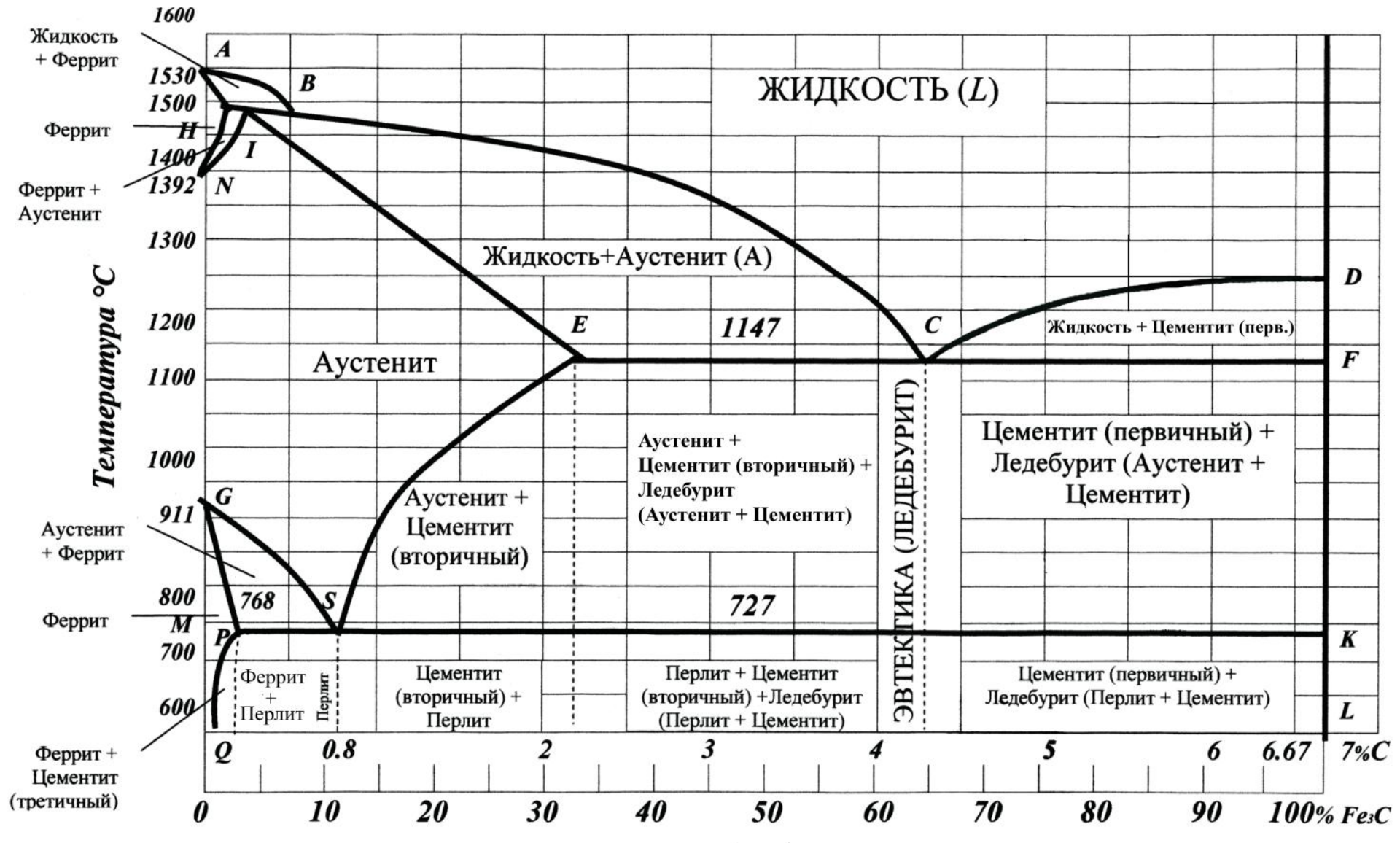
Диаграмма состояния Fe – Fe3C (железо-цементит) показывает, как ведут себя сплавы железа с углеродом. Условной границей для деления таких сплавов на **стали и чугуны** является 2,14% углерода (точка E). Сплавы с содержанием углерода менее 2,14% относятся к сталям, более 2,14% — к чугунам



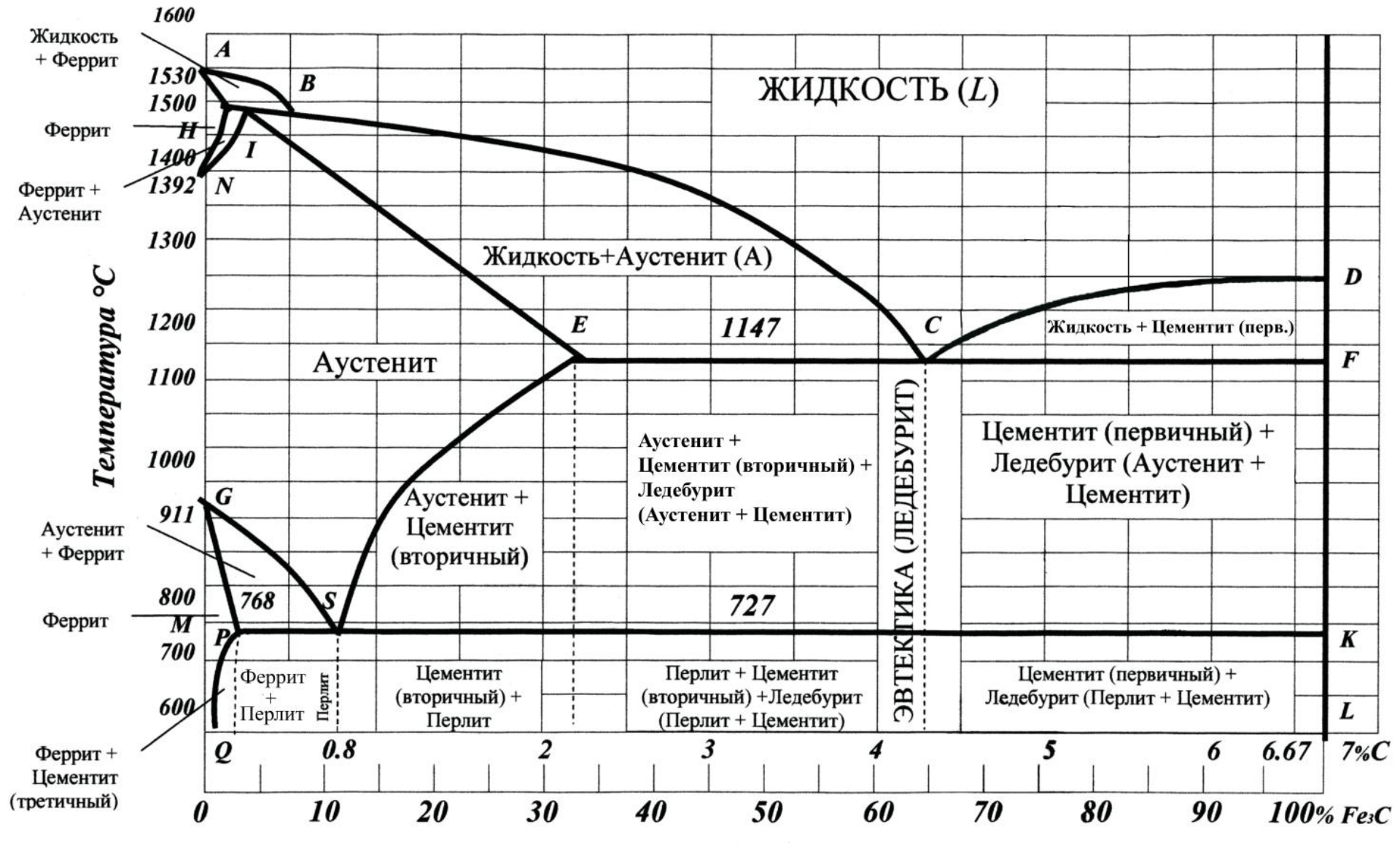
Линия ликвидуса ABCD - начало кристаллизации



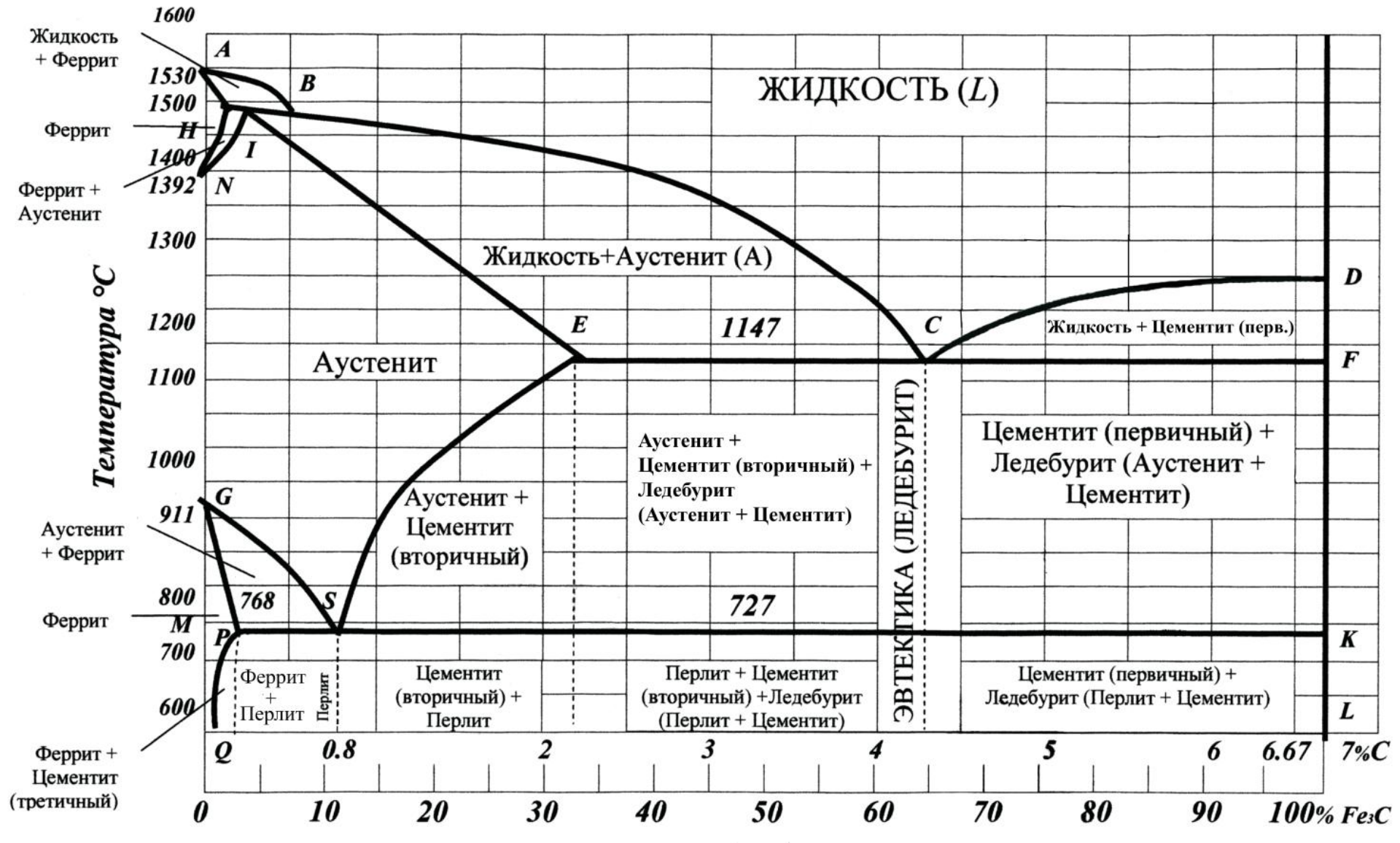
Линия солидуса AHIECF - окончание процесса первичной кристаллизации



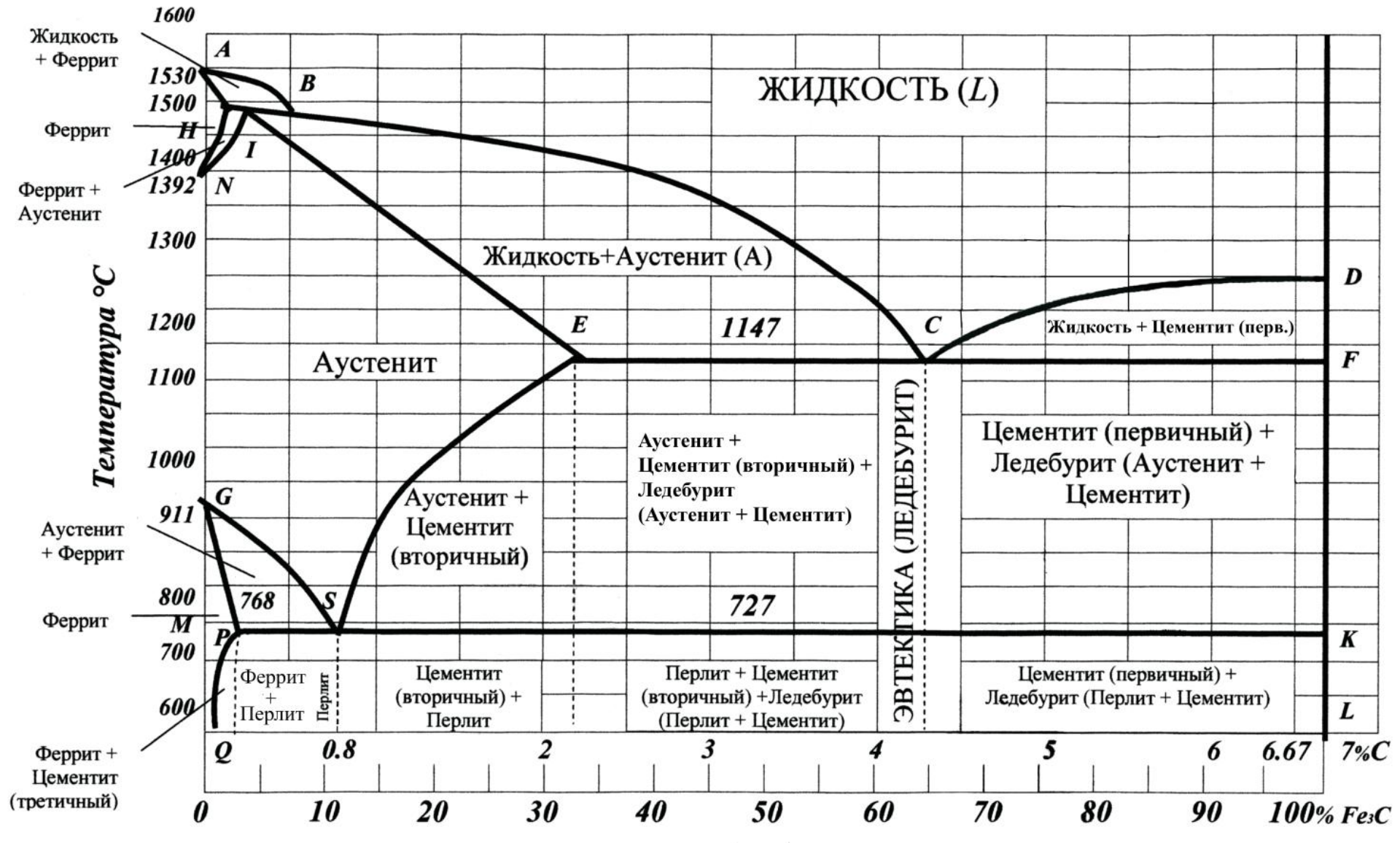
Эвтектическая линия ECF и эвтэктоидная линия PSK. Сплавы, претерпевающие при охлаждении эвтектическое превращение, называются белыми чугунами (содержание углерода более 2,14%); сплавы, в которых эвтектическое превращение отсутствует, называются сталями (содержание углерода равно или меньше 2,14%)



В железоуглеродистых сплавах могут присутствовать следующие твердые фазы: феррит, аустенит, цементит



Феррит (Ф) - твердый раствор углерода в α-железе, имеющем объемно центрированную кубическую решетку. Существуют две области однофазного состояния феррита: высокотемпературная область ANH и низкотемпературная область GPQ



Аустенит (А) - твердый раствор углерода в γ-железе, имеющем гранецентрированную кубическую решетку. Аустенит занимает область диаграммы NGSEI

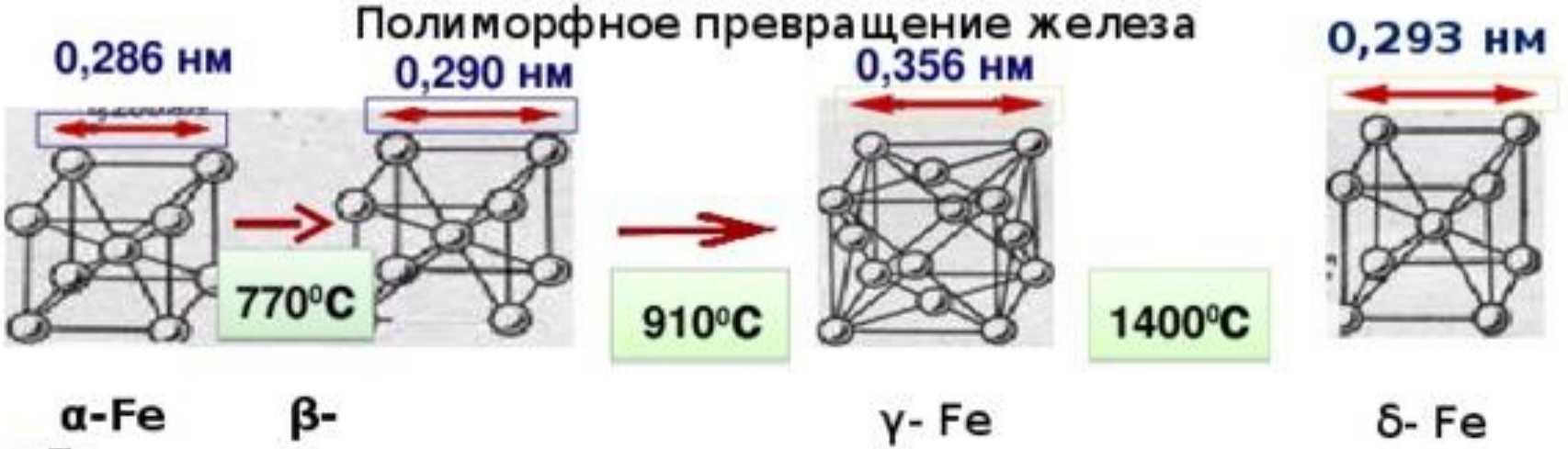
Физические свойства

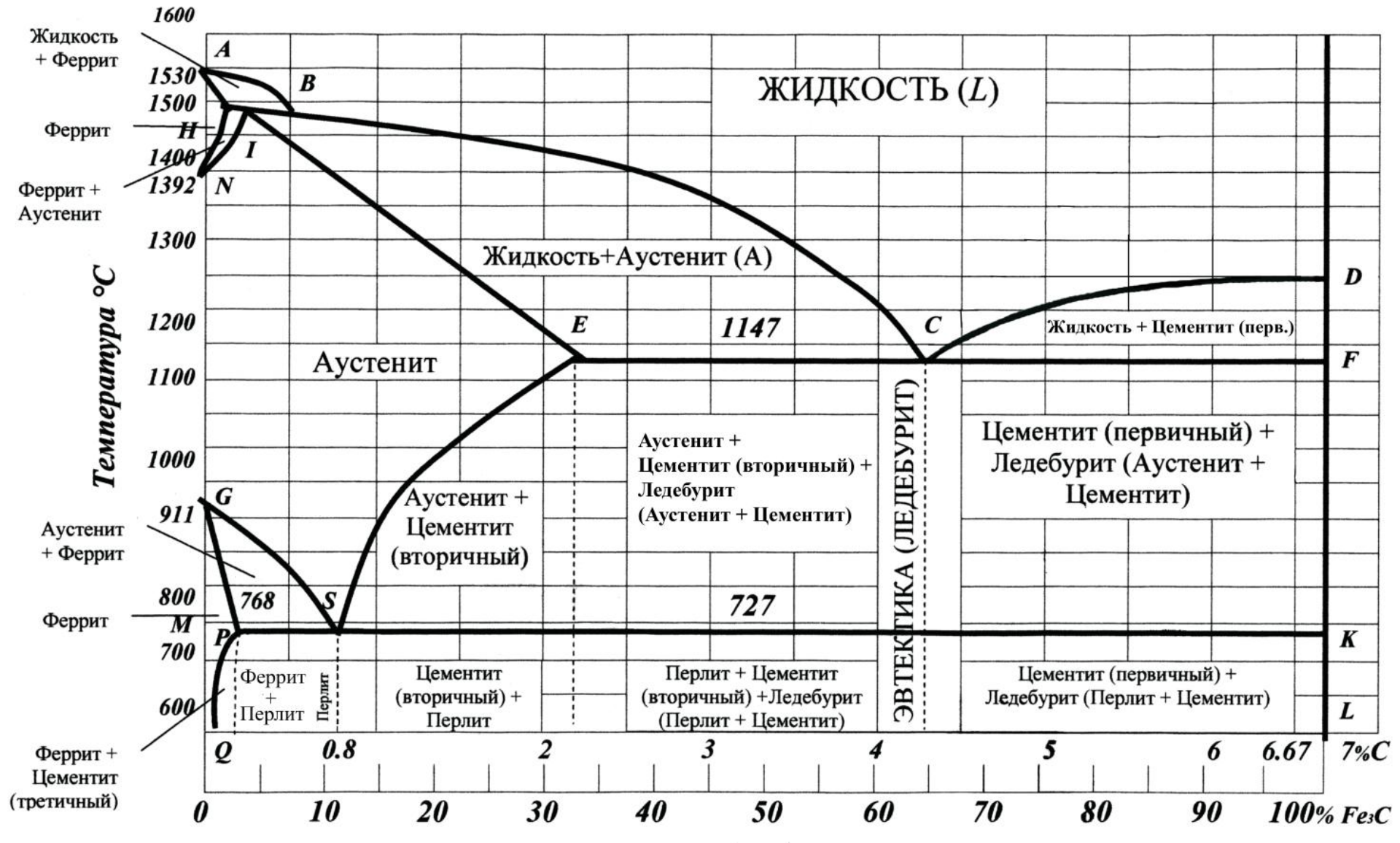
Железо имеет **четыре** модификации:

При **770**°С **α-Fe**→ в **β-Fe** , но кристаллическая структура его не изменяется.

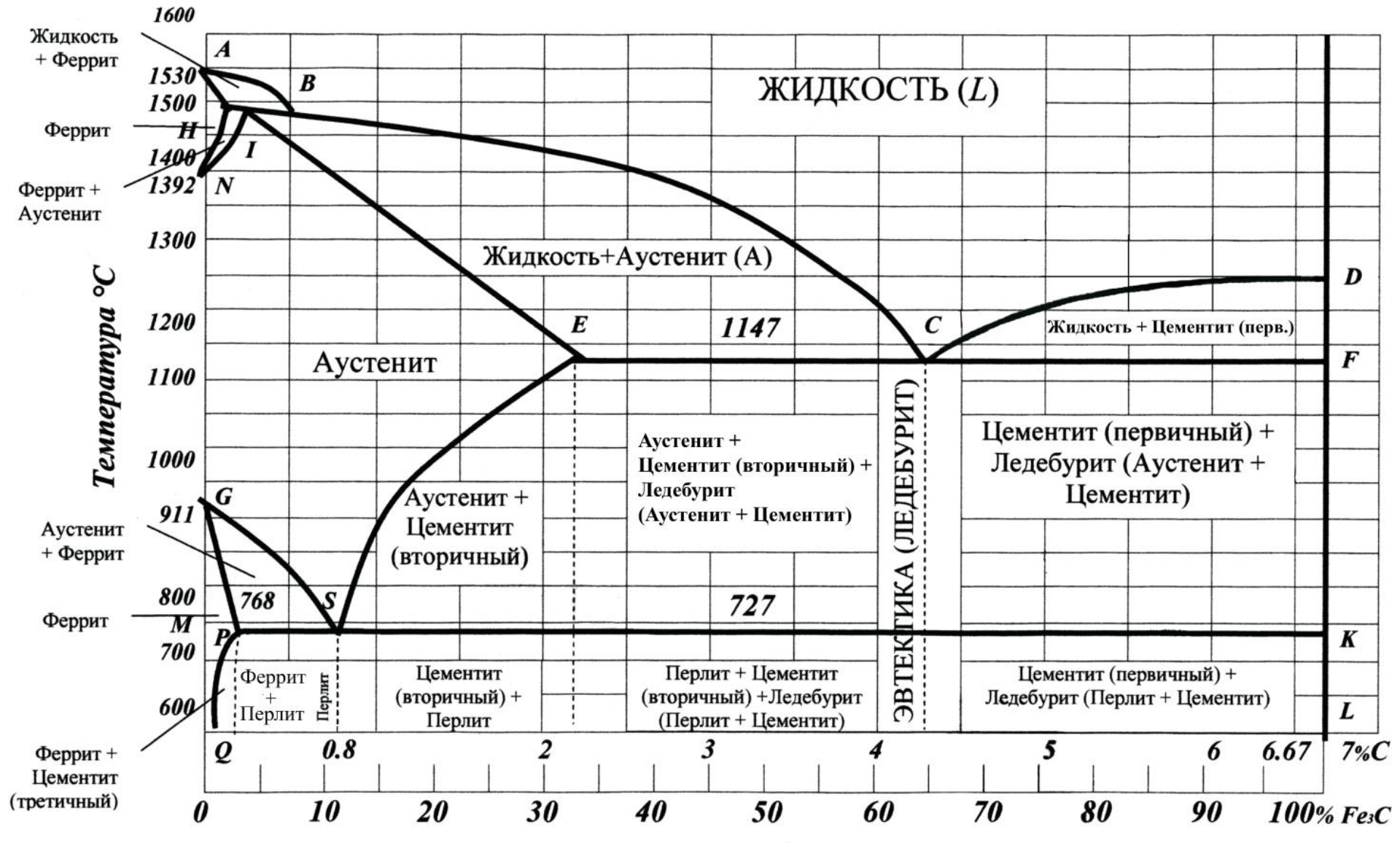
При **912**°С изменяется структура кристалла: из объемноцентрированной переходит в гранецентрированную кубическую структуру **γ-Fe**, а металл остается парамагнитным.

При **1394**°С происходит новый полиморфный переход и образуется **δ-Fe** с кубической решеткой, которое существует вплоть до температуры плавления железа (1539°С).

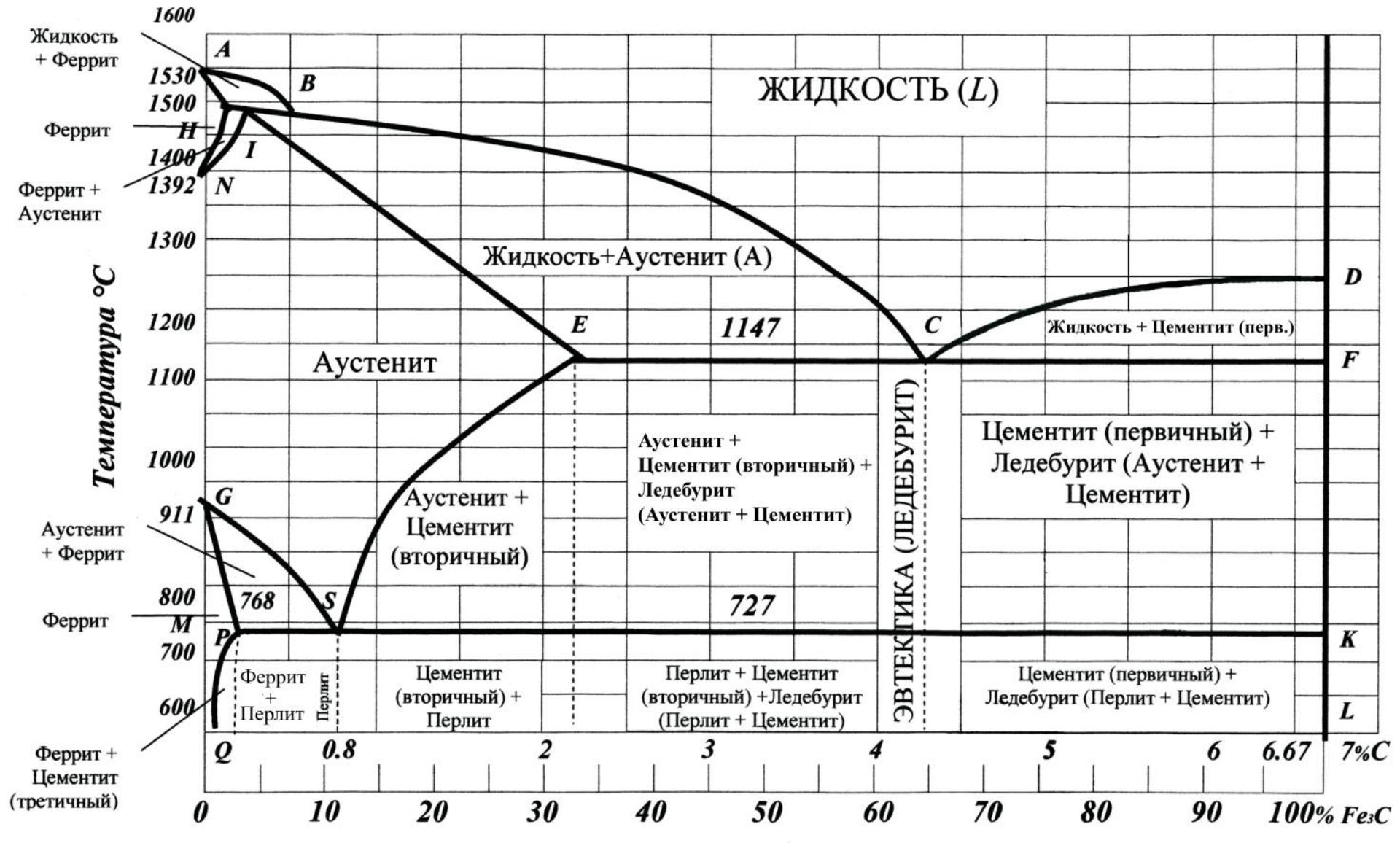




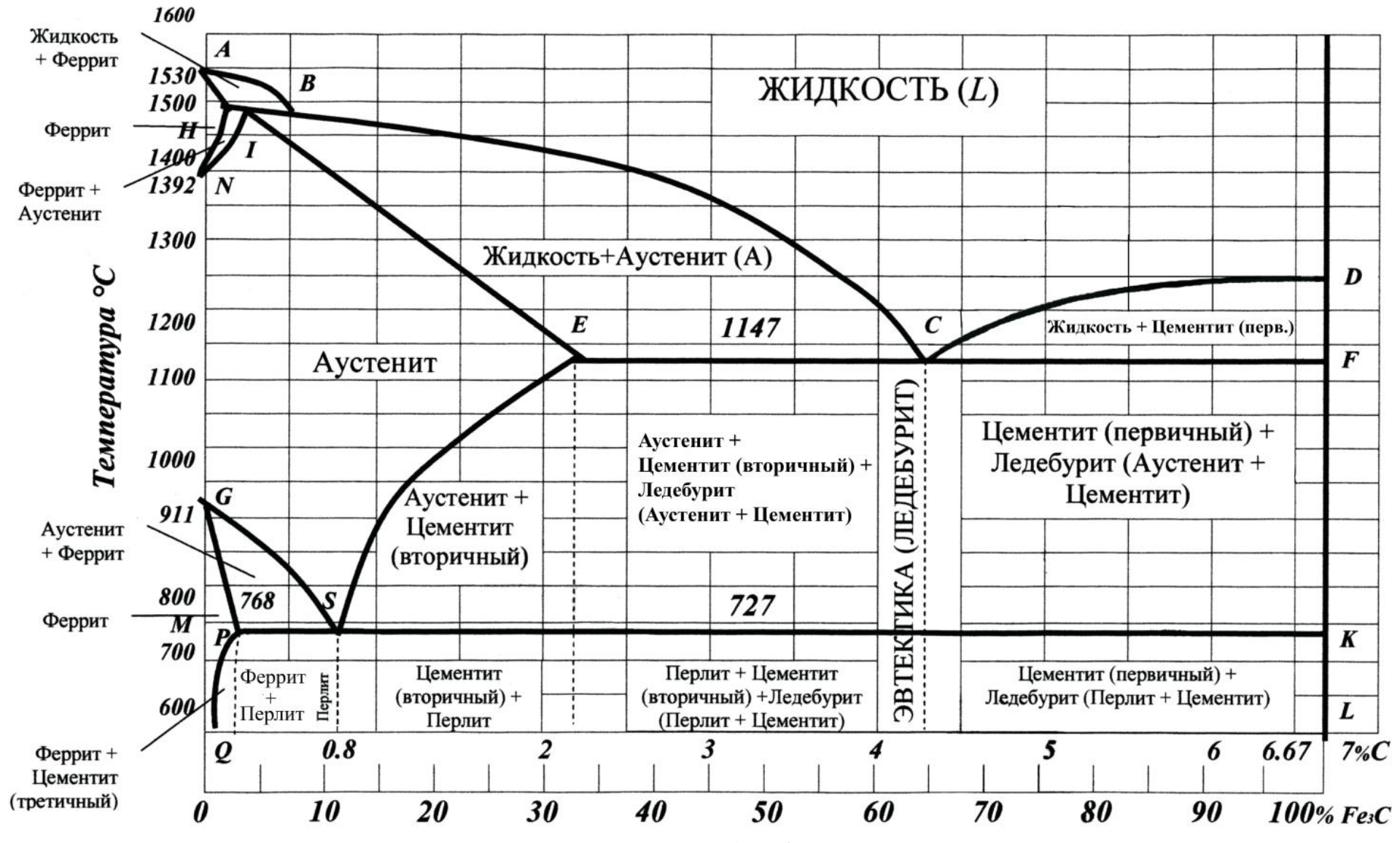
Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом, химическая формула которого Fe3C (карбид железа). Это химическое соединение содержит 6,67 %С



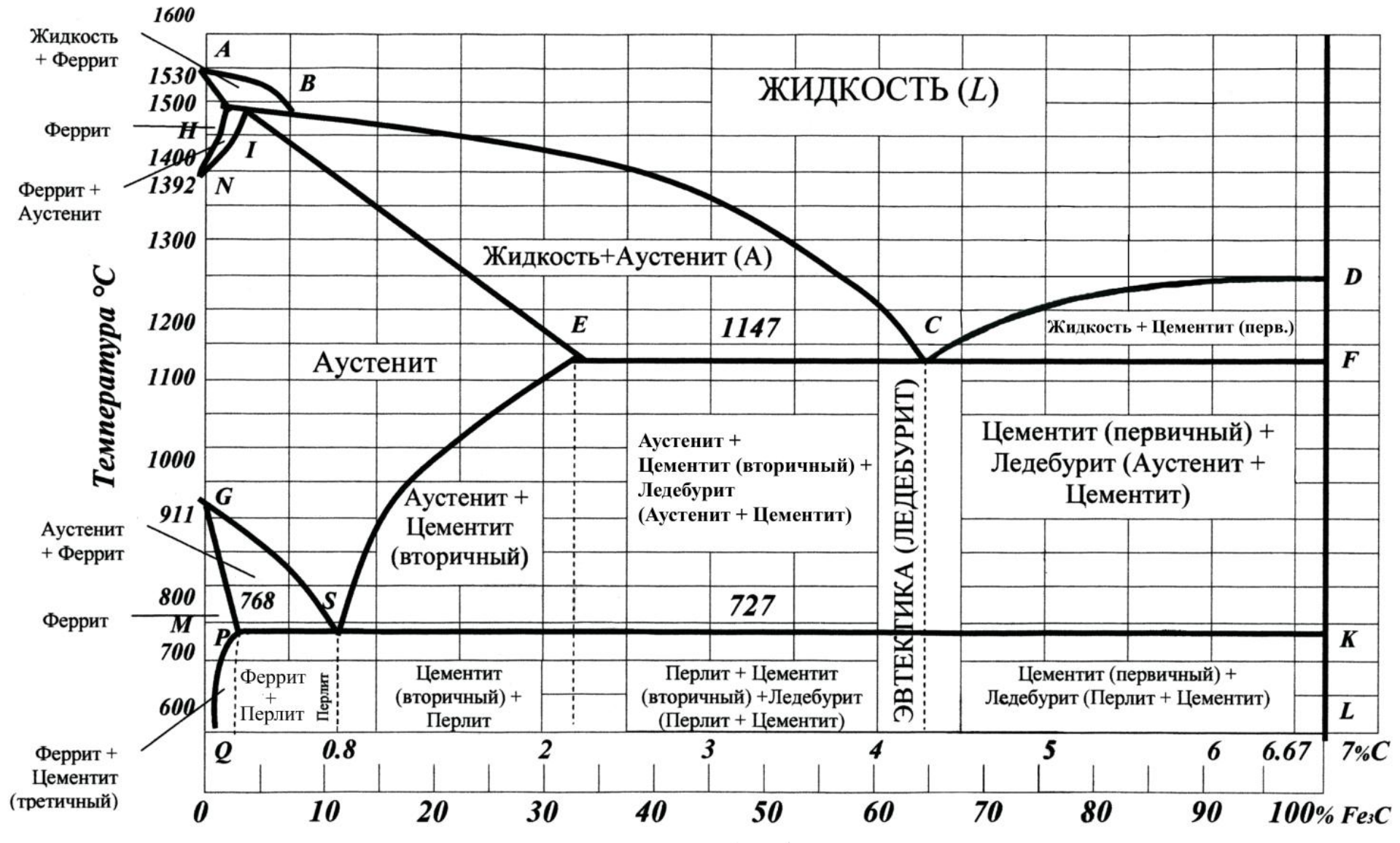
Все остальные области диаграммы являются двухфазными



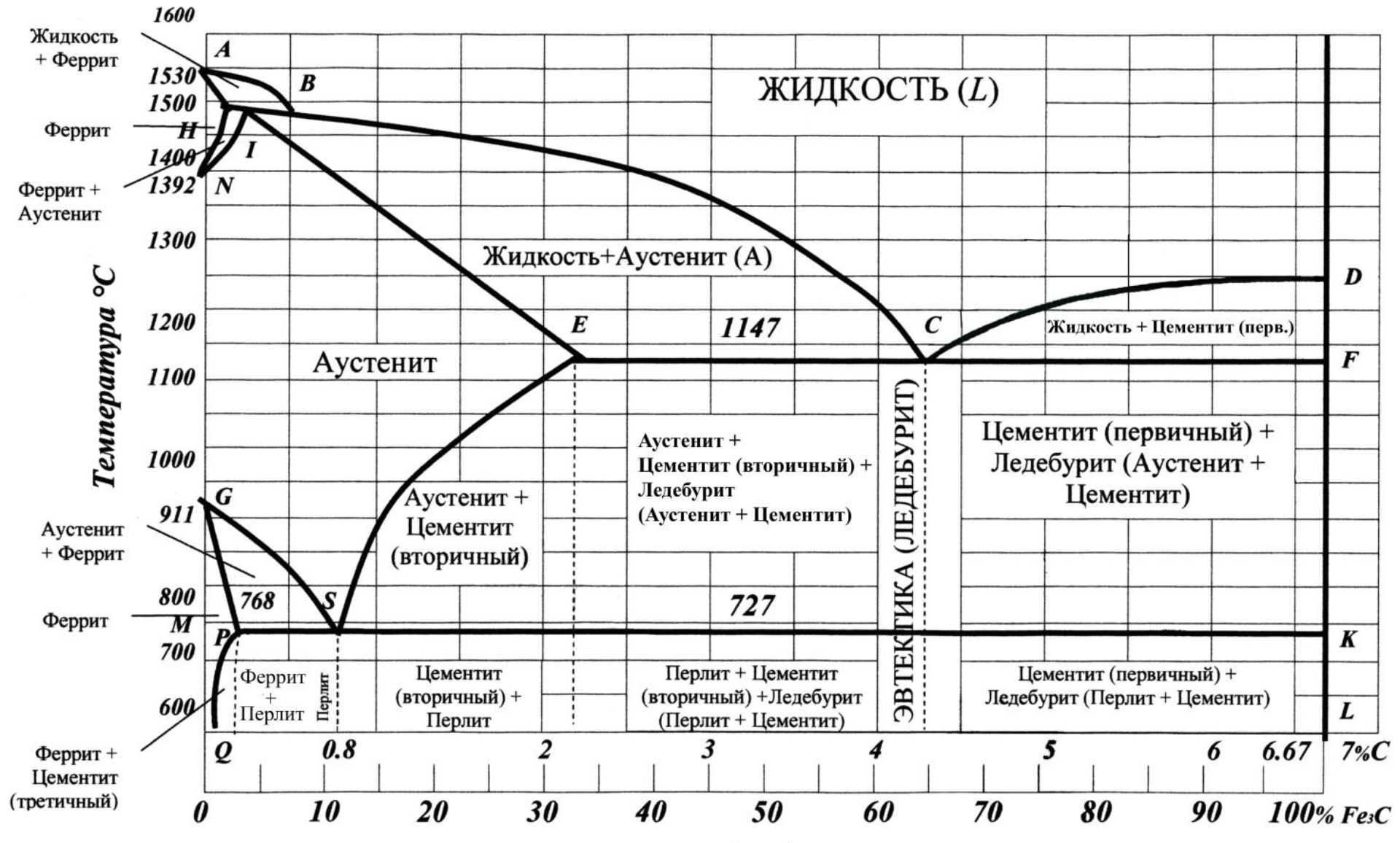
АВН (Жидкий раствор и кристаллы феррита); HIN (Кристаллы феррита и аустенита); IBCE (Жидкий раствор и кристаллы аустенита); SECFK (Кристаллы аустенита и цементита); QPSKL (Кристаллы феррита и цементита)



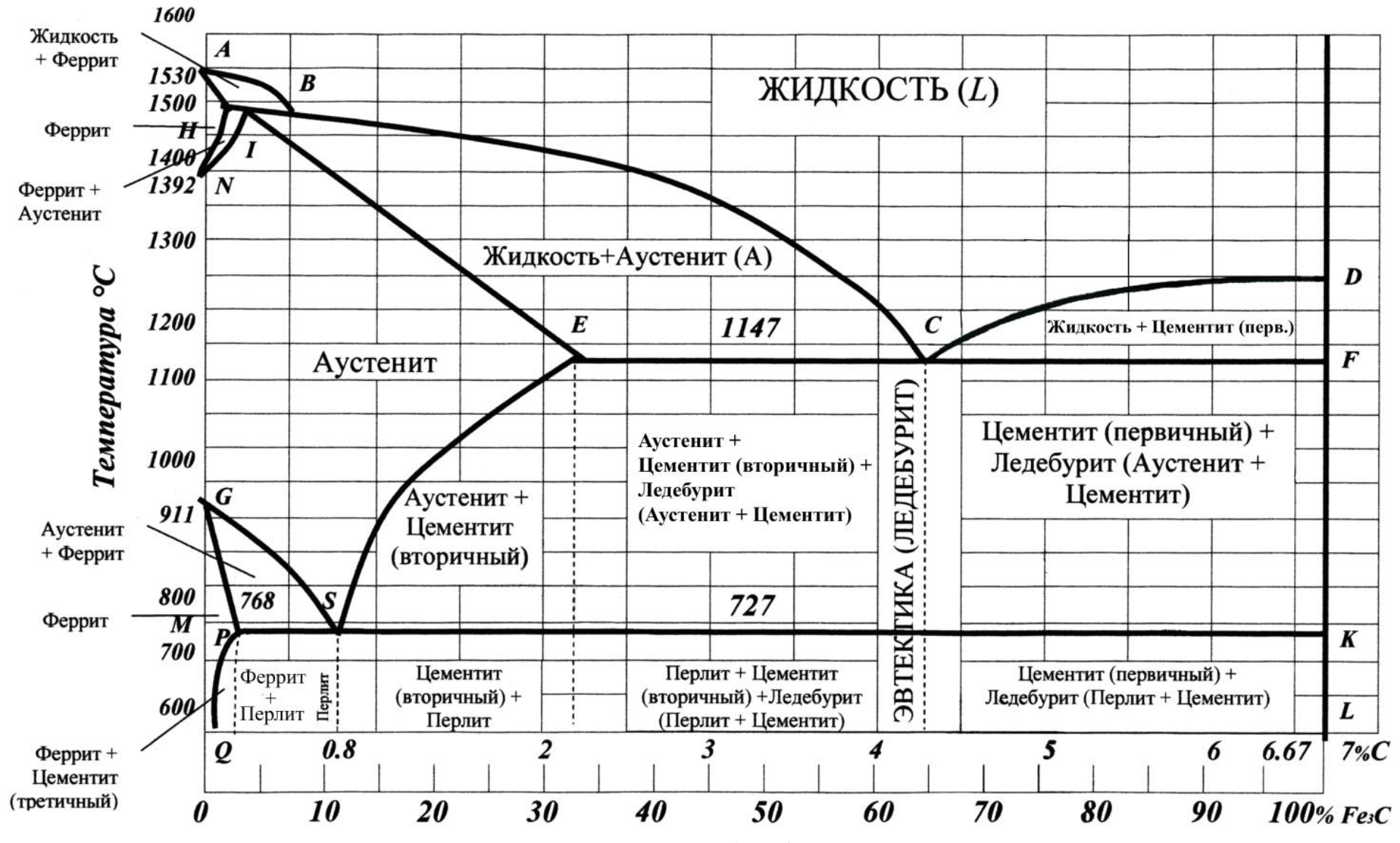
Горизонтальные линии диаграммы выражают состояние трехфазного равновесия. На горизонтальной линии HIB в равновесии находятся две твердые фазы и одна жидкая;



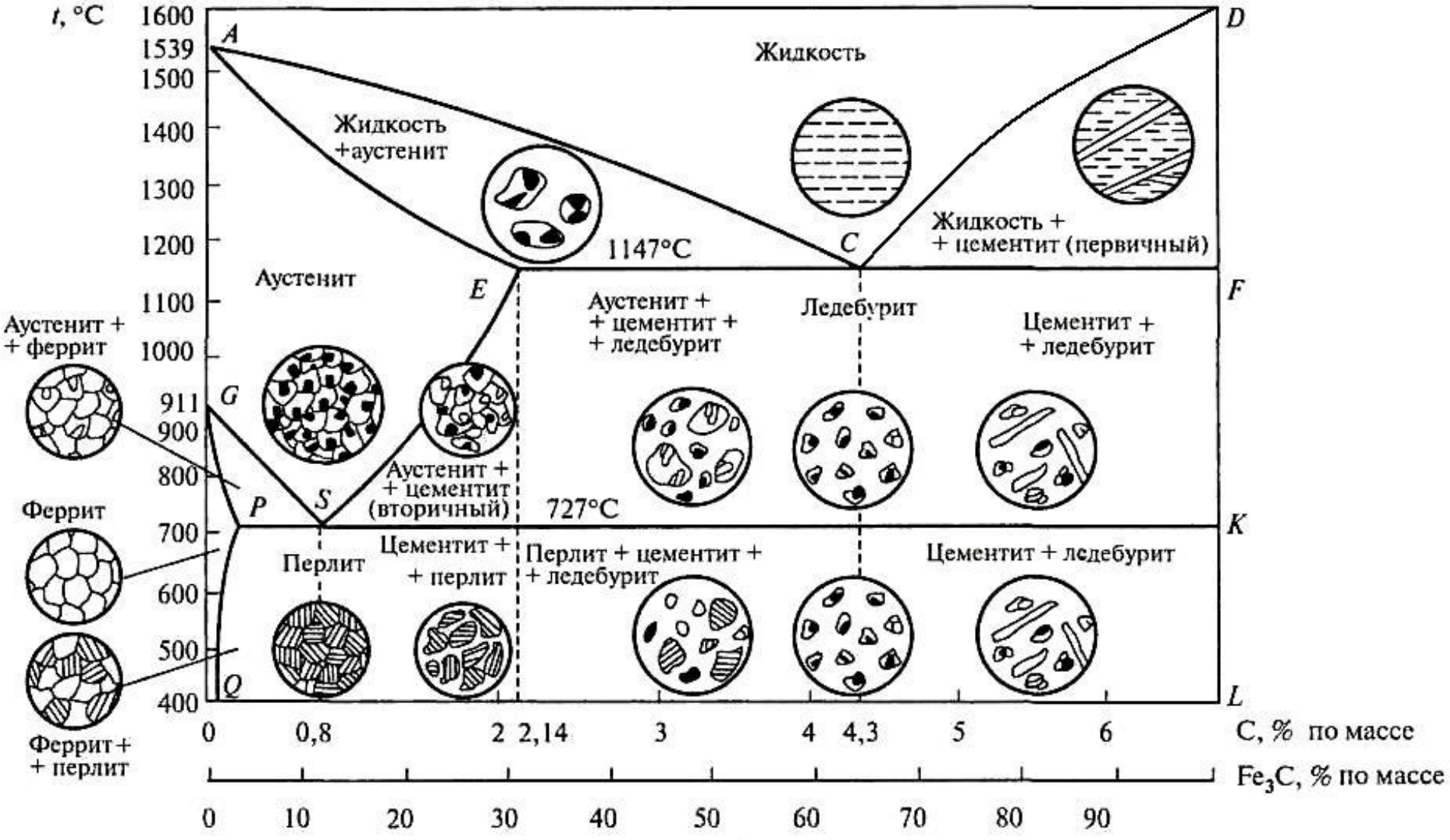
при охлаждении сплавов происходит **перитектическое** превращение, состоящее во взаимодействии феррита 0,1%С, с жидким раствором, содержащим 0,51%С; в результате взаимодействия образуется аустенит 0,16%С

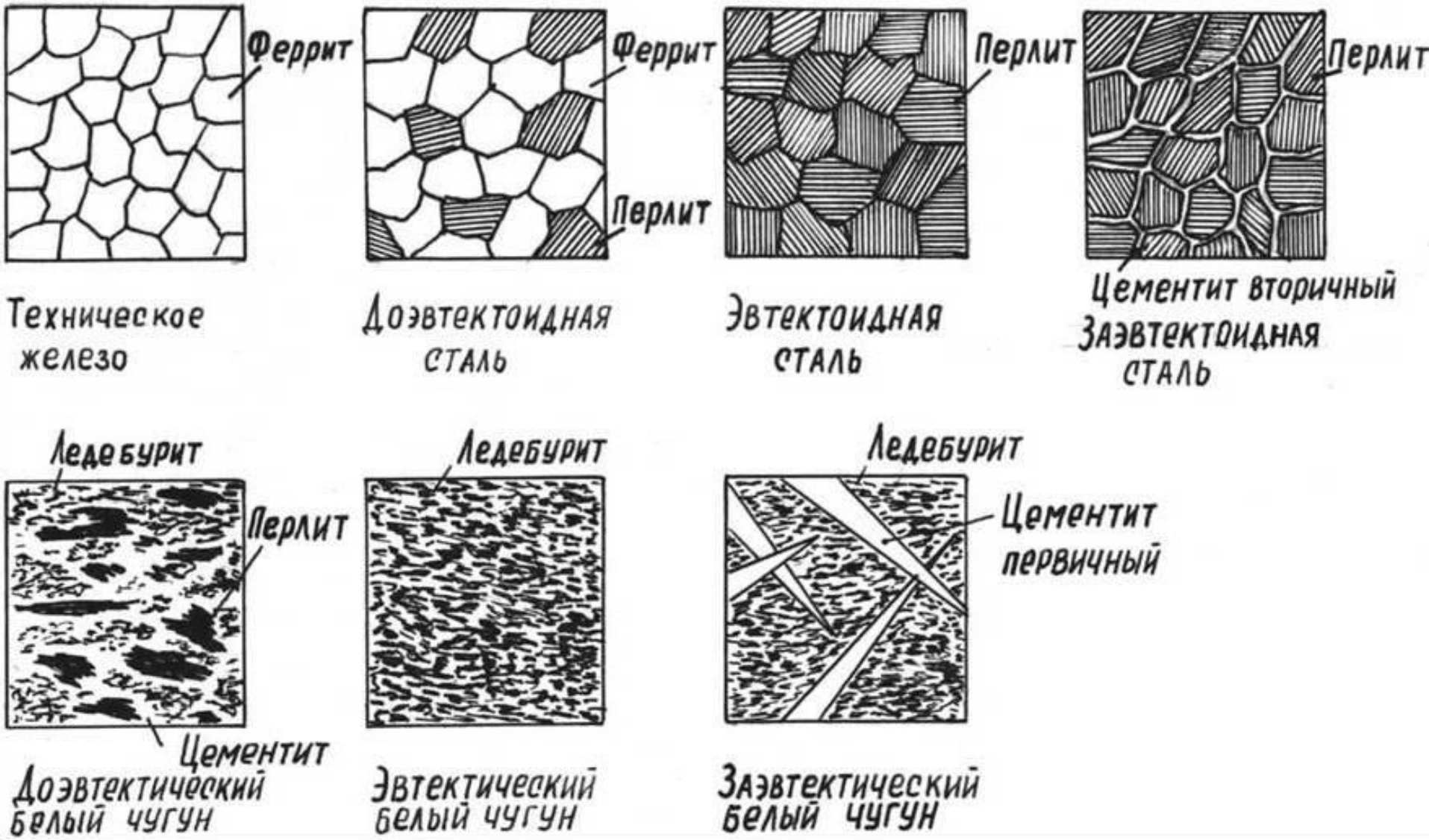


На горизонтальной линии ECF в равновесии находятся одна жидкая и две твердые фазы: при охлаждении сплавов происходит эвтектическое превращение, состоящее в том, что жидкий раствор эвтектической концентрации (4,3% С) затвердевает, образуя эвтектическую смесь кристаллов аустенита с 2,14% растворенного углерода и кристаллов цементита (ледебурит)



На горизонтальной линии PSK в равновесии находятся три твердые фазы; при охлаждении происходит эвтэктоидное превращение; аустенит, содержащий 0,81% С, распадается на эвтэктоидную смесь (перлит), состоящую из кристаллов феррита, в котором растворено 0,02% С, и кристаллов цементита


t, °C
1600
1539
1500
1400
1300
1200
1100
1000
911
900
800
700
600
500
400
A
D
Жидкость
Жидкость +аустенит
1147°C
C
Жидкость + + цементит (первичный)
Аустенит
E
F
Аустенит + + феррит
Аустенит + + цементит + + ледебурит
Ледебурит
Цементит + + ледебурит
G
P
S
727°C
K
Аустенит + + цементит (вторичный)
Феррит
Перлит
Цементит + + перлит
Перлит + цементит + + ледебурит
Цементит + ледебурит
Q
L
Феррит + + перлит
0
0,8
2
2,14
3
4
4,3
5
6
C, % по массе
Fe3C, % по массе
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90


Феррит
Техническое железо
Феррит
Перлит
Доэвтектоидная сталь
Перлит
Эвтектоидная сталь
Перлит
Цементит вторичный
Заэвтектоидная сталь
Ледебурит
Перлит
Цементит
Доэвтектический белый чугун
Ледебурит
Эвтектический белый чугун
Ледебурит
Цементит первичный
Заэвтектический белый чугун

Классификация и маркировка углеродистых сталей

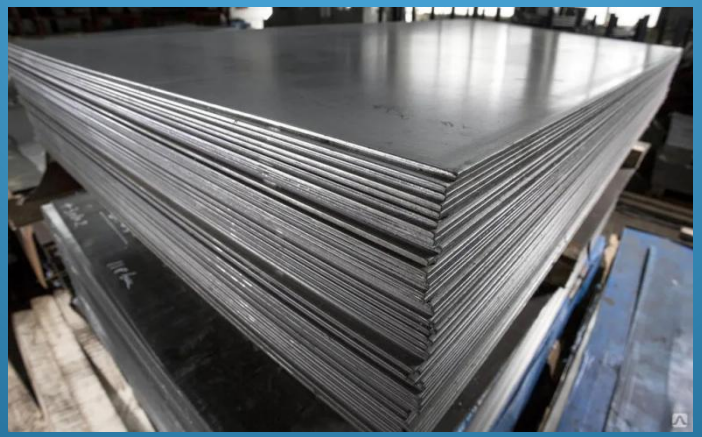
Углеродистые **стали** → **Инструментальные**

Конструкционные

- **Обыкновенного качества**
  - С гарантией механических свойств (А)
  - С гарантией химических свойств (Б)
  - С гарантией механических свойств и химического состава (В)
- **Качественные**
  - Мало-углеродистые
  - Средне-углеродистые
  - Высоко-углеродистые, пружинные
- **Высоко-качественные**
- **Автоматные**

ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Буквы Ст и цифра (0-6)



прутки, листы, уголки

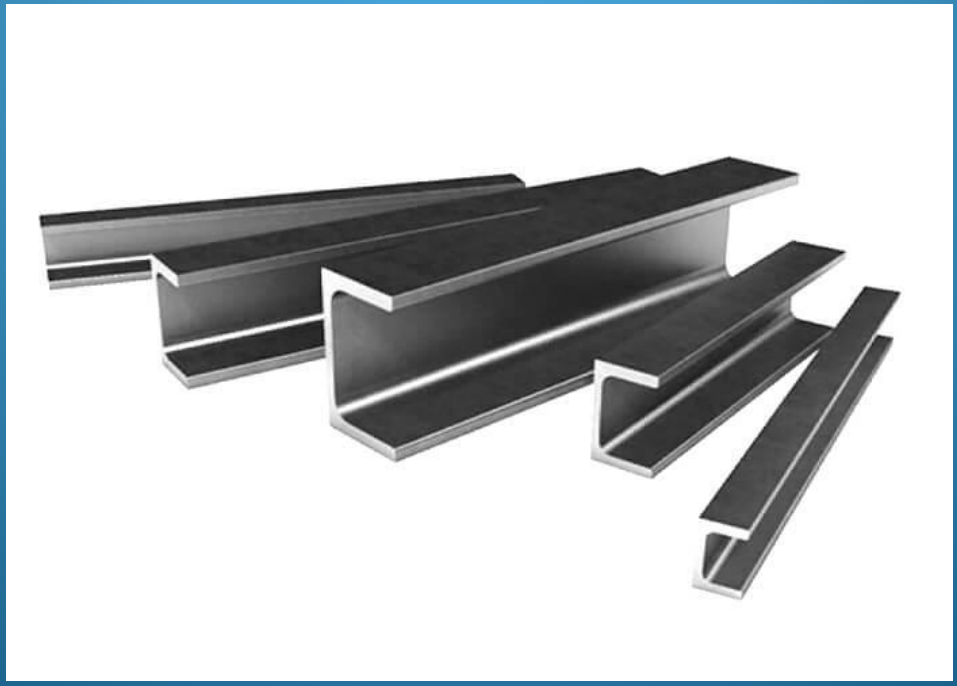
С ГАРАНТИЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ (А):

Группа А **в обозначении марки стали не указывается**

Ст3кп, Ст3пс, Ст2

«кп» - кипящая; «пс» - полуспокойная

Без горячей обработки давлением



Ст3кп - сталь конструкционная, обыкновенного качества, группы А, среднеуглеродистая, кипящая, доэвтектоидная

С ГАРАНТИЕЙ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ (Б):

БСт0, БСт2, БСт3пс

Для горячей обработки давлением

БСт3пс - сталь конструкционная, обыкновенного качества, группы Б, среднеуглеродистая, полуспокойная, доэвтектоидная

С ГАРАНТИЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА (В):

ВСт0, ВСт5сп, ВСт3сп5

«сп» - спокойная

Для сварных конструкций

ВСт5сп - сталь конструкционная, обыкновенного качества, группы В, среднеуглеродистая, спокойная, доэвтектоидная

КАЧЕСТВЕННЫЕ

МАЛОУГЛЕРОДИСТЫЕ (НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫЕ)

С содержанием углерода до 0,30%

05, 08, 10, 15

Для глубокой вытяжки

15 - сталь конструкционная, качественная, низкоуглеродистая (С - 0,15%), остальное железо и примеси, доэвтектоидная

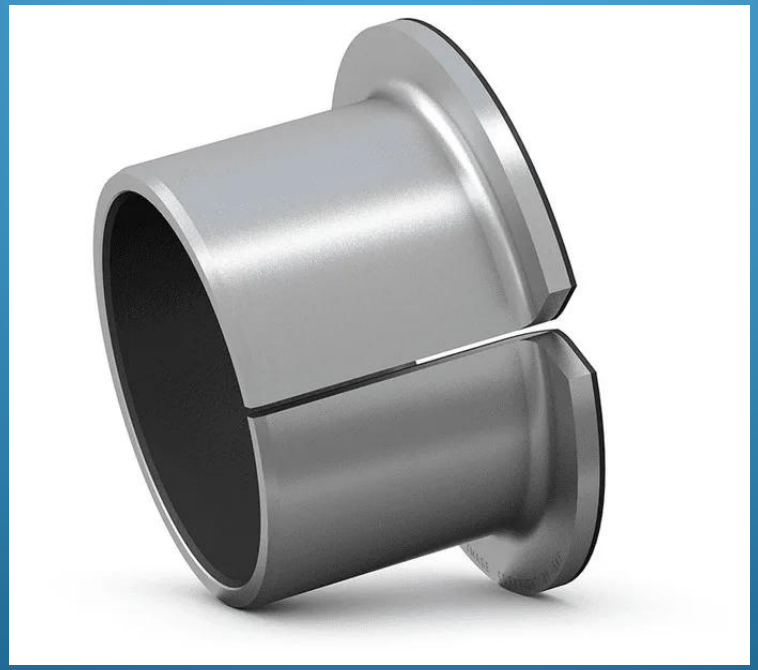
15кп - сталь конструкционная, качественная, низкоуглеродистая (С - 0,15%), остальное железо и примеси, кипящая, доэвтектоидная, термически неупрочняемая ТО

СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫЕ

С содержанием углерода 0,3…0,7 %

35, 40, 50, 40Л

Для средне нагруженных деталей



40Л - сталь конструкционная, литейная, качественная, среднеуглеродистая (С - 0,40%), остальное железо и примеси, доэвтектоидная

ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫЕ

С содержанием углерода выше 0,7 %

75, 80, 85

Канатная проволока

75 - сталь конструкционная, качественная, высокоуглеродистая (С - 0,75%), остальное железо и примеси, доэвтектоидная

ПРУЖИННЫЕ

С повышенным содержанием марганца

60Г, 65Г, 70Г

Для пружин и рессор

60Г - сталь конструкционная, пружинная, качественная, высокоуглеродистая (С - 0,60%), Г – марганец (до 1%), остальное железо и примеси, доэвтектоидная

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ

У9А, У10А, У12А

Для инструмента

У9А – сталь инструментальная, высокоуглеродистая (С - 0,9%), остальное железо и примеси, высококачественная, заэвтектоидная, упрочнаемая ТО (закалка + низкий отпуск)

АВТОМАТНАЯ

А12, А15, А20, А40

Для малонагруженных деталей

А12 – сталь конструкционная повышенной обрабатываемости, автоматная, (С - 0,12% (в сотых долях процента)), низкоуглеродистая, остальное железо и примеси, доэвтектоидная

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ

У7, У8, У9, У9А, У10А, У12А, У13А

Для инструмента

У8 – сталь инструментальная, высокоуглеродистая (С - 0,8%), остальное железо и примеси, качественная, эвтектоидная, упрочнаемая ТО (закалка + низкий отпуск)

У – инструментальная; 8 – углерод (в десятых долях процента 0,8%)

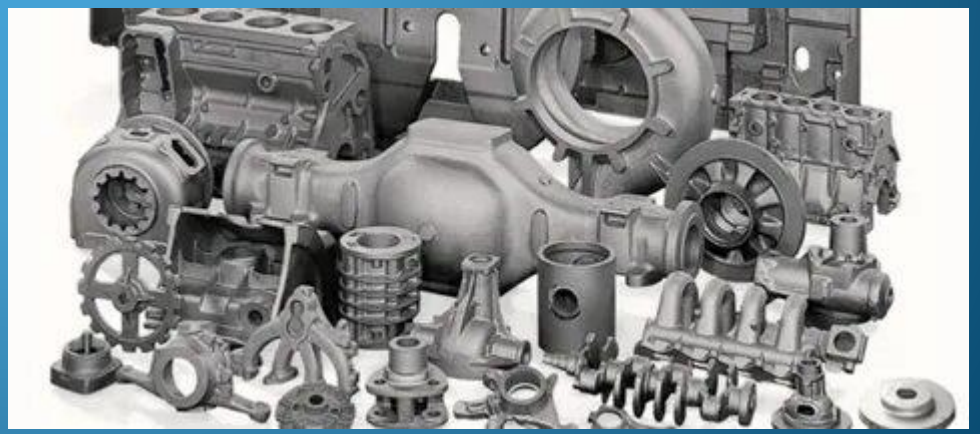
Элемент	Химич. символ	черные	цветные
Азот	N	А	-
Алюминий	A1	Ю	А
Барий	Ba	-	Бр
Бериллии	Be	Л	
Бор	B	Р	-
Ванадии	V	Ф	Вам
Висмут	Bi	Ви	Ви
Вольфрам	W	В	-
Германий	Ge	-	Г
Железо	Fe	-	Ж
Золото	Au	-	Зл
Индий	In	-	Ин
Кадмий	Cd	Кд	Кд
Кобальт	Co	К	К
Кремний	Si	С	Кр(К)
Литий	Li	-	Лэ
Магний	Mg	Ш	Мг
Марганец	Mn	Г	Мц(Мр)
Медь	Cu	Д	М
Молибден	Mo	М	-
Никель	Ni	Н	Н
Ниобий	Nb	Б	Нп
Олово	Sn	-	О
Осмий	Os	-	Ос
Палладий	Pd	-	Пд
Платина	Pt	-	Пл
Родий	Rh	-	Rg
Ртуть	Hg	-	Р
Свинец	Pb	-	С
Селен	Se	К	СТ
Серебро	Ag	-	Ср
Скандий	Sc		Скм
Сурьма	Sb	-	Cv
Таллий	Tl	-	Тл
Тантал	Ta	-	ТТ
Теллур	Te	-	Т
Титан	Ti	Т	ТПД
Углерод	C	У	-
Фосфор	P	П	Ф
Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Церий	Ce		Се
Цинк	Zn	-	Ц
Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ

Чугуны: виды, микроструктура, свойства и маркировка

https://tdag.ru/article/markirovka-stali-v-kitae/

Чугуны

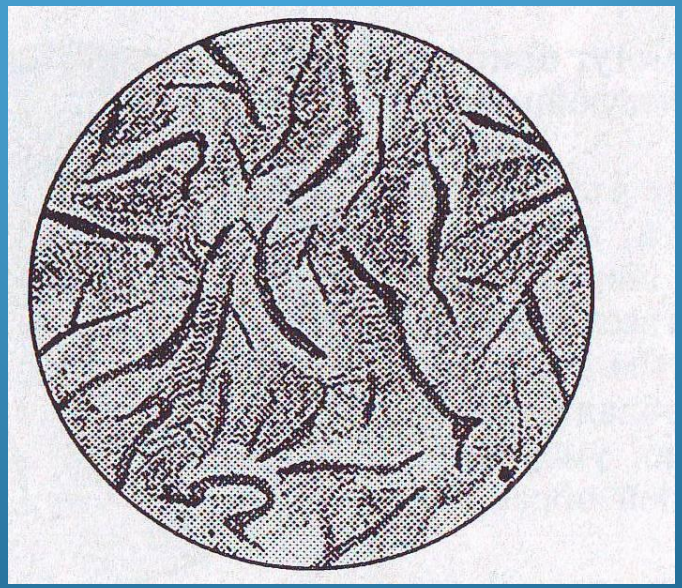
- Серые
- Ковкие
- Высоко-прочные
- Легированные



СЕРЫЕ ЧУГУНЫ

СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ30

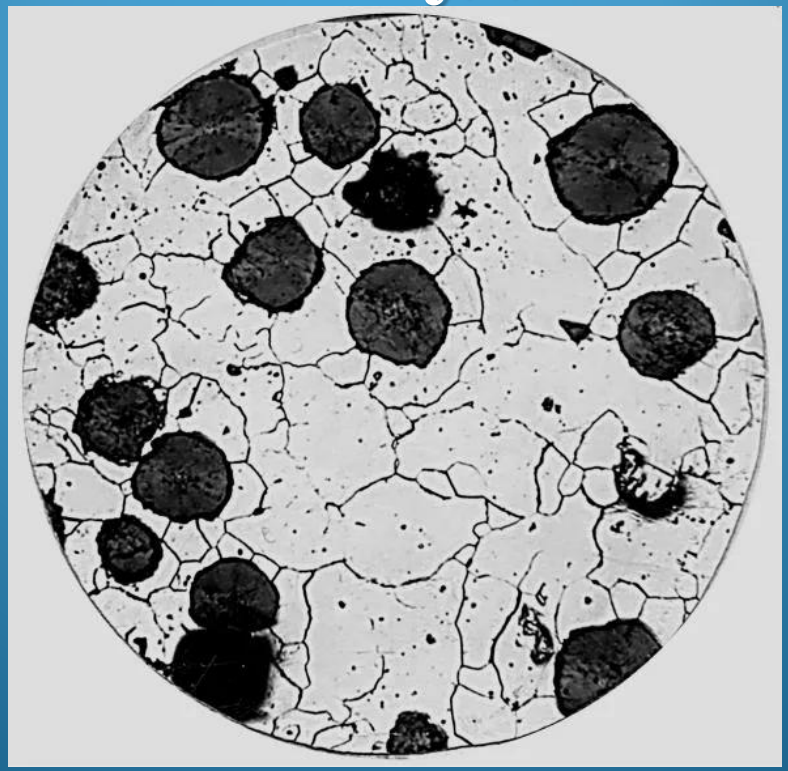
СЧ15 – серый чугун с пластинчатым графитом, предел прочности при растяжении $\sigma_в$ = 150 МПа



ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЧУГУНЫ

ВЧ50–7

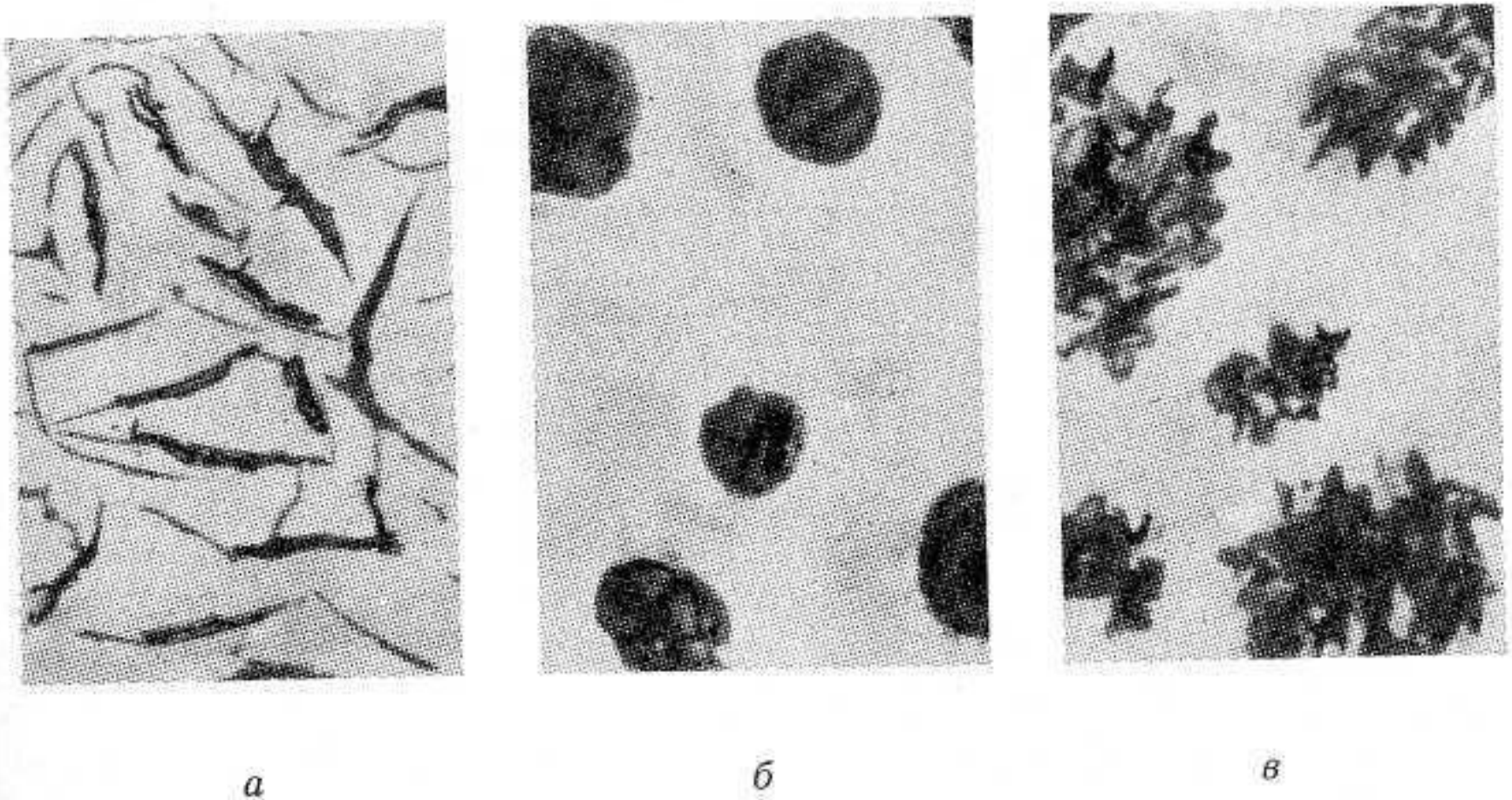
ВЧ50-7 – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, предел прочности при растяжении $\sigma_в = 500$ МПа, относительное удлинение $\delta = 7$ %



КОВКИЕ ЧУГУНЫ

КЧ 37–12

КЧ 37–12 – ковкий чугун с хлопьевидным графитом, предел прочности при растяжении $\sigma_в$ = 370 МПа, относительное удлинение δ = 12 %



а *б* *в*

Рис. 94. Различные формы графита: *а* — пластинчатый графит (серые чугуны); *б* — шаровидный графит (высокопрочные чугуны); *в* — хлопьевидный графит (ковкие чугуны)

ЛЕГИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ

ЧН19Х3, ЧНМШ, АЧС-5

ЧН19Х3 – легированный чугун, содержащий 19% никеля и 3% хрома

ЛЕГИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ

ЧН19Х3, ЧНМШ, АЧС-5

ЧНМШ– легированный чугун, содержащий до 1% никеля, до 1% молибдена, Ш-шаровидная форма графита

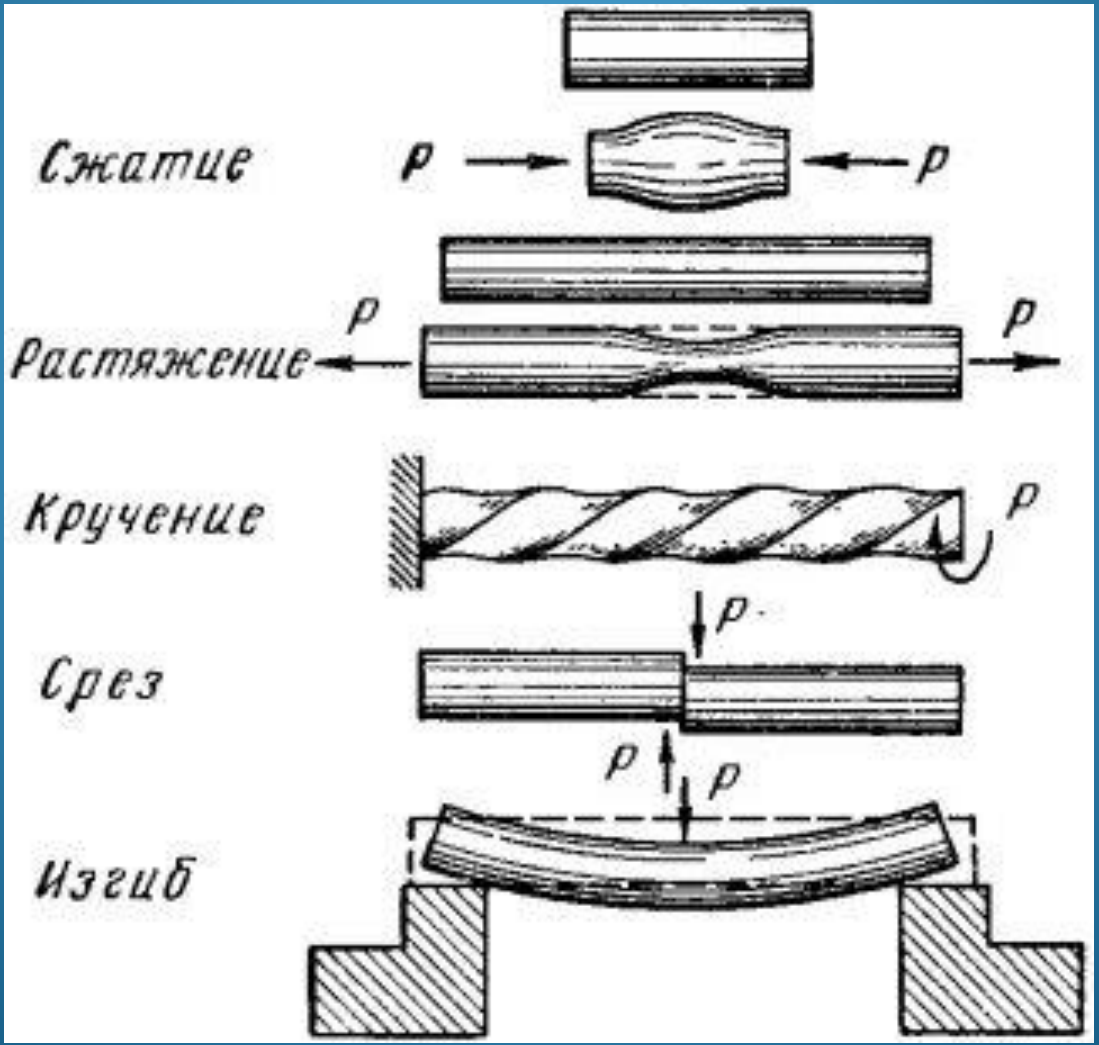
ЛЕГИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ

ЧН19Х3, ЧНМШ, АЧС-5

АЧС-5 – аустенитный чугун, легированный марганцем (7,5 - 12,5 %) и алюминием (0,4 - 0,8%); из этого чугуна изготавливают детали, работающие в особо нагруженных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом

Тема 2: Деформация и механические свойства металлов и сплавов

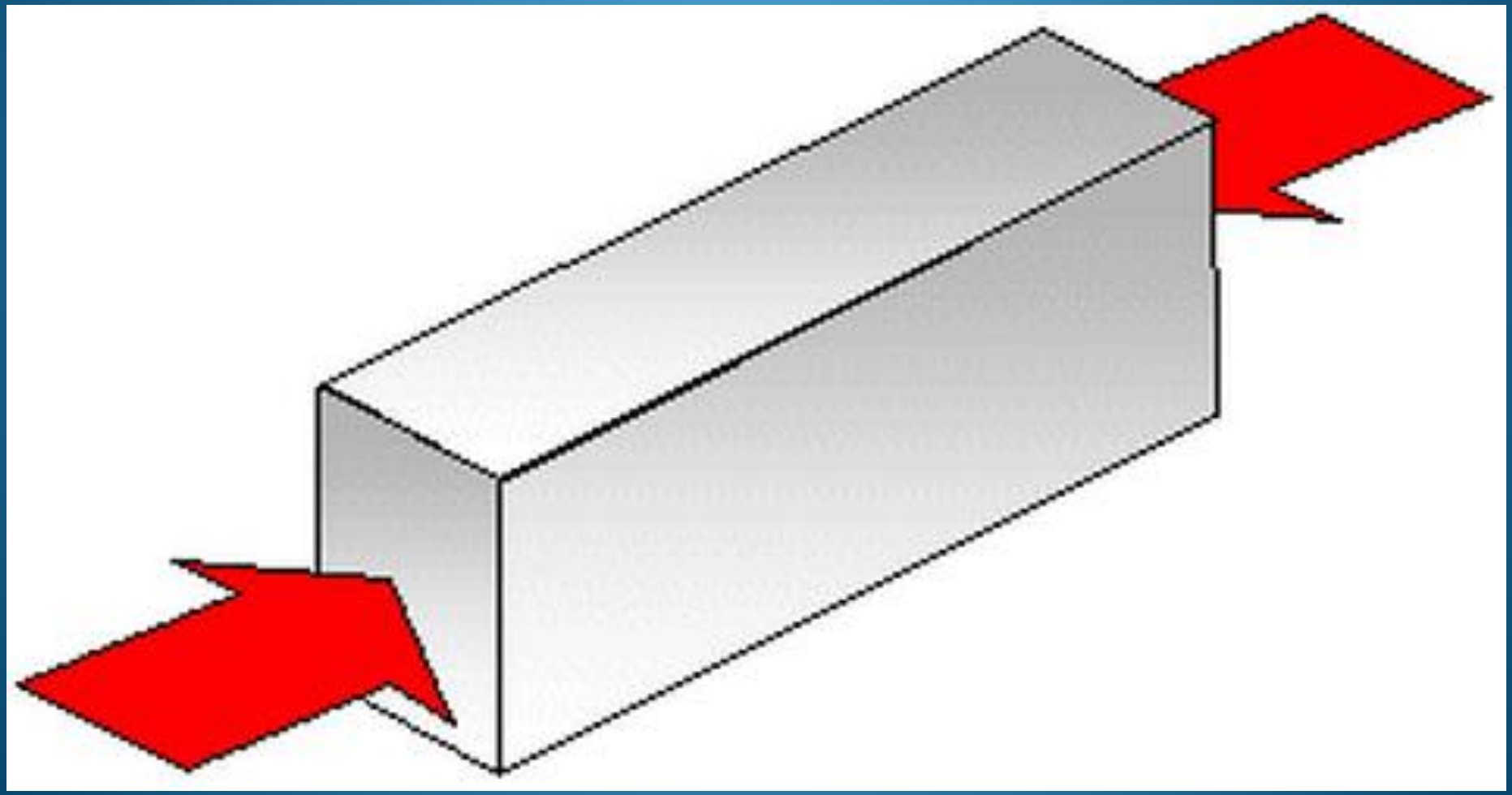
Деформация – изменение формы и размеров образца или его частей в результате деформирования



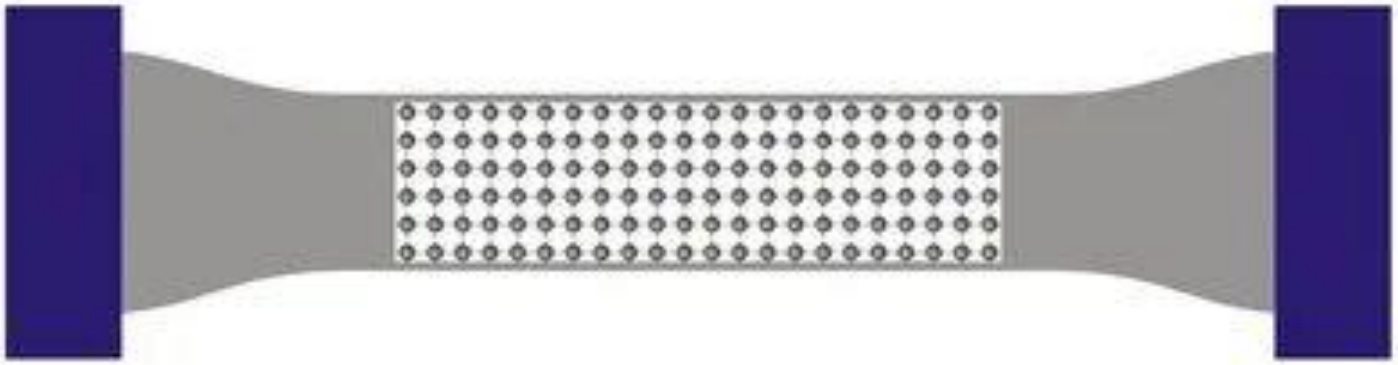
Виды деформации

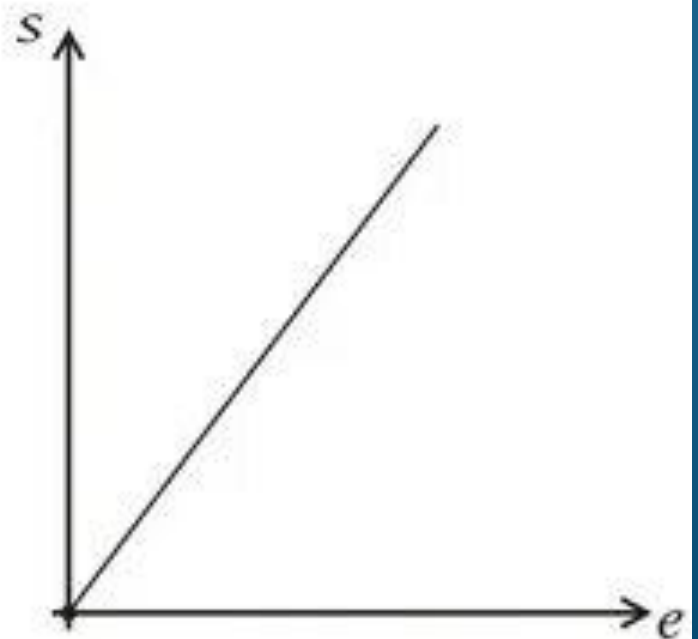
ДЕФОРМАЦИЯ
упругая
деформация, которая исчезает после прекращения действия на тело внешних сил
пластическая
деформация, которая сохраняется после прекращения действия на тело внешних сил

Сжатие



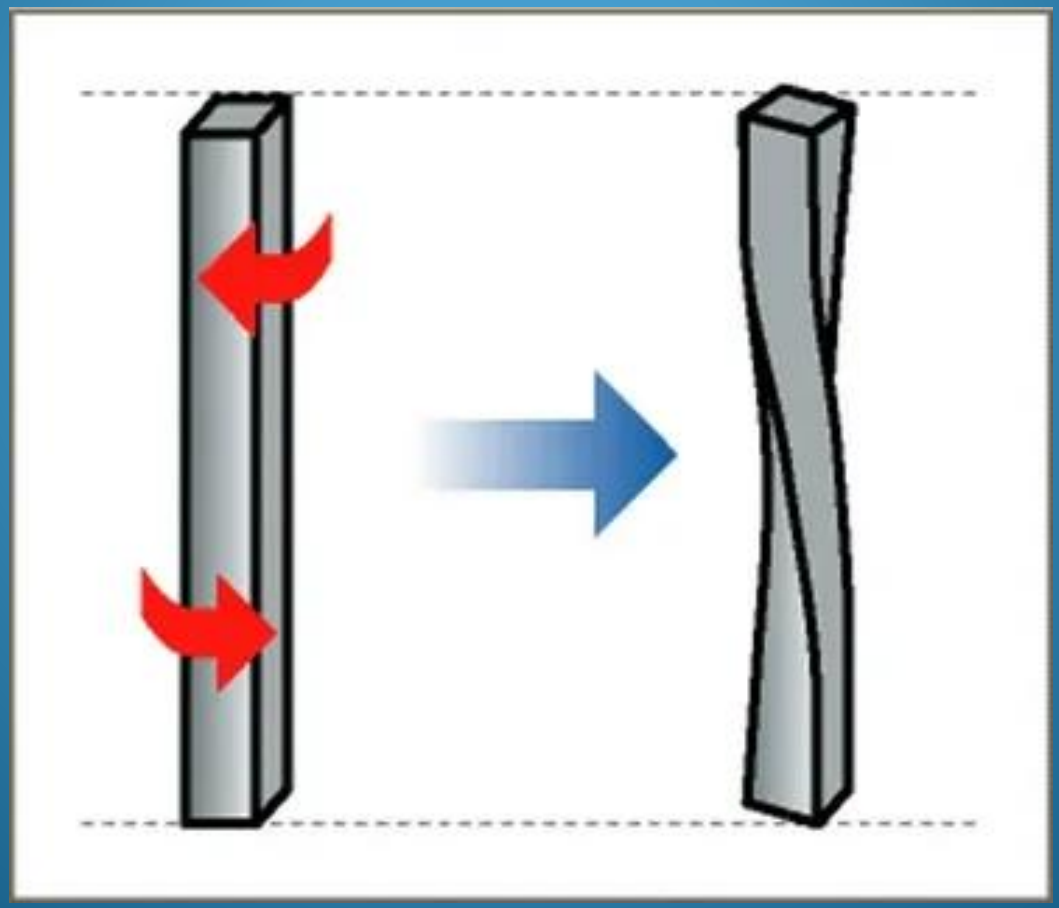
Растяжение



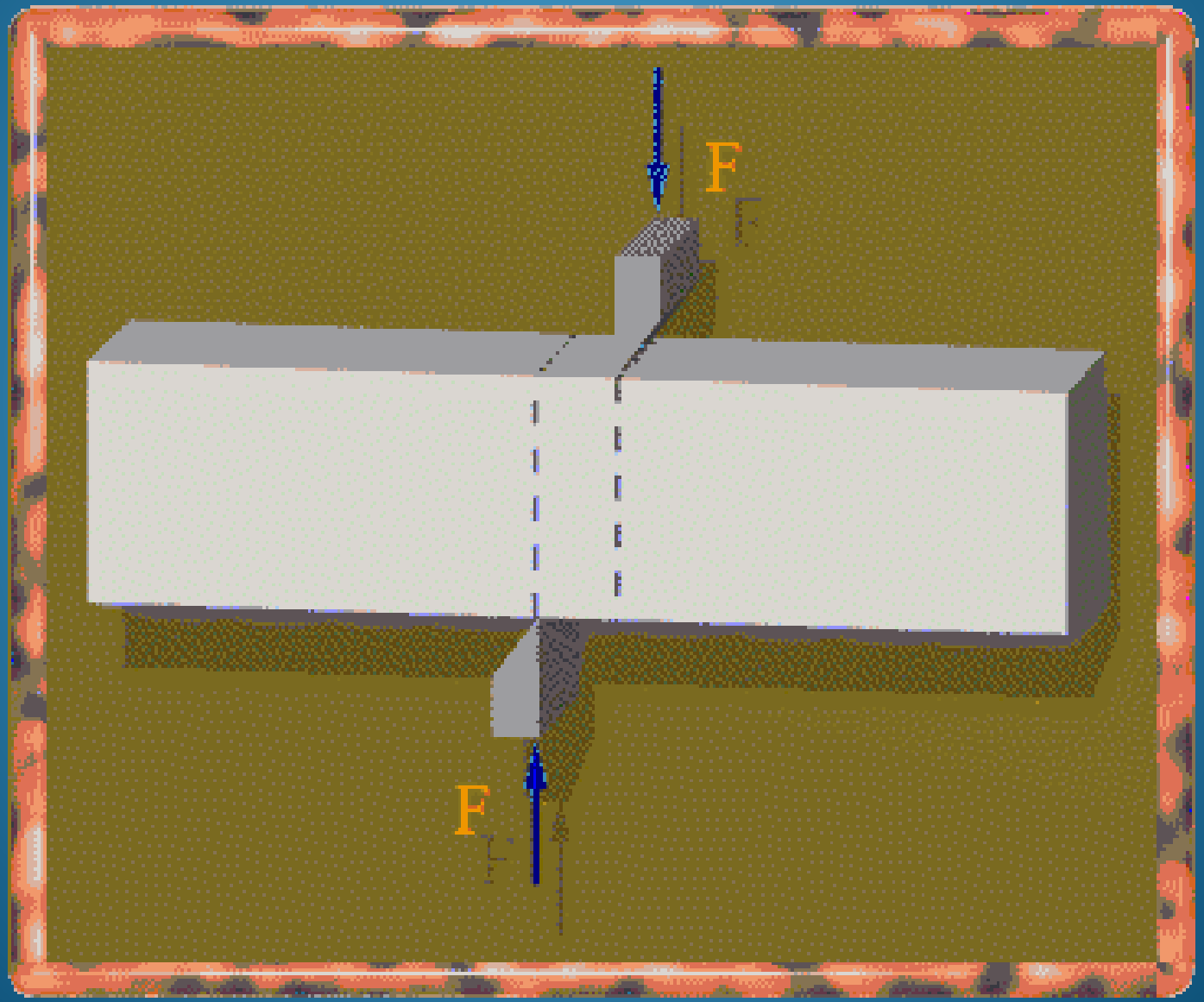


Кручение

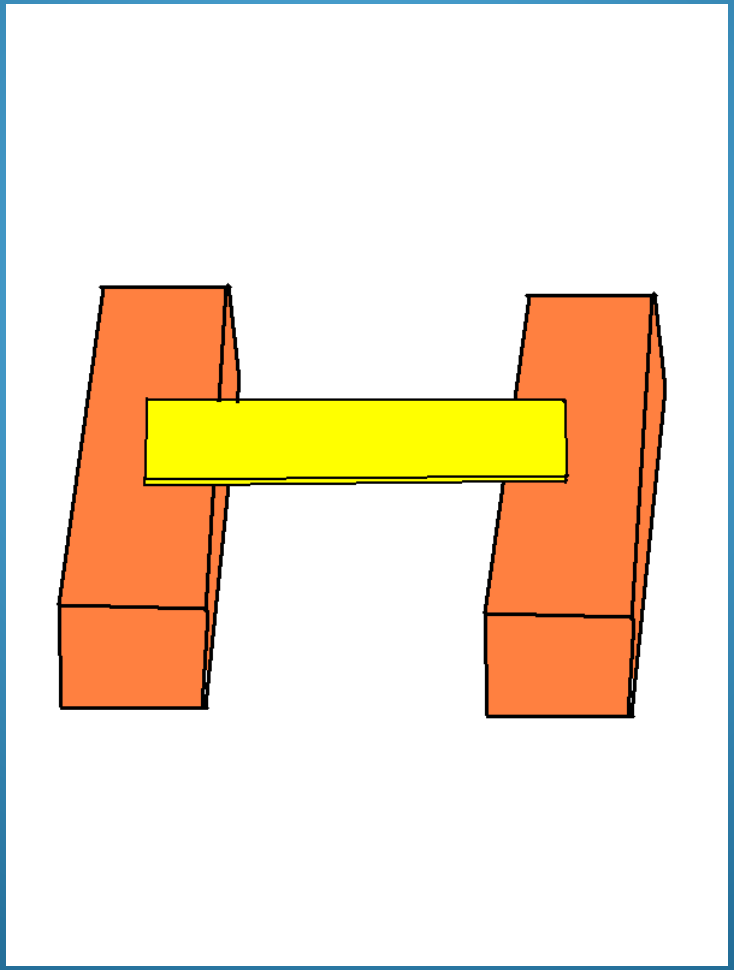
https://avatars.mds.yandex.net/i?id=e057f317ca200d84134ed19261fb1610698d7dd7-8257645-images-thumbs&n=13



Срез



Изгиб



Механические свойства материалов

Механические свойства характеризуют сопротивление материала, деформации, разрушению или особенность его поведения в процессе разрушения

Показатели:

- Прочность;
- Жёсткость (упругость);
- Пластичность;
- Твердость;
- Вязкость.

Прочность-свойство твердого тела сопротивляться необратимому изменению формы и разрушению под действием внешних механических нагрузок

Жёсткость (упругость)-

свойство твердого тела восстанавливать первоначальные

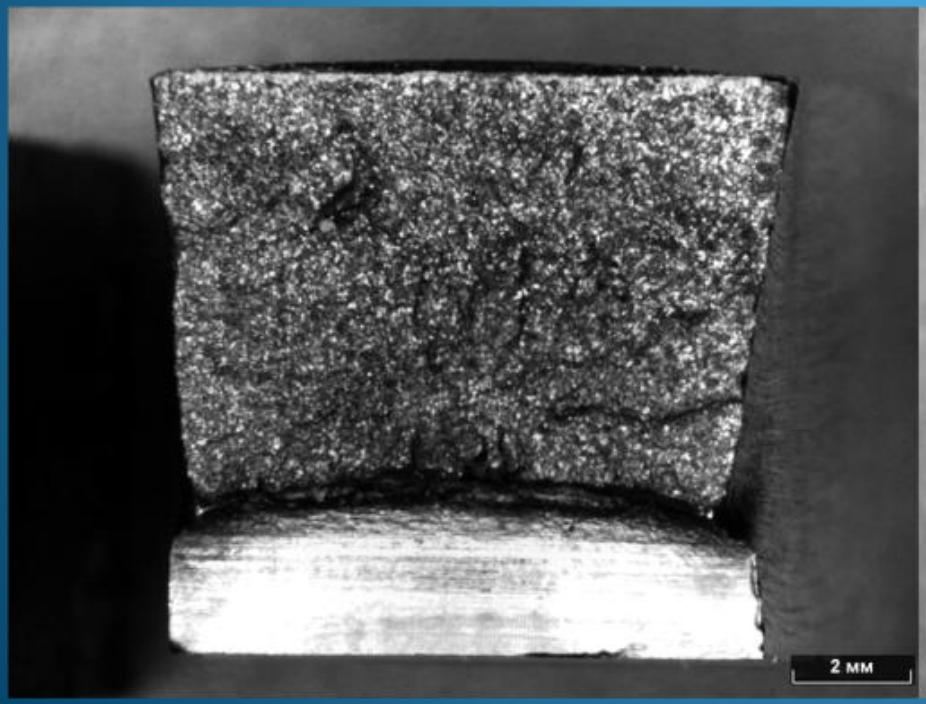
размеры и объем после снятия нагрузки

Пластичность-способность твердого тела претерпевать большую остаточную деформацию без разрушения

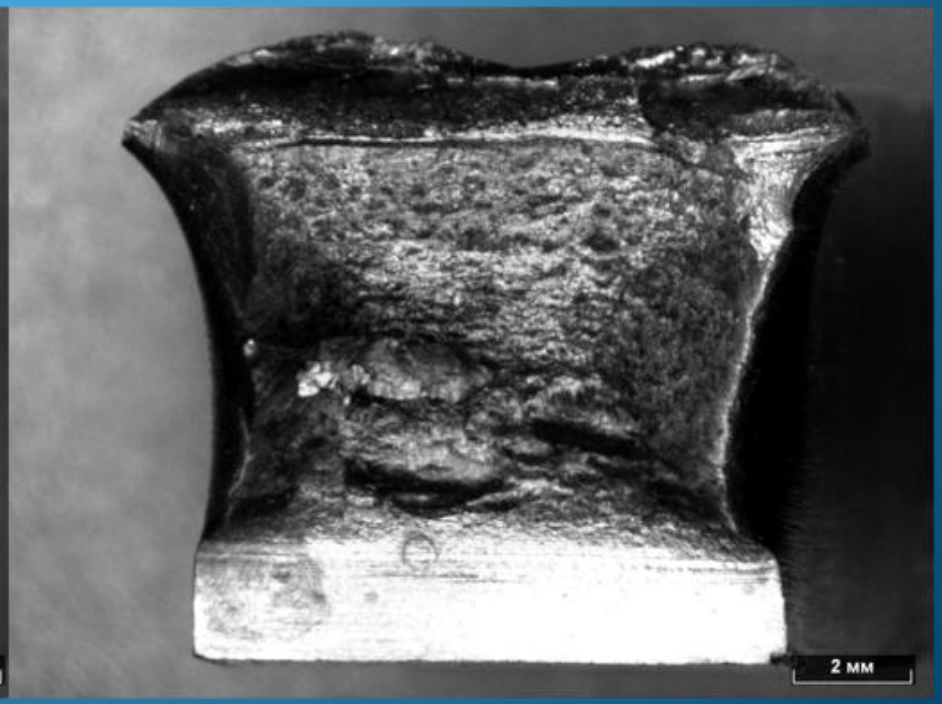
Твердость-свойство твердых тел оказывать сопротивление местной упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в него другого, более твердого тела — индентора

Вязкость-свойство твердого тела необратимо поглощать энергию при пластическом деформировании

Внешний вид изломов после испытания на ударный изгиб



Хрупкий

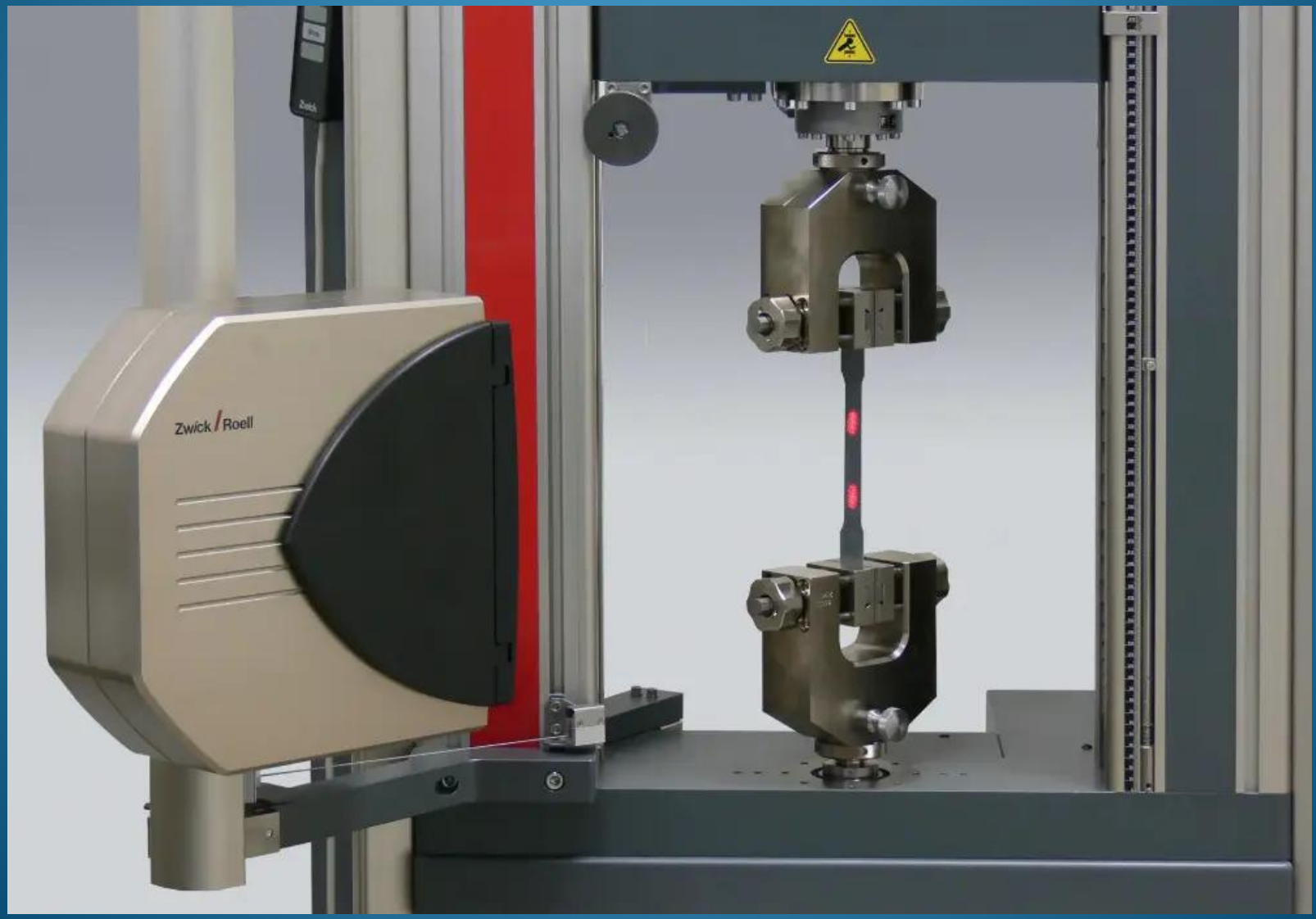


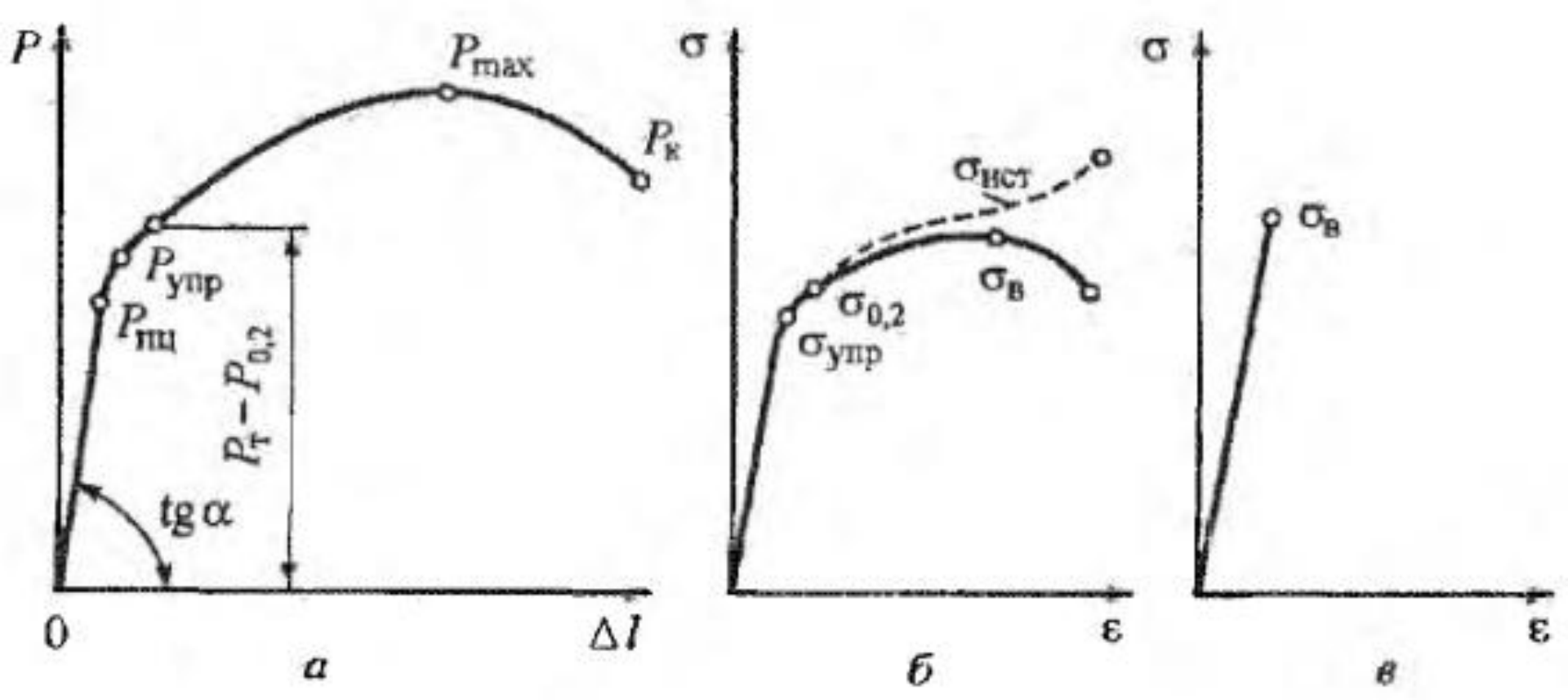
Вязкий

Механические свойства, определяемые при *статических нагрузках:*

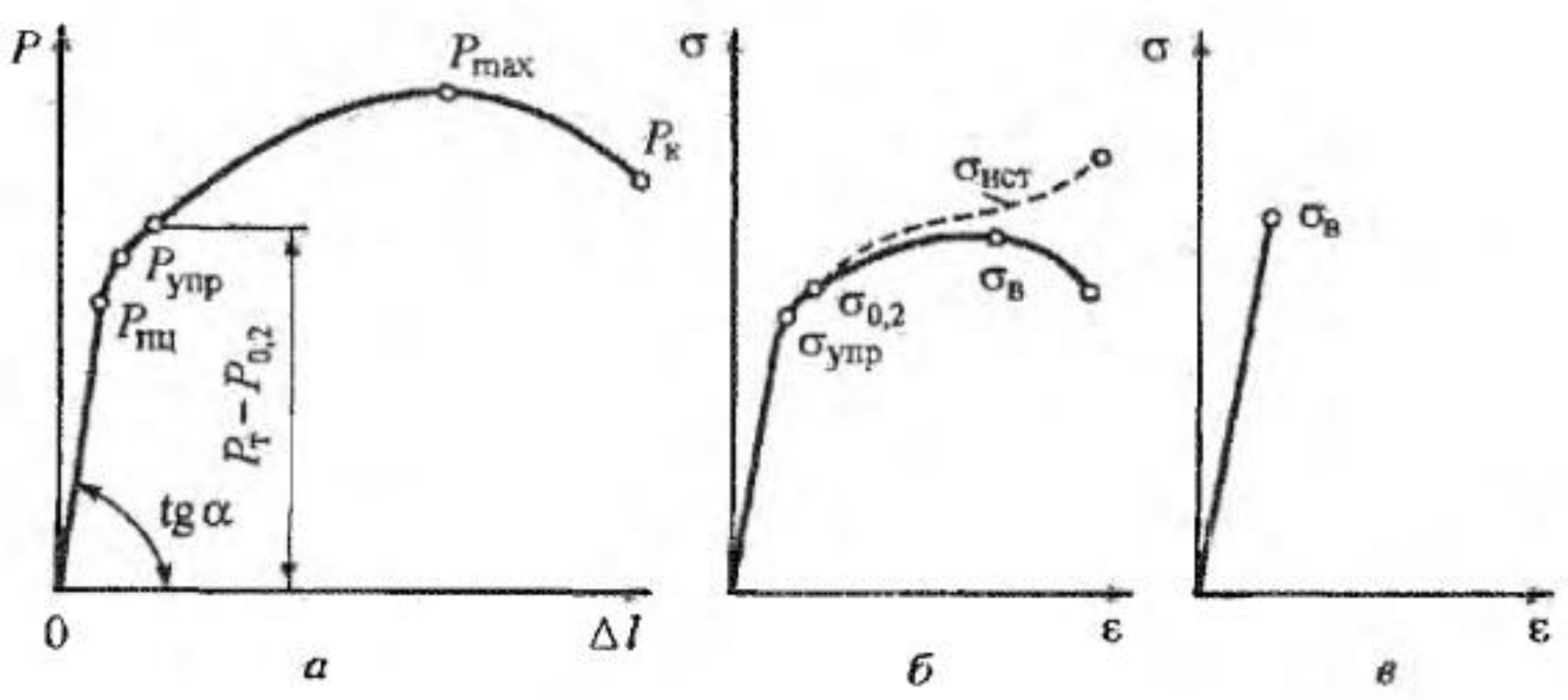
- Растяжение;
- Сжатие;
- Изгиб;
- Кручение;
- Сдвиг или срез.

Испытания на растяжение

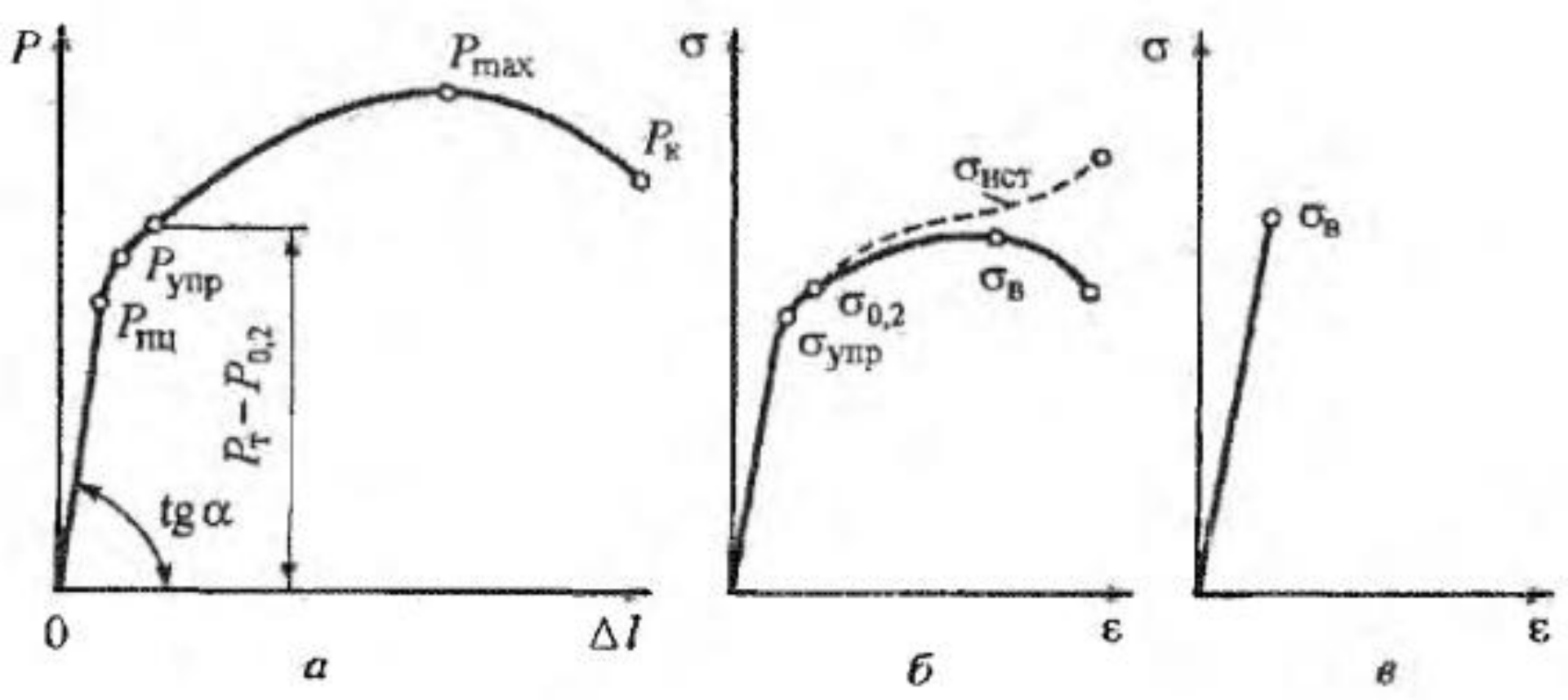




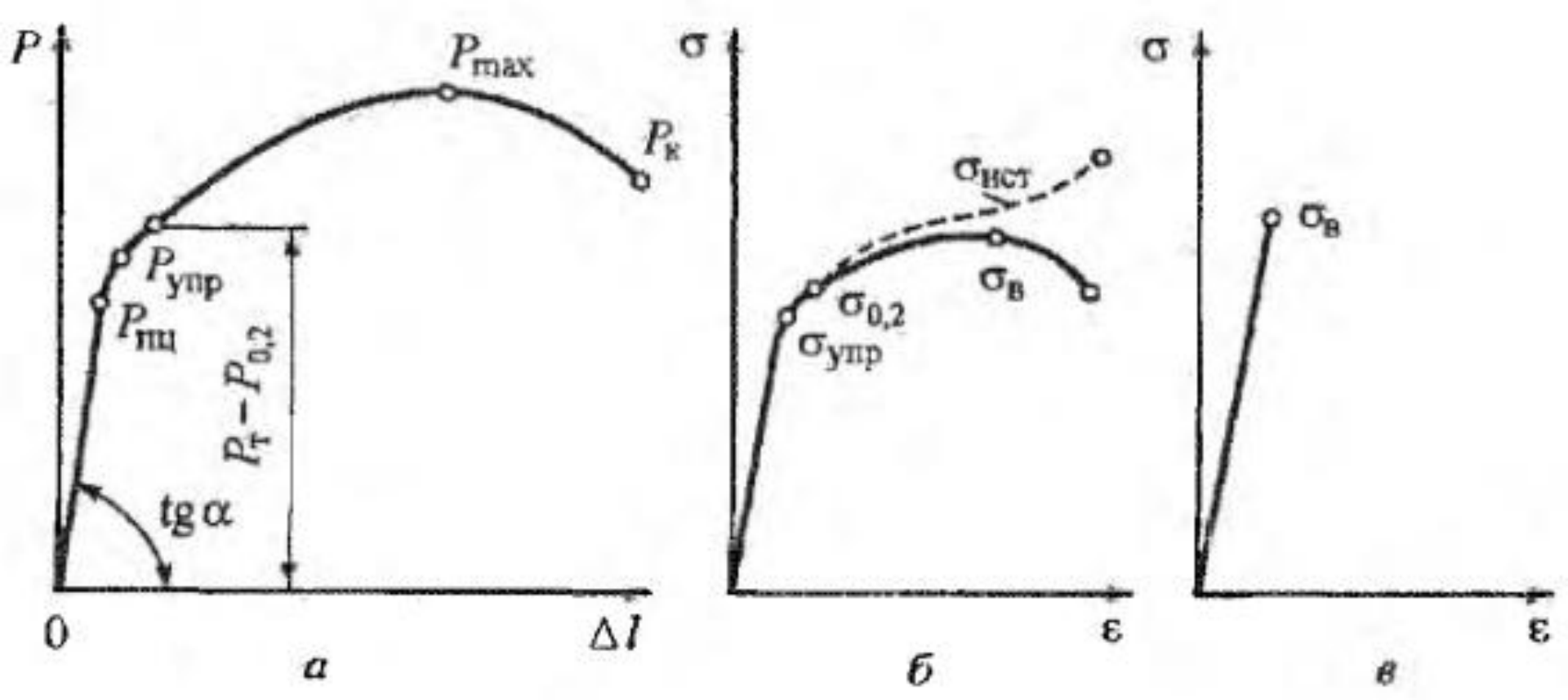
При растяжении стандартных образцов с площадью поперечного сечения *Fo* и рабочей (расчетной) длиной *lo* строят диаграмму растяжения в координатах нагрузка-удлинение образца



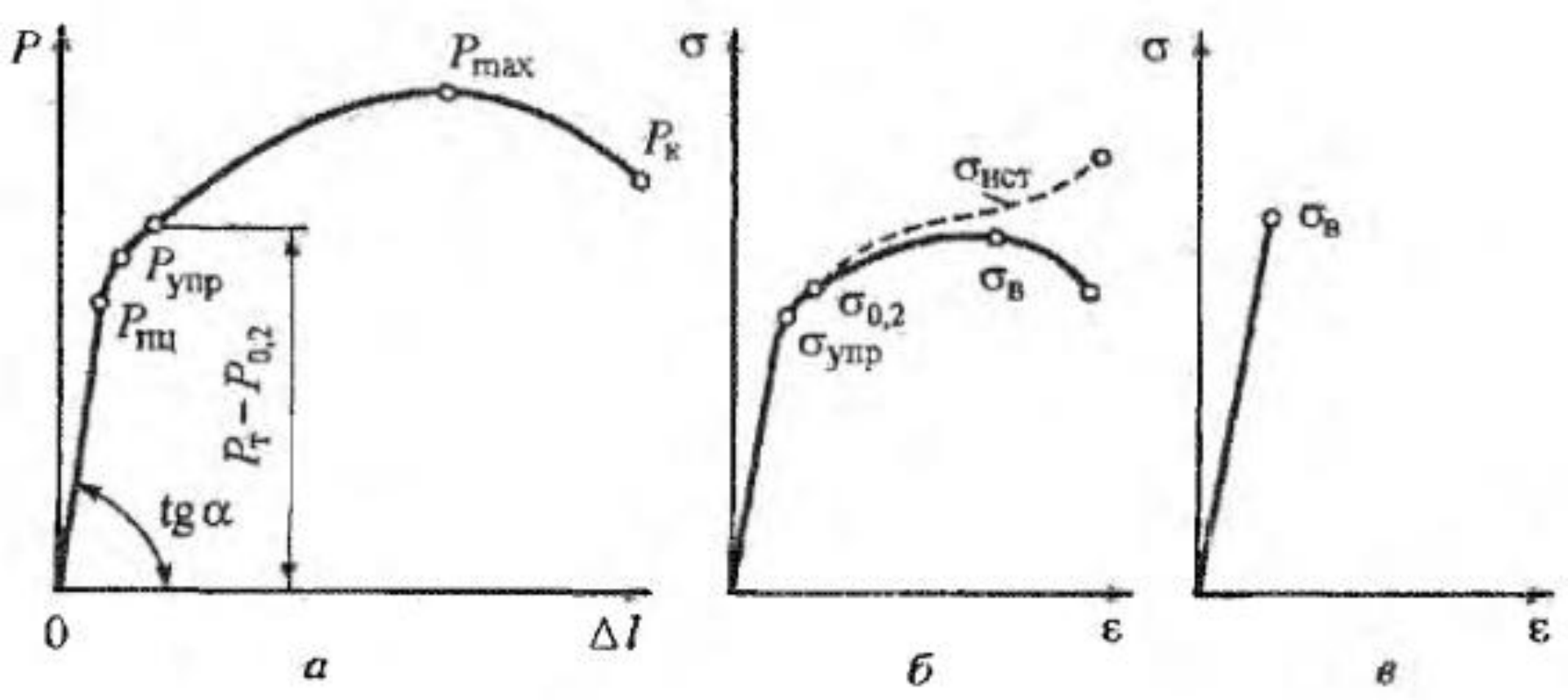
На диаграмме выделяют три участка: упругой деформации до нагрузки *Pупр*; равномерной пластической деформации от *Pупр* до *Pmax* и сосредоточенной пластической деформации от *Pmax* до *Pк*



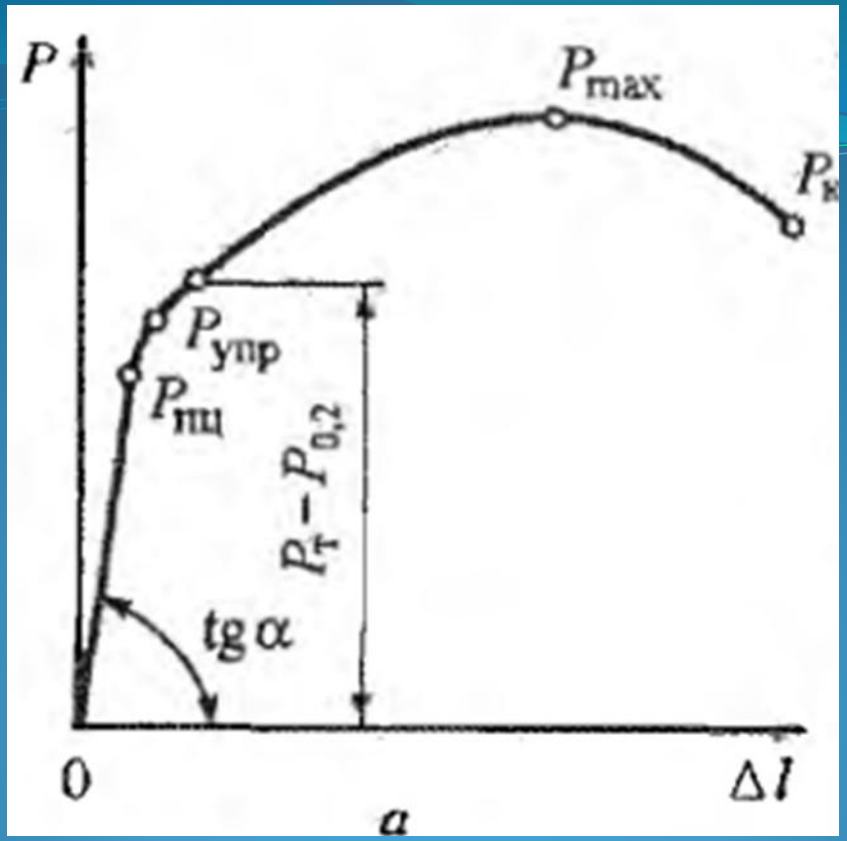
Прямолинейный участок сохраняется до нагрузки, соответствующей пределу пропорциональности *Рпц*. Тангенс угла наклона прямолинейного участка, характеризует модуль упругости первого рода *E*



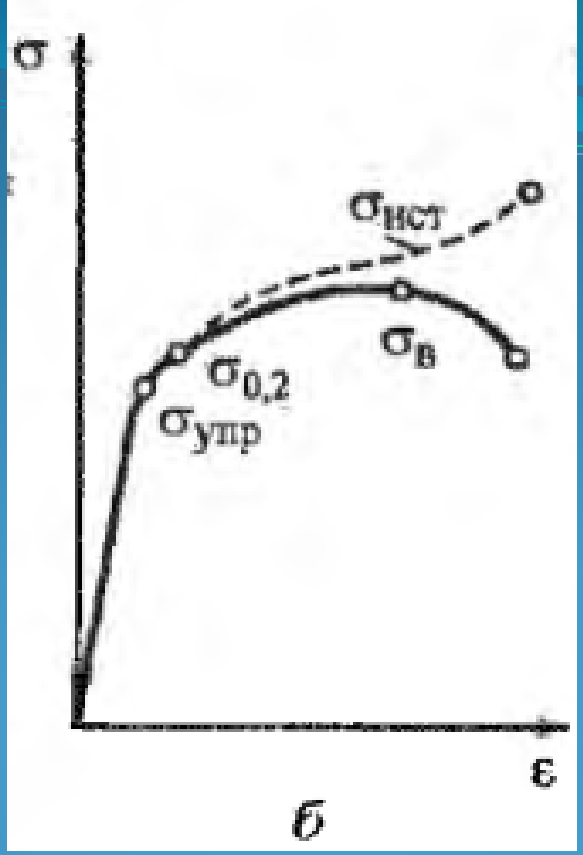
На небольшом участке от *Рпц* до *Рупр* нарушается линейная зависимость между *P* и *Δl* из-за упругих несовершенств материала, связанных с дефектами решетки



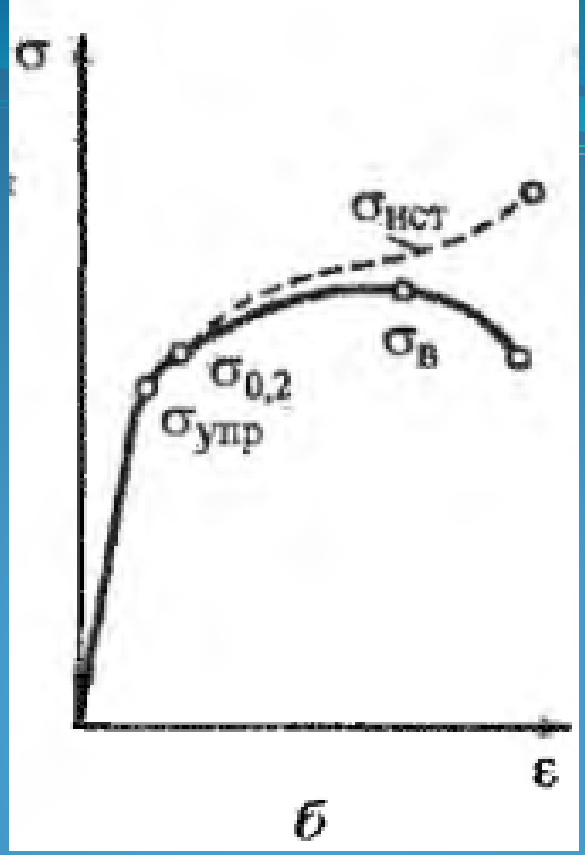
Пластическое деформирование выше *Рупр* идет при возрастающей нагрузке, так как металл в процессе деформирования упрочняется. Упрочнение металла при деформировании называется *наклепом*



Наклеп металла увеличивается до момента разрыва, образца, хотя растягивающая нагрузка при этом уменьшается от *Pmax* до *Pк*



Это объясняется появлением в образце местного утонения-шейки, в которой в основном сосредотачивается пластическая деформаций



Несмотря на уменьшение нагрузки, растягивающие напряжения в шейке повышаются до тех пор, пока образец не разорвется. Об этом свидетельствует диаграмма истинное напряжение-деформация

При растяжении образец удлиняется, а его поперечное сечение непрерывно уменьшается. Истинное напряжение определяется делением действующей в определенный момент нагрузки на площадь, которую образец имеет в этот момент

Истинные напряжения в повседневной практике не определяют, а пользуются условными напряжениями, считая, что поперечное сечение *Eo* образца остается неизменным

Напряжения $\sigma_{упр}$, $\sigma_т$ и $\sigma_в$ – стандартные характеристики прочности. Каждая получается делением соответствующей нагрузки *Рупр*, $P_т$ и *Рmax* на начальную площадь поперечного сечения *Ео*

Пределом упругости $\sigma_{упр}$ называют напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданного значения, установленного условиями

Обычно используют значения остаточной деформации 0,005; 0,02 и 0,05 %. Соответствующие пределы упругости обозначают $\sigma_{0,005}$, $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,05}$

Предел упругости - важная характеристика пружинных материалов, которые используют для упругих элементов приборов и машин

Условный предел текучести - это напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2%; его обозначают $\sigma_{0,2}$

Физический предел текучести

$\sigma_т$ определяют по диаграмме растяжения, когда на ней имеется площадка текучести. Однако при испытаниях на растяжение большинства сплавов площадки текучести на диаграммах нет

Выбранная пластическая деформация 0,2 % достаточно точно характеризует переход от упругих деформаций к пластическим, а напряжение в $\sigma_{0,2}$ несложно определить при испытаниях независимо от того, имеется или нет площадка текучести на диаграмме растяжения

Временное сопротивление

характеризует максимальную несущую способность материала, его прочность, предшествующую разрушению

$$\sigma_в = P_{max}/F_0$$

Пластичность характеризуется относительным удлинением δ и относительным сужением ψ:

$$\delta = [(l_K - l_0)/l_0] \cdot 100\%;$$

$$\psi = [(F_0 - F_K)/F_0] \cdot 100\%,$$

где l_K - конечная длина образца;

l_0 и F_0 - начальные длина и площадь поперечного сечения образца;

F_K - площадь поперечного сечения в месте разрыва.

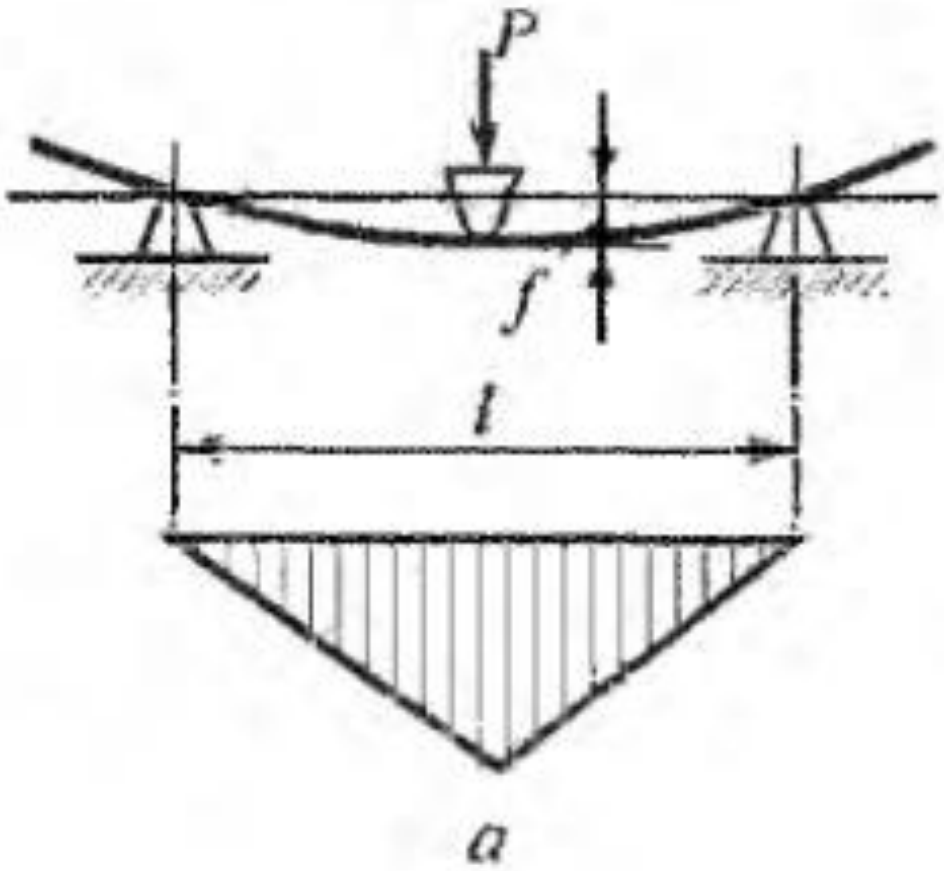
Допустимое напряжение, которое используют в расчетах, выбирают меньше $\sigma_{0,2}$ (обычно в 1,5 раза) или меньше $\sigma_в$(в 2,4 раза)

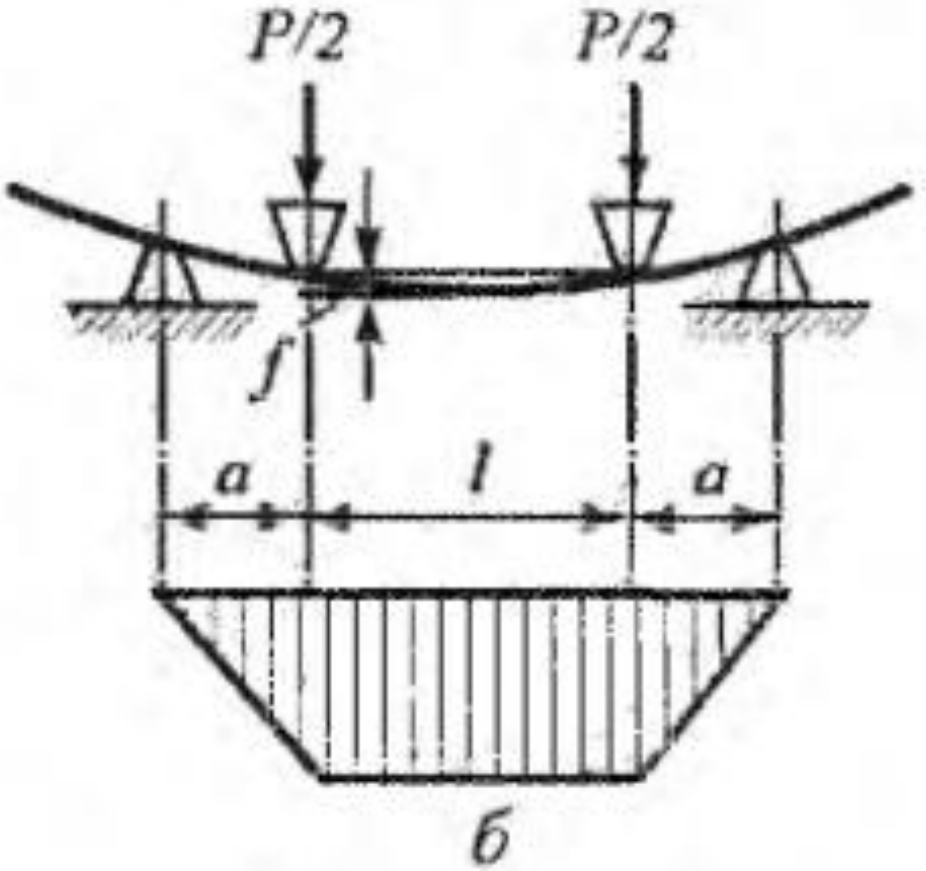
Для малопластичных материалов испытания на растяжения вызывают значительные затруднения. Незначительные перекосы при установке образца, вносят существенную погрешность в определение разрушающей нагрузки. Такие материалы, как правило, подвергают испытанию на изгиб

Испытания на изгиб

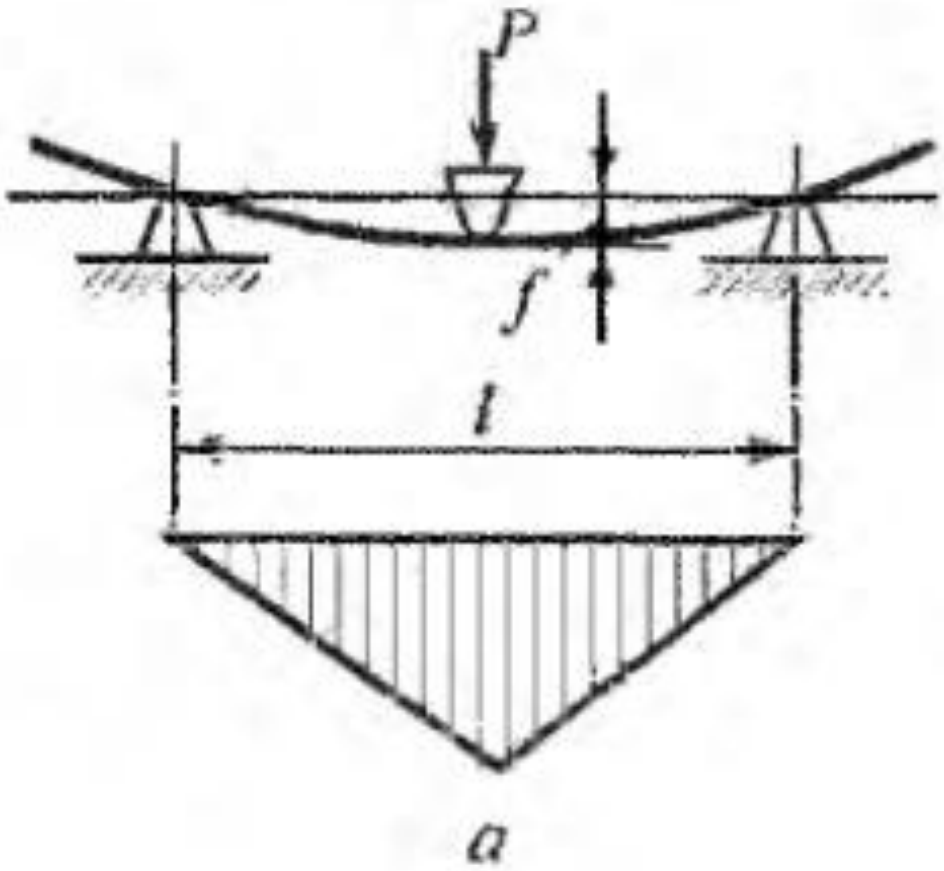
При испытании на, изгиб в образце возникают как растягивающие, так и сжимающие напряжения. По этой причине изгиб - более мягкий способ нагружения, чем растяжение

На изгиб испытывают малопластичные материалы: чугуны, инструментальные стали, стали после поверхностного упрочнения, керамику





Испытания проводят на, образцах большой длины (l:h ≥ 10) цилиндрической или прямоугольной формы, которые устанавливают на две опоры



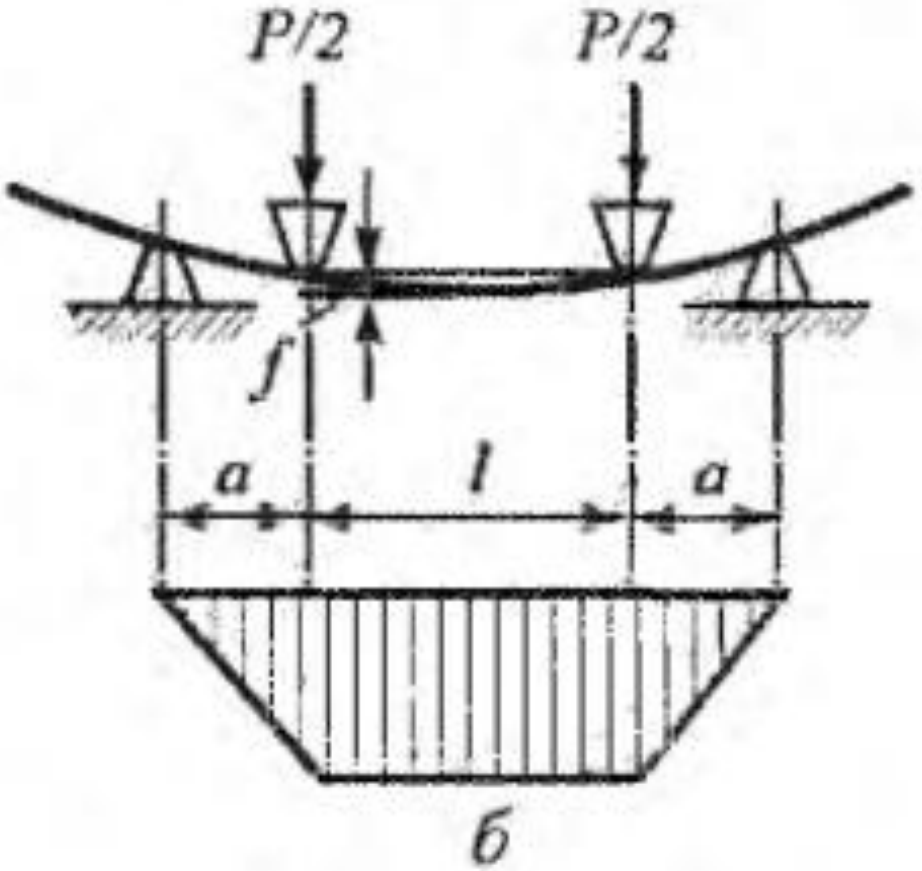


Схема испытаний на сосредоточенный (а) и чистый (б) изгиб

Определяемыми характеристиками служат, предел прочности и стрела прогиба

Предел прочности при изгибе:

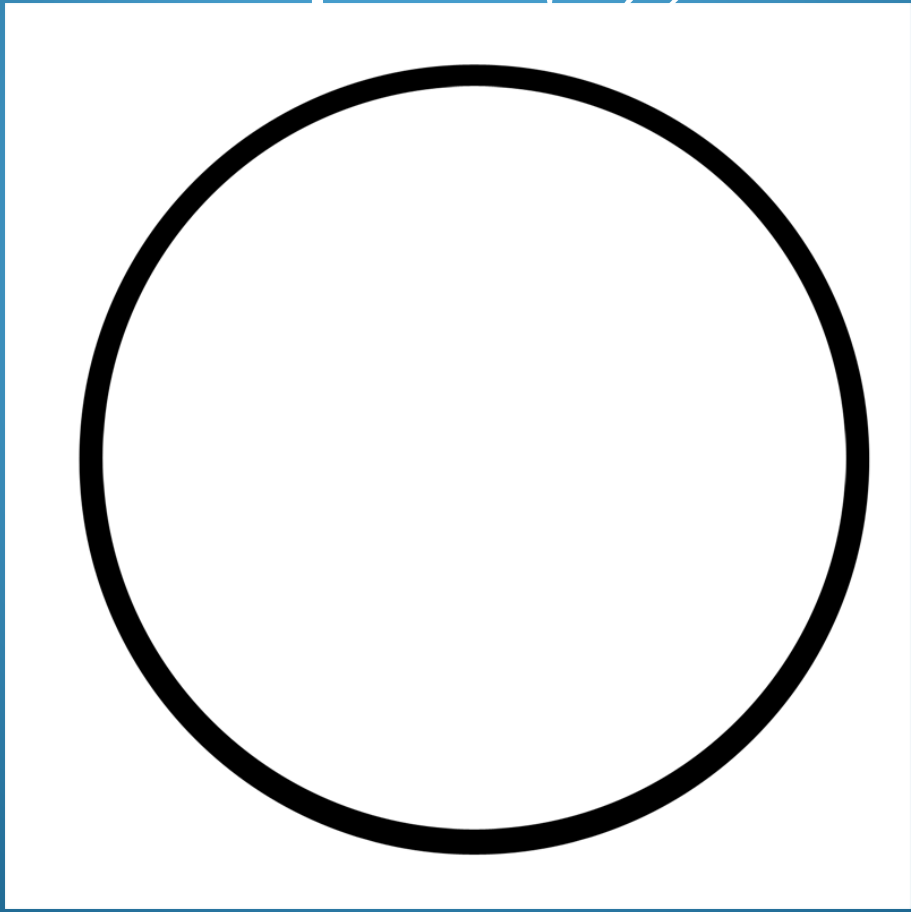
$$\sigma_{и} = M/W,$$

где M – наибольший изгибающий момент;

W – момент сопротивления сечения

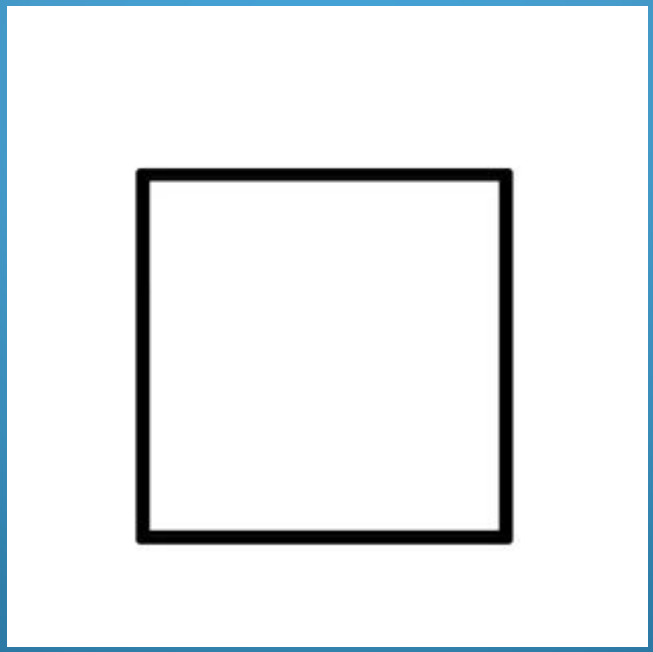
Для образцов круглого сечения:

$W = \pi d^2/32$ (где d – диаметр образца);



Для образцов прямоугольного сечения:

$W = bh^2/6$ (где b $и$ h – ширина и высота образца образца)



Для пластичных материалов испытания на изгиб не применяют, так как образцы изгибаются без разрушения до соприкосновения обоих концов

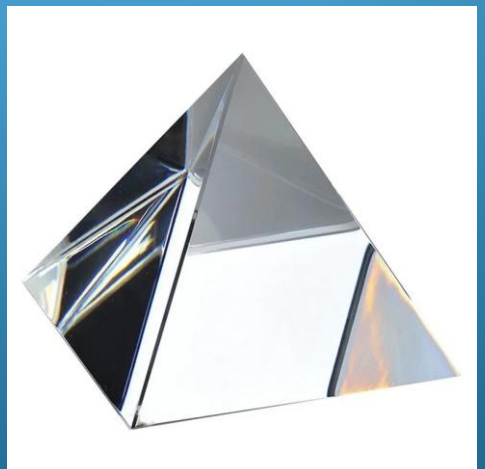
Испытания на твердость

Под твердостью понимается способность материала сопротивляться внедрению в его поверхность твердого тела - индентора

В качестве индентора, используют закаленный стальной шарик или алмазный наконечник в виде конуса или пирамиды

закаленный стальной шарик

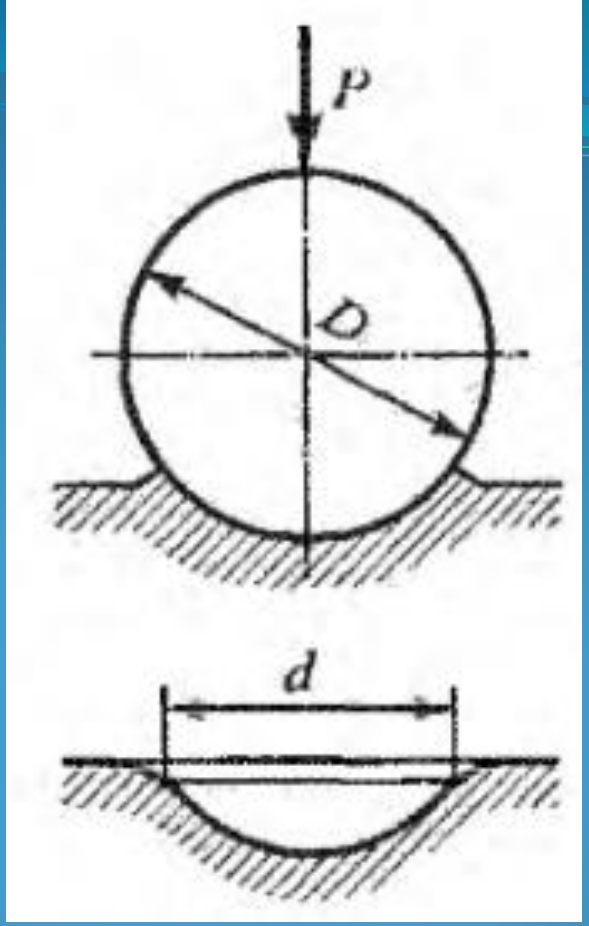
алмазный наконечник в виде конуса



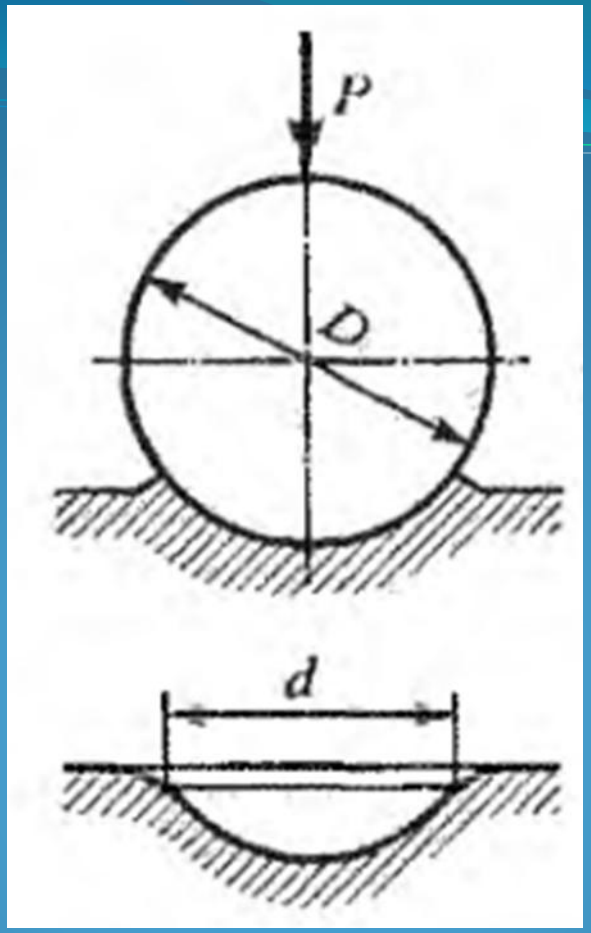
алмазный наконечник в виде пирамиды

Твердость по Бринеллю

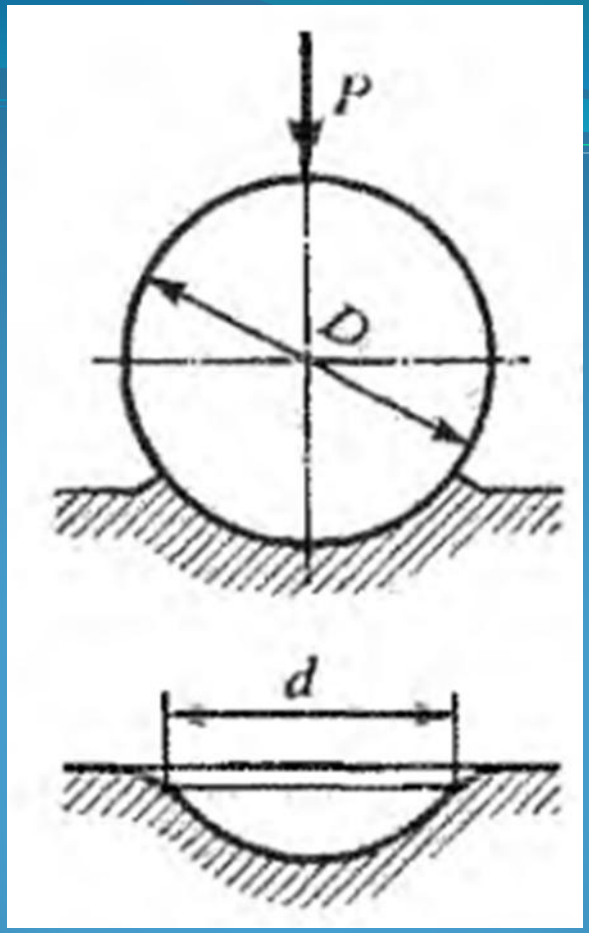
При этом стандартном (ГОСТ 9012-59) методе измерения твердости в поверхность образна вдавливают закаленный стальной шарик диаметром 10; 5 или 2,5 мм при действии нагрузки от 5000 Н до 30000 Н



После снятия нагрузки на поверхности образуется отпечаток в виде сферической лунки диаметром *d*



Диаметр лунки измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями



Число твердости по Бринеллю *НВ* определяют путем деления нагрузки *Р* на площадь поверхности сферического отпечатка:

Число твердости по Бринеллю HB определяют путем деления нагрузки P на площадь поверхности сферического отпечатка:

$$HB = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)},$$

где D - диаметр вдавливаемого шарика, мм

Число твердости по Бринеллю по ГОСТ 9012-59 записывают без единиц измерения

На практике при измерении твердости расчет по указанной выше формуле не производят, а используют заранее составленные таблицы, указывающие значение *HB* в зависимости от диаметра отпечатки и выбранной нагрузки. Чем меньше диаметр отпечатка, тем выше твердость

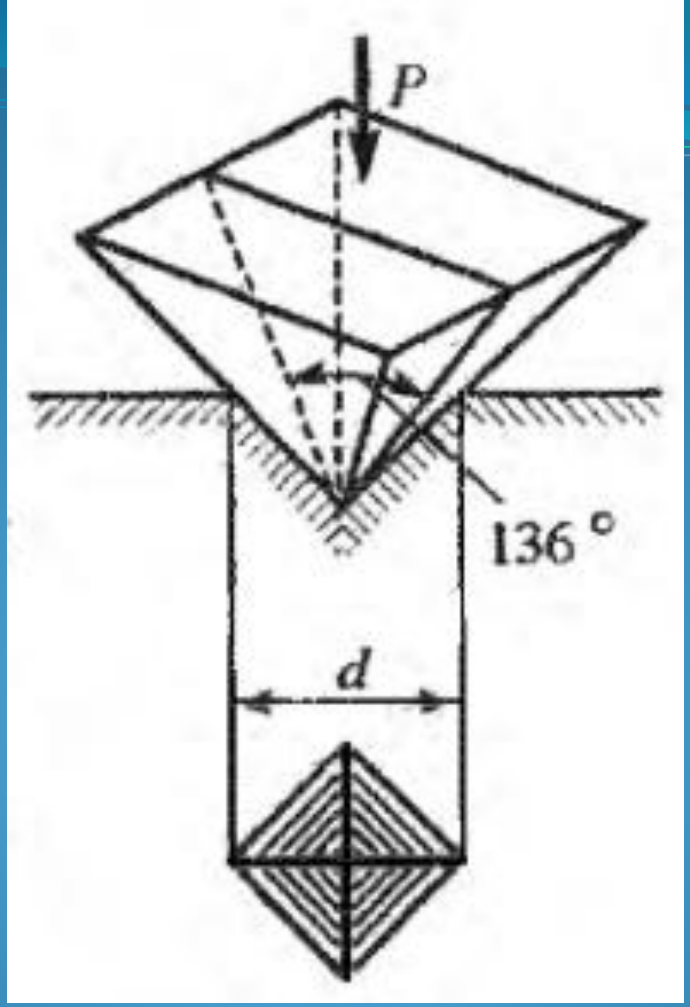
Твердость	Твердость НВ			Твердость HR по шкале			Твердость	Твердость НВ			Твердость HR по шкале		
	Диаметр отпечатка, мм	НВ при испытании стандартным стальным шариком	НВ при испытании шариком из карбида вольфрама	C	A	B		Диаметр отпечатка, мм	НВ при испытании стандартным стальным шариком	НВ при испытании шариком из карбида вольфрама	C	A	B
1234	2,20	780	872	72	84	—	228	4,00	229	—	20	61	100
1116	2,25	745	840	70	83	—	222	4,05	223	—	19	60	99
1022	2,30	712	812	68	82	—	217	4,10		—	17	60	98
941	2,35	682	794	66	81	—	213	4,15	212	—	15	59	97
868	2,40	673	760	64	80	—	208	4,20	207	—	14	59	95
804	2,45	627	724	62	79	—	201	4,25	201	—	13	58	94
746	2,50	601	682	60	78	—	197	4,30	197	—	12	58	93
694	2,55	578	646	58	78	—	192	4,35	192	—	11	57	92
650	2,60	555	614	56	77	—	186	4,40	187	—	9	57	92
606	2,65	534	578	54	76	—	183	4,45	183	—	8	56	90
587	2,70	514	555	52	75	—	178	4,50	179	—	7	56	90
551	2,75	495	525	50	74	—	174	4,55	174	—	6	55	89
534	2,80	477	514	49	74		171	4,60	170	—	4	55	88
502	2,85	461	477	48	73	—	166	4,65	167	—	3	54	87
474	2,90	444	460	46	73	—	162	4,70	163	—	2	53	86
460	2,95	429	432	45	72	—	159	4,75	159	—	1	53	85
435	3,00	415	418	43	72	—	155	4,80	156	—	—	—	84
423	3,05	401	401	42	71	—	152	4,85	152	—	—	—	83
401	3,10	388	388	41	71	—	149	4,90	149	—	—	—	82
390	3,15	375	375	40	70	—	148	4,95	146	—	—	—	81
386	3,20	363	364	39	70	—	143	5,00	143	—	—	—	80
361	3,25	352	352	38	69	—	140	5,05	140	—	—	—	79
344	3,30	341	341	36	68	—	138	5,10	137	—	—	—	78
334	3,35	331	330	35	67	—	134	5,15	134	—	—	—	77
320	3,40	321	321	33	67	—	131	5,20	131	—	—	—	76
311	3,45	311	311	32	66	—	129	5,25	128	—	—	—	75
303	3,50	302	302	31	66	—	127	5,30	126	—	—	—	74
292	3,55	293	—	30	65	—	123	5,35	123	—	—	—	73
285	3,60	285	—	29	65	—	121	5,40	121	—	—	—	72
278	3,65	277	—	28	64	—	118	5,45	118	—	—	—	71
270	3,70	269	—	27	64	—	116	5,50	116	—	—		70
261	3,75	262	—	26	63	—	115	5,55	114	—	—	—	68
255	3,80	255	—	25	63	—	113	5,60	111	—	—	—	67
249	3,85	248	—	24	62	—	110	5,65	110	—	—	—	66
240	3,90	241	—	23	62	102	109	5,70	109	—	—	—	65
235	3,95	235	—	21	61	101	108	5,75	107	—	—	—	64

Для них установлена корреляционная связь между временным сопротивлением (в МПа) и числом твердости НВ:

- $\sigma_в \approx 3{,}4\,HB$ - для горячекатаных углеродистых сталей;
- $\sigma_в \approx 4{,}5\,HB$ - для медных сплавов;
- $\sigma_в \approx 3{,}5\,HB$ - для алюминиевых сплавов.

Твердость по Виккерсу

При стандартном методе измерения твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999-75) в поверхность образца вдавливают четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136°



Отпечаток получается в виде квадрата, диагональ которого измеряют после снятия нагрузки

$$HV = 0{,}189\,\frac{P}{d^2},$$

где P в H (*Ньютонах*), d в мм

На практике число твердости определяют по специальным таблицам по значению диагонали отпечатка при выбранной нагрузке

26. Сравнение чисел твердости металлов и сплавов по различным шкалам

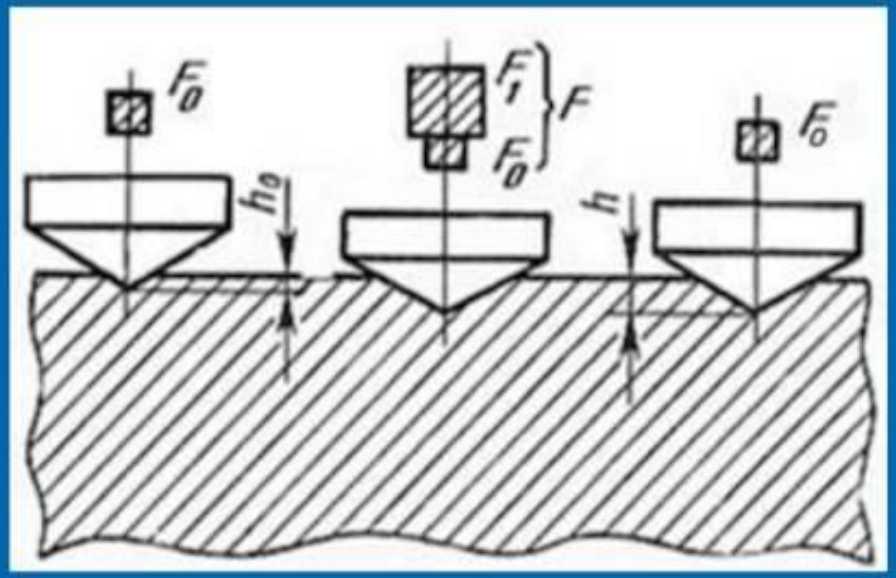
Виккерс HV	Бринелль HB	Роквелл HRB	$\sigma_в$, МПа	Виккерс HV	Бринелль HB	Роквелл HRC	$\sigma_в$, МПа
100	100	52,4	333	245	245	21,2	815
105	105	57,5	350	250	250	22,1	835
110	110	60,9	362	255	255	23,0	855
115	115	64,1	382	260	260	23,9	865
120	120	67,0	402	265	265	24,8	880
125	125	69,8	410	270	270	25,6	900
130	130	72,4	430	275	275	26.4	910
135	135	74.7	450	280	280	27,2	930
140	140	76,6	470	285	285	28.0	950
145	145	78,3	480	290	290	28,8	970
150	150	79.9	500	295	295	29,5	980
155	155	81,4	520	300	300	30,2	1000
160	160	82,8	530	310	310	31,6	1030
165	165	84,2	550	320	319	33,0	1060
170	170	85,6	565	330	328	34,2	1090
175	175	87.0	580	340	336	35,3	1120
180	180	88,3	600	350	344	36,3	1150
185	185	89,5	620	360	352	37,2	1180
190	190	90,6	640	370	360	38,1	1200
195	195	91,7	650	380	368	38,9	1230
200	200	92,8	665	390	376	39,7	1260
205	205	93,8	685	400	384	40.5	1290
210	210	94,8	695	410	392	41,3	1305
215	215	95,7	715	420	400	42,1	1335
220	220	96,6	735	430	408	42,9	1365
225	225	97,5	745	440	416	43,7	1385
230	230	98,4	765	450	425	44,5	1410
235	235	99,2	785	460	434	45,3	1440
240	240	100,0	795	470	443	46,1	1480

Метод Виккерса применяют главным образом для материалов, имеющих высокую твердость, а также для испытания на твердость деталей малых сечений или тонких поверхностных слоев

Как правило, используют небольшие нагрузки: 10, 30, 50, 100, 200, 500 Н. Чем тоньше сечение детали или исследуемый слой, тем меньше выбирают нагрузку

Числа твердости по Виккерсу и по Бринеллю для материалов, имеющих твердость до 450 НВ, практически совпадают

Твёрдость по Роквеллу



Индентор	Алмазный конус с углом при вершине 120°. стальной закаленный шарик диаметром 1,588
Прибор для измерения	**ТК**
Обозначение твердости	**HRC** **HRA** **HRB**

Этот метод измерения твердости (ГОСТ 9013-59) наиболее универсален и наименее трудоемок. Здесь не нужно измерять размеры отпечатка, так как число твердости отсчитывают непосредственно по шкале твердомера

Число твердости зависит от глубины вдавливания наконечника, в качестве которого используют алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной шарик диаметром 1,588 мм

Нагрузку выбирают в зависимости от материала наконечника. Для различных комбинаций нагрузок и наконечников прибор Роквелла имеет три измерительных шкалы:

A, B, C

Твердость по Роквеллу обозначают цифрами, определяющими уровень твердости, и буквами HR с указанием шкалы твердости, например:

70 HRA, 58 HRC, 50 HRB

Шкала А (наконечник - алмазный конус, общая нагрузка 600 Н). Эту шкалу применяют для особо твердых материалов, для тонких листовых материалов или тонких (0,5 - 1,0 мм) слоев

Измеренную твердость обозначают HRA. Пределы измерения твердости па этой шкале 70 —85

Шкала В (наконечник - стальной шарик, общая нагрузка 1000 Н). По этой шкале определяют твердость сравнительно мягких материалов (< 400 НВ). Пределы измерения твердости по шкале *В* 25 - 100

Шкала С (наконечник - алмазный конус, общая нагрузки 1500 Н). Эту шкалу используют для твердых материалов (> 450 НВ), например закаленных сталей

Измеренную твердость обозначают HRC. Пределы измерения твердости по этой шкале 20 - 67

Числа твердости по Роквеллу не имеют точных соотношений с числами твердости но Бринеллю и Виккерсу

Микротвердость. Метод стандартизован (ГОСТ 9450-76). Микротвердость определяют вдавливанием в поверхность образца алмазной пирамиды при небольших нагрузках (0,05 – 5 Н) и измерением диагонали отпечатка

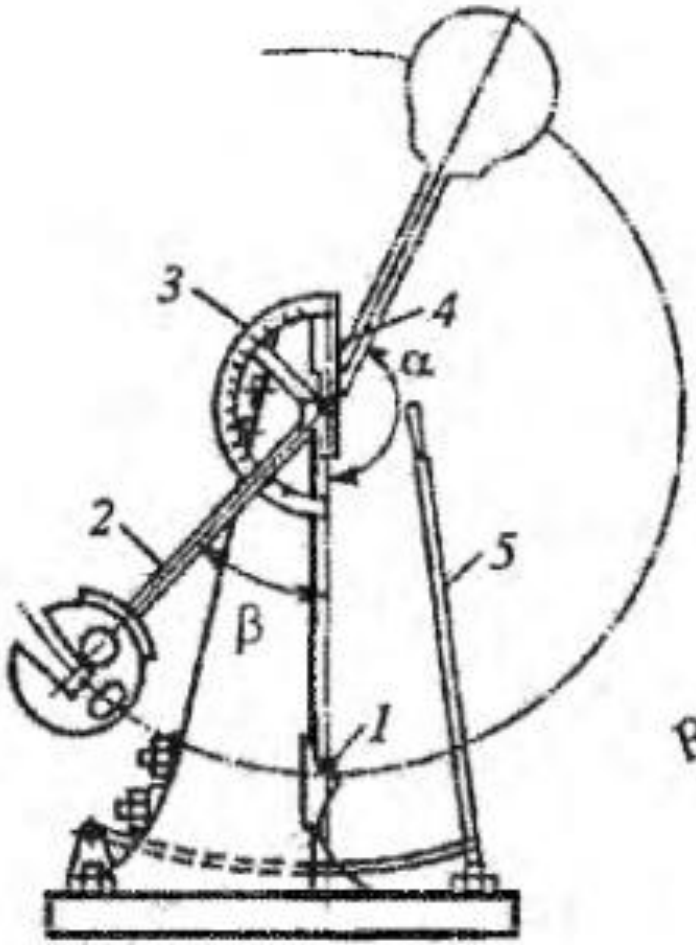
Число твердости H определяют по той же формуле, что и вычисление числа твердости по Виккерсу. Методом определения микротвердости оценивают твердость отдельных зерен, структурных составляющих, тонких слоев или тонких деталей

Механические свойства, определяемые при динамических нагрузках

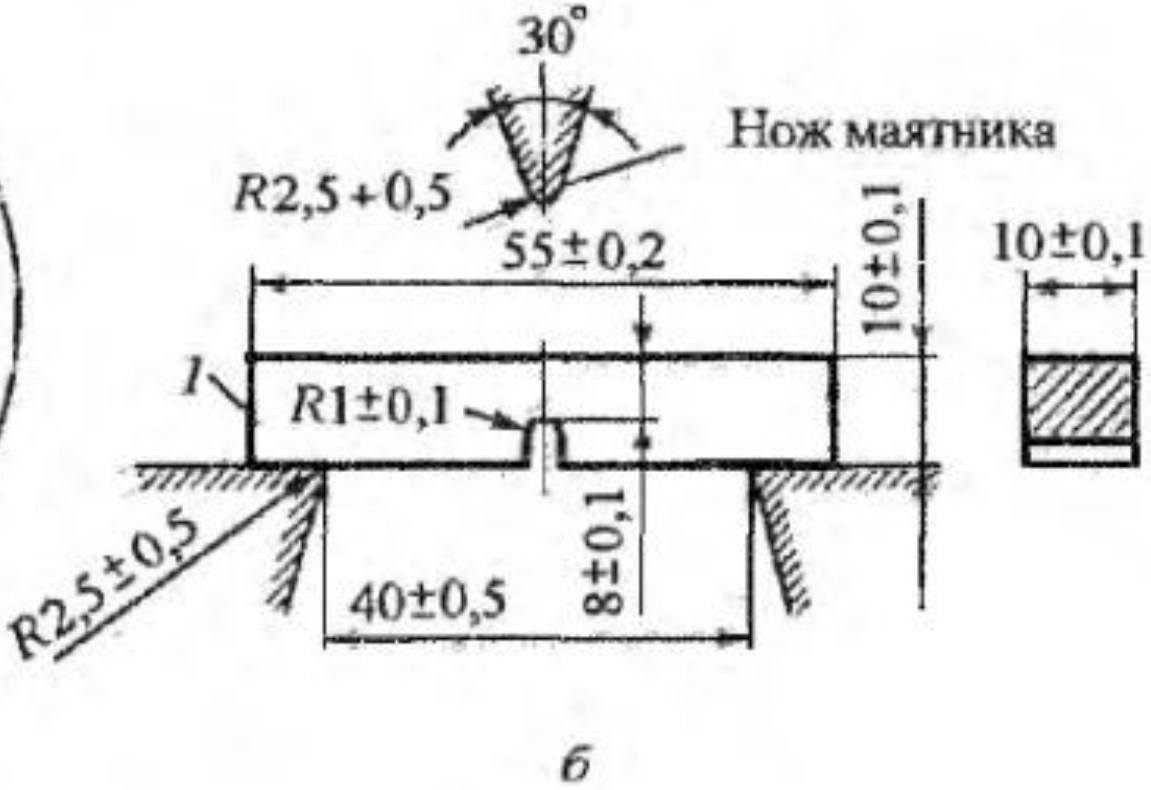
При работе деталей машин возможны динамические нагрузки, при которых многие металлы проявляют склонность к хрупкому разрушению. Опасность разрушения усиливают надрезы - концентраторы напряжений

Для оценки склонности металла, к хрупкому разрушению под влиянием этих факторов проводят динамические испытания на ударный изгиб на маятниковых копрах

маятниковая копра

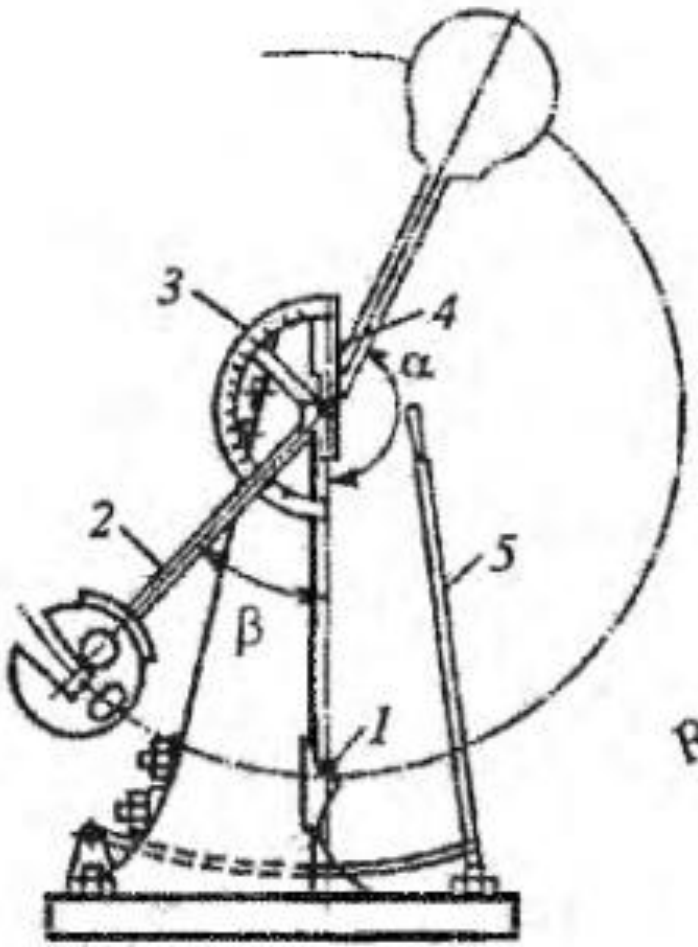


а

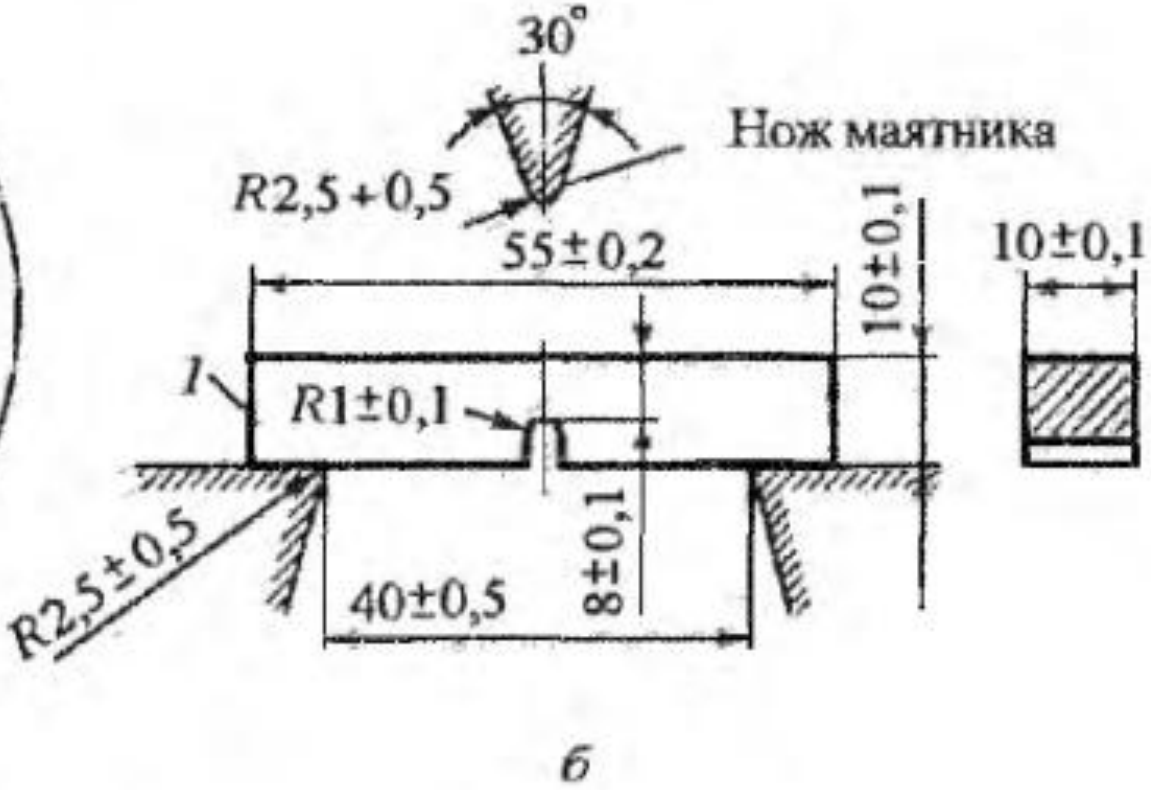


б

Схема маятникова копра (а) и испытаний под удар (б): 1 - образец; 2 - маятник; 3 - шкала; 4 - стрелка шкалы; 5 - тормоз



а



б

Стандартный образец устанавливают на две опоры и посредине наносят удар, приводящий к разрушению образца

По шкале маятникового копра определяют работу *K*, затраченную на разрушение, и рассчитывают основную характеристику, получаемую в результате этих испытаний - ударную вязкость:

$$KC = \frac{K}{S_0'}, \text{МДж/м}^2$$

где S_0' — площадь поперечного сечения образца в месте надреза

В соответствии с ГОСТ 9454 - 78 предусмотрены испытания образцов с концентратором напряжений трех видов: *U* - образным (радиус надреза *r* = 1 мм); *V* - образным (r = 0,25 мм) и *T* - образным (трещина усталости, созданная в основании надреза)

Соответственно ударную вязкость обозначают:

KCU, KCT, KCV

Основным критерием ударной вязкости является KCU. Она состоит из двух составляющих:

$$KCU = KC_З + KC_p,$$

где $KC_З$ — работа зарождения трещины;

$KC_p \approx KCT$ — работа распространения трещины

Чем острее надрез, тем меньше KC_3. Критерий KCT является критерием трещиностойкости, оценивающим сопротивление материала распространению трещины

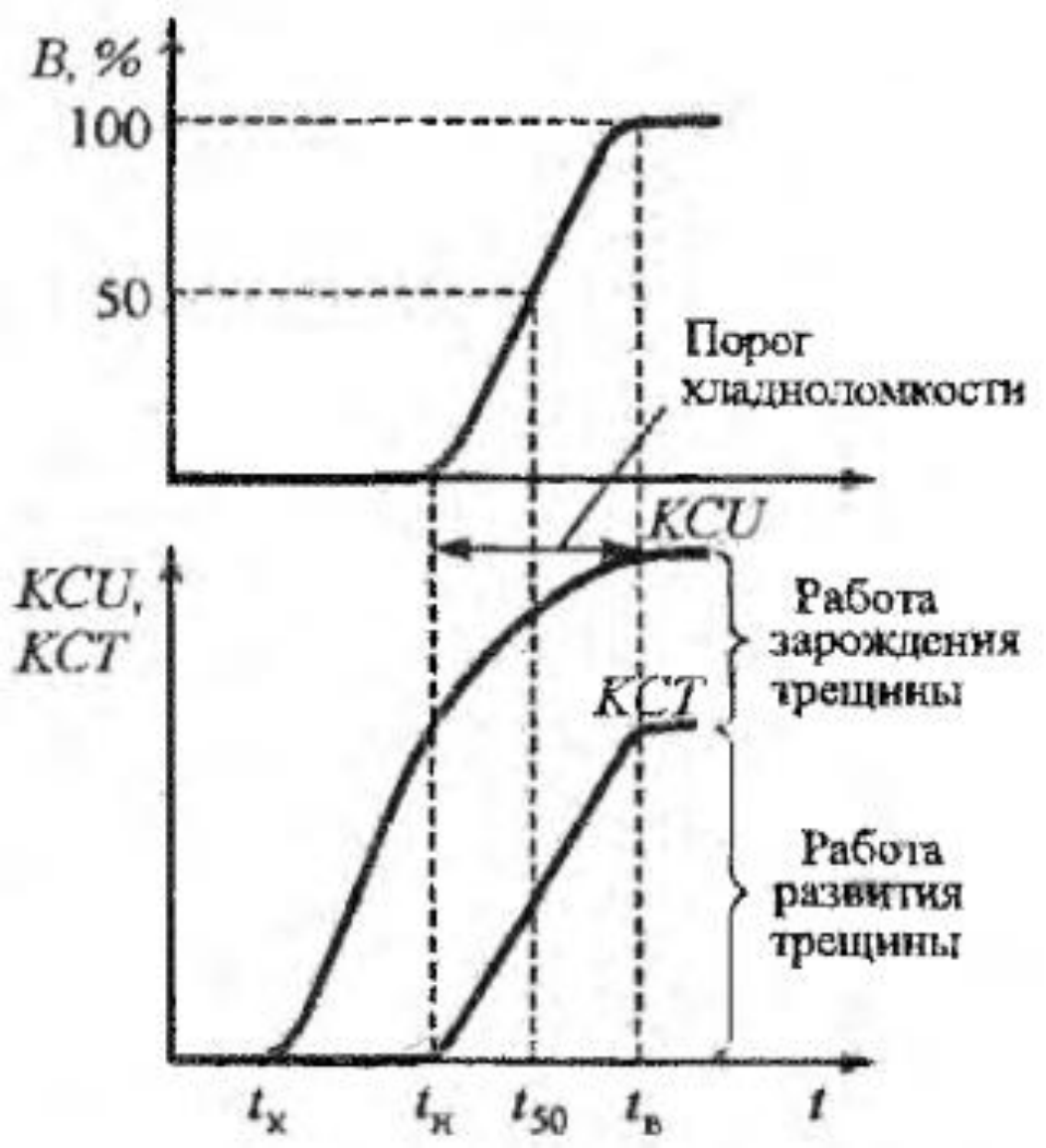
Ударная вязкость из всех характеристик механических свойств наиболее чувствительна к снижению температуры

Поэтому испытания на ударную вязкость при пониженных температурах используют для определения порога *хладноломкости* — температуры или интервала температур, в котором происходит снижение ударной вязкости

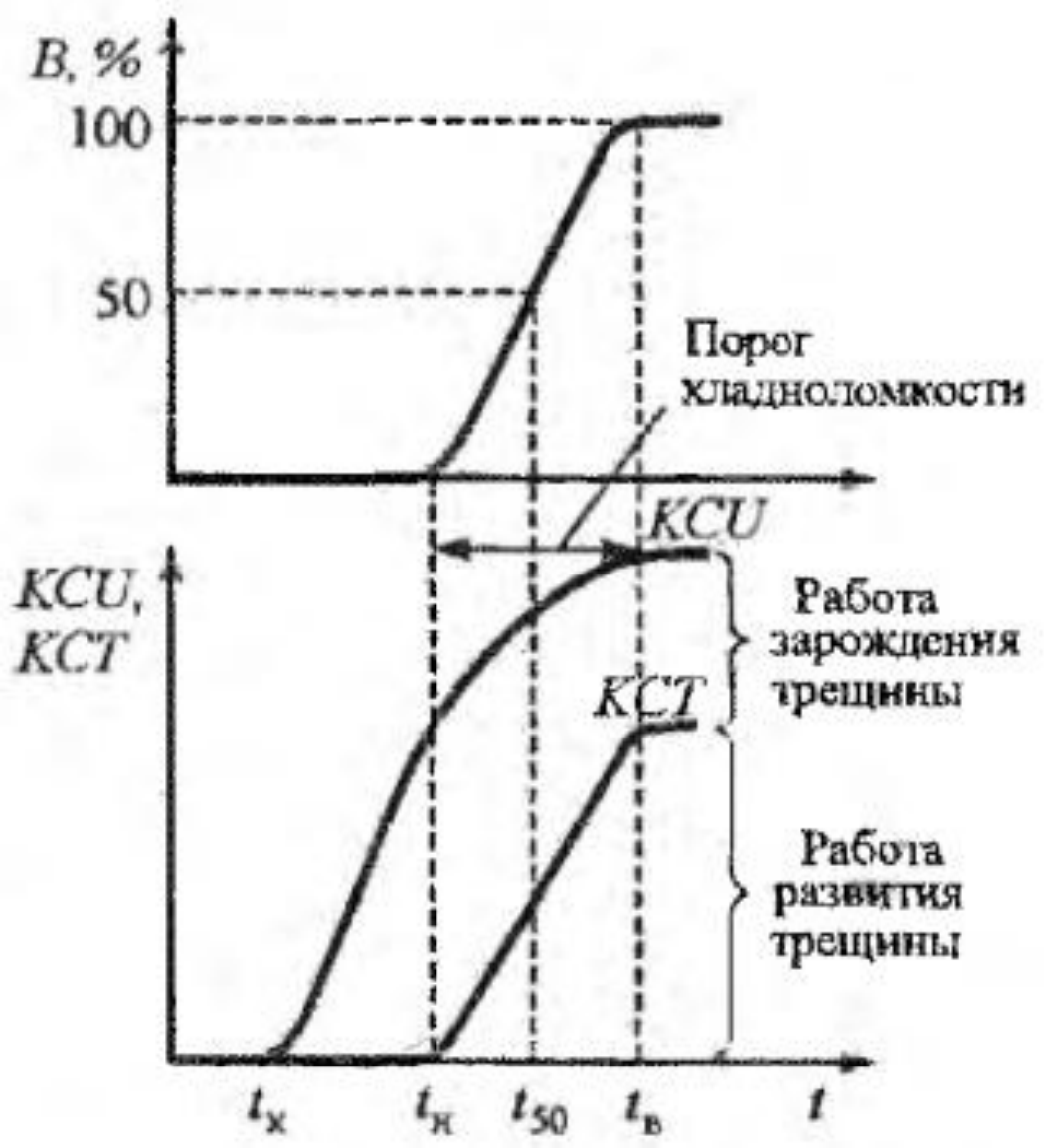
Хладноломкость — свойство металлического материала терять вязкость, хрупко разрушаться при понижении температуры

Хладноломкость проявляется у железа, стали, металлов и сплавов, имеющих ОЦК или ГП решетку. Она отсутствует у металлов с ГЦК решеткой

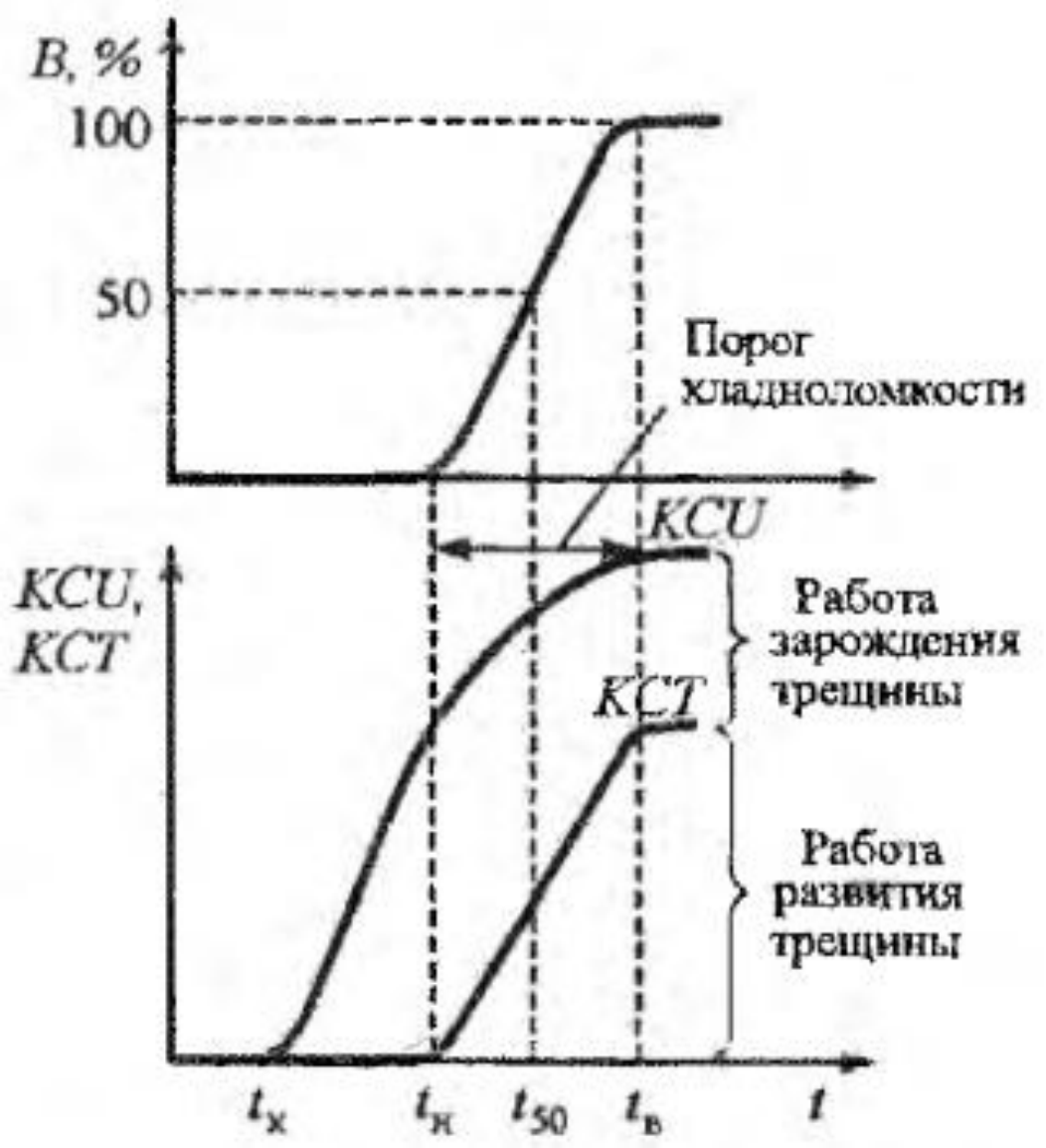
На переход от вязкого разрушения к хрупкому указывают изменения строения излома и резкое снижение ударной вязкости в интервале температур ($t_в$ – t_x) (граничные значения температур вязкого и хрупкого разрушения)



Влияние температуры испытания на процент вязкой составляющей в изломе (*B*) и ударную вязкость материала *KCU, KCT*



Строение излома изменяется от волокнистого матового при вязком разрушении ($t_в \geq t_х$) до кристаллического блестящего при хрупком разрушении ($t_в \leq t_х$)



Порог хладноломкости обозначают интервалом температур $(t_в - t_н)$ либо одной температурой t_{50}, при которой в изломе образца имеется 50% волокнистой составляющей и *КСТ* снижается наполовину

Механические свойства, определяемые при переменных (циклических) нагрузках

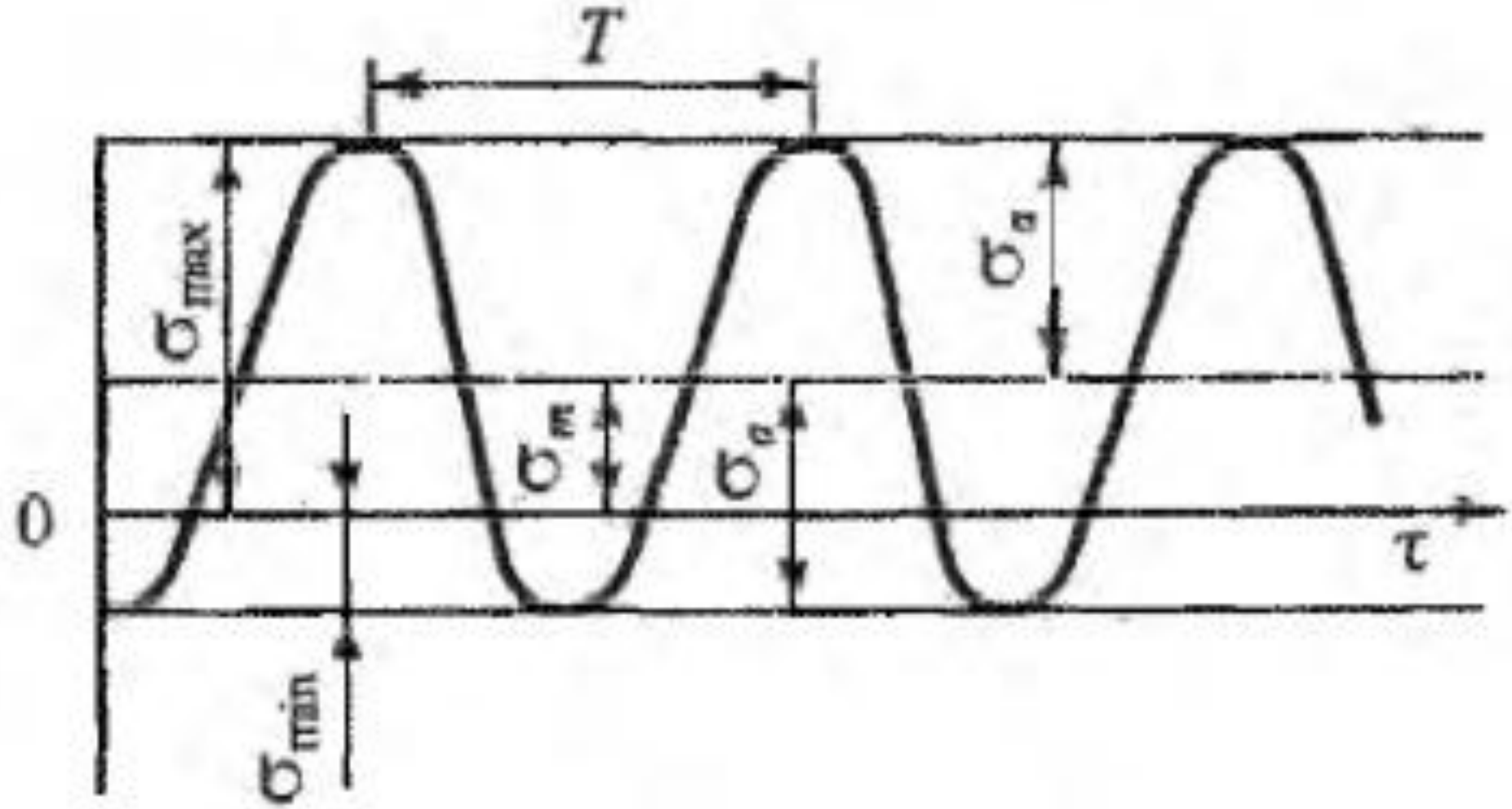
Многие детали машин (валы, шатуны, зубчатые колеса) испытывают во время работы повторяющиеся циклические нагружения

Валы

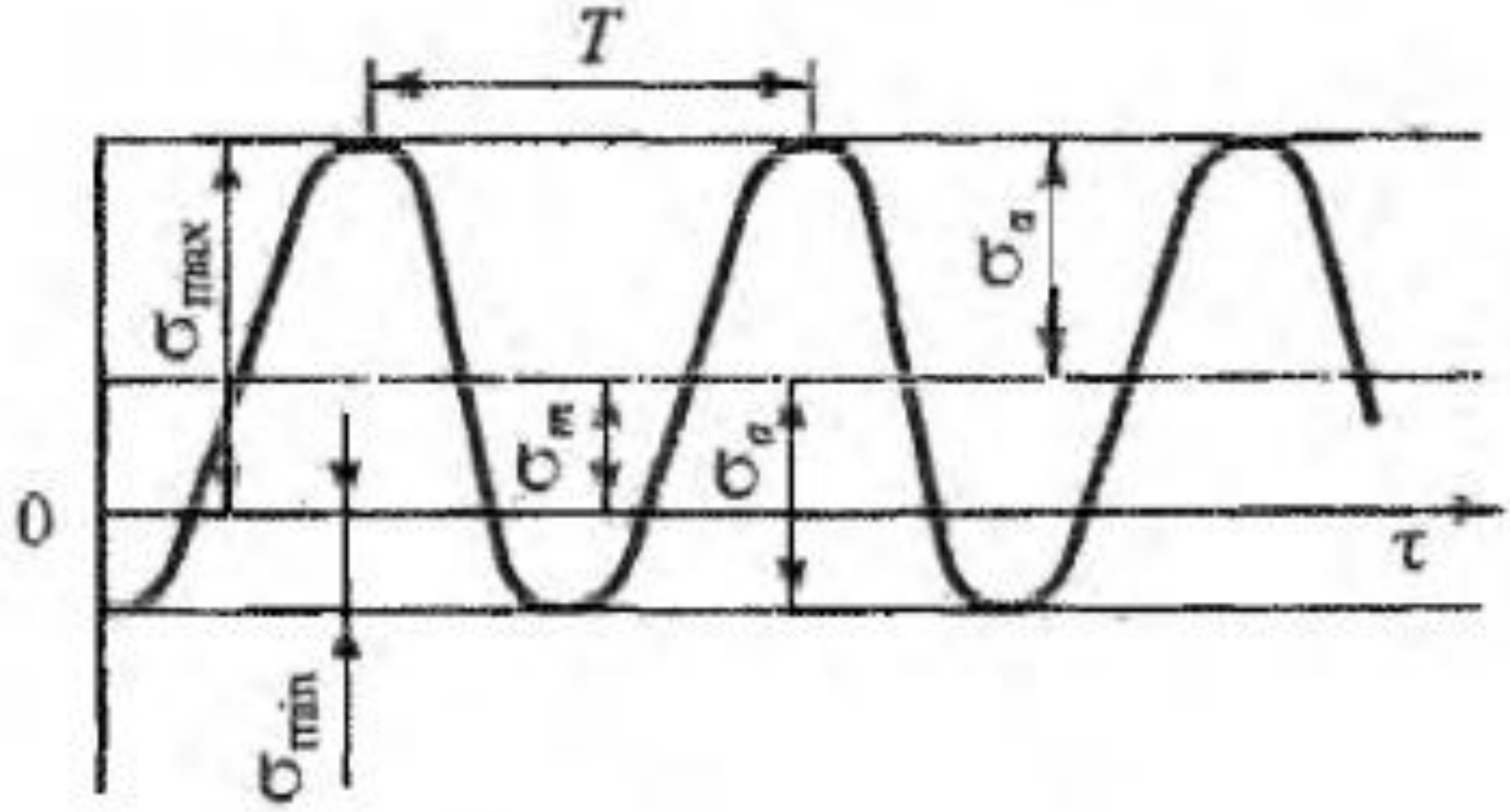
Шатуны

Зубчатые колеса

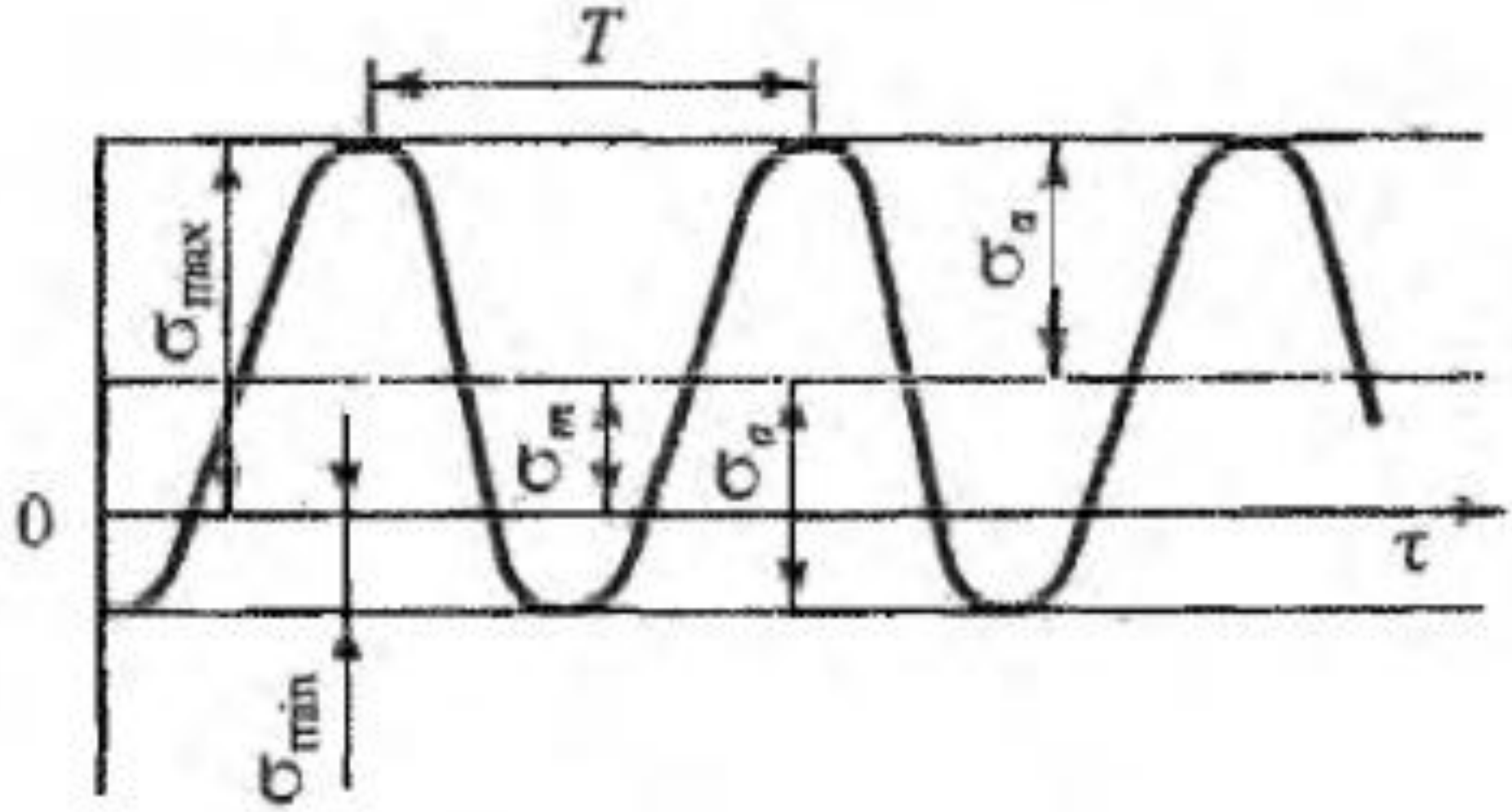
Цикл напряжения — совокупность изменения напряжений между двумя его предельными значениями σ_{max} и σ_{min} в течение периода T



Синусоидальный цикл изменения напряжений

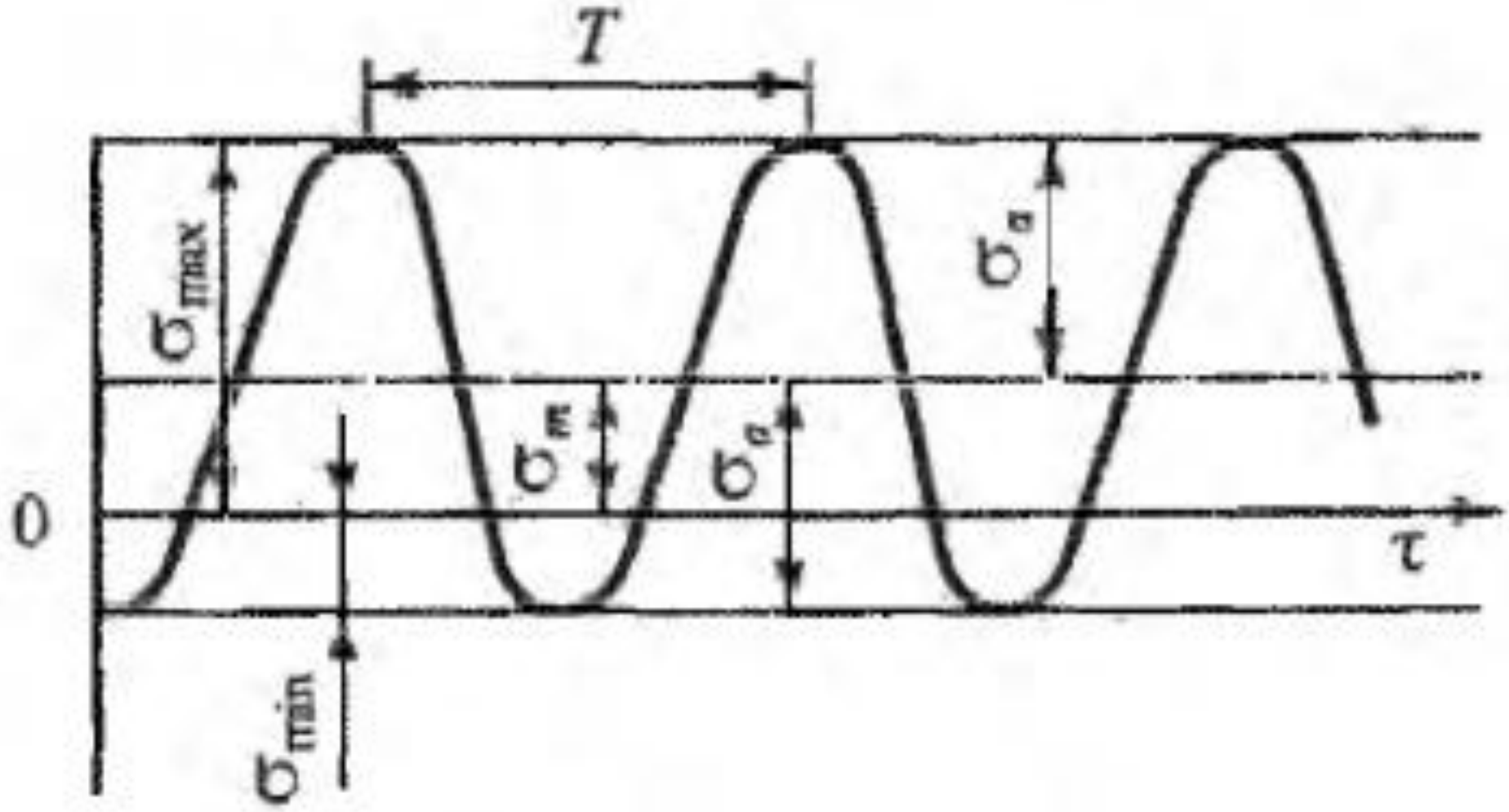


Он характеризуется коэффициентом асимметрии цикла $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$;



амплитудой напряжения

$$\sigma_{\text{а}} = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2;$$



средним напряжением цикла

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2.$$

Различают симметричные циклы (R = -1) и асимметричные (R изменяется в широких пределах)

Процессы постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящие к изменению его свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению,, называют *усталостью*, а свойство противостоять усталости — *выносливостью* (ГОСТ 23207 - 78)

Разрушение от усталости по сравнению с разрушением от статической нагрузки имеет ряд особенностей:

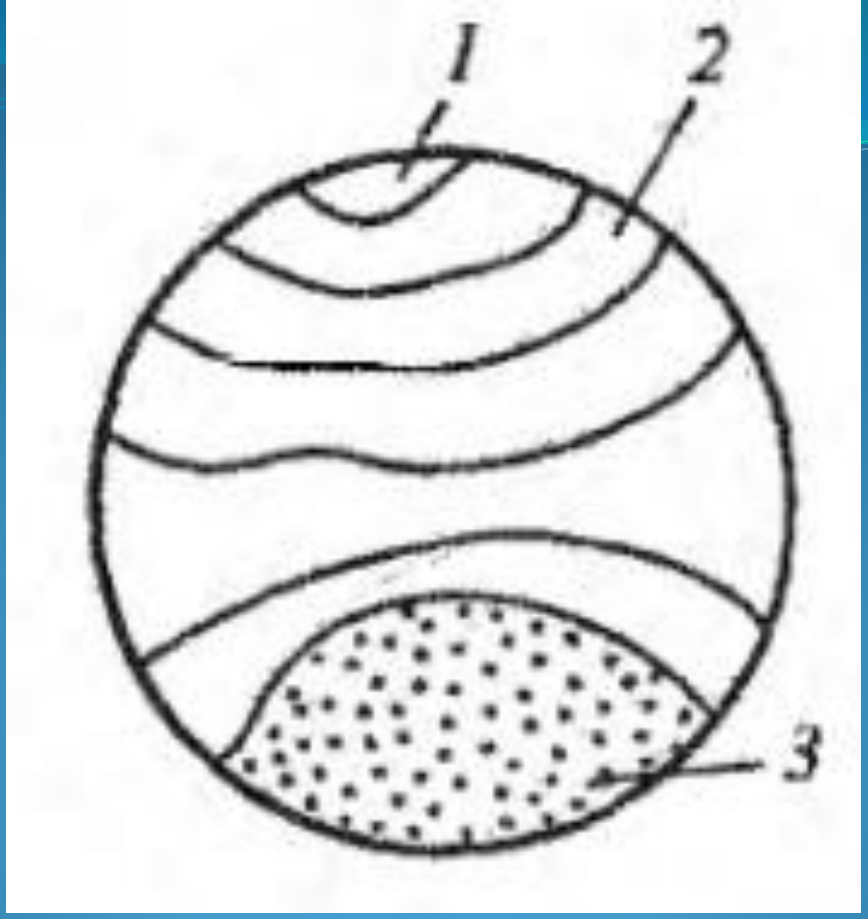
1. Оно происходит при напряжениях, меньших, чем при статической нагрузке (меньших предела текучести или временного сопротивления)

2. Разрушение начинается на поверхности (или вблизи от нее) локально, в местах концентрации напряжений (деформации). Локальную концентрацию напряжений создают повреждения поверхности в результате циклического нагружения либо надрезы в виде следов обработки, воздействия среды

3. Разрушение протекает в несколько стадий, характеризующих процессы накопления повреждений в материале, образования трещин усталости, постепенное развитие и слияние некоторых из них в одну магистральную трещину и быстрое окончательное разрушение

4. Разрушение имеет характерное строение излома, отражающее последовательность процессов усталости

Излом состоит из очага разрушения (места образования микротрещин) и двух зон — усталости и долома



1 - очаг зарождения трещины; 2 - зона усталости; 3 - зона долома (схема)

Очаг разрушения примыкает к поверхности и имеет небольшие размеры и гладкую поверхность

Зону усталости формирует последовательное развитие трещины усталости. В этой зоне видны характерные бороздки, которые имеют конфигурацию колец, что свидетельствует о скачкообразном продвижении трещины усталости

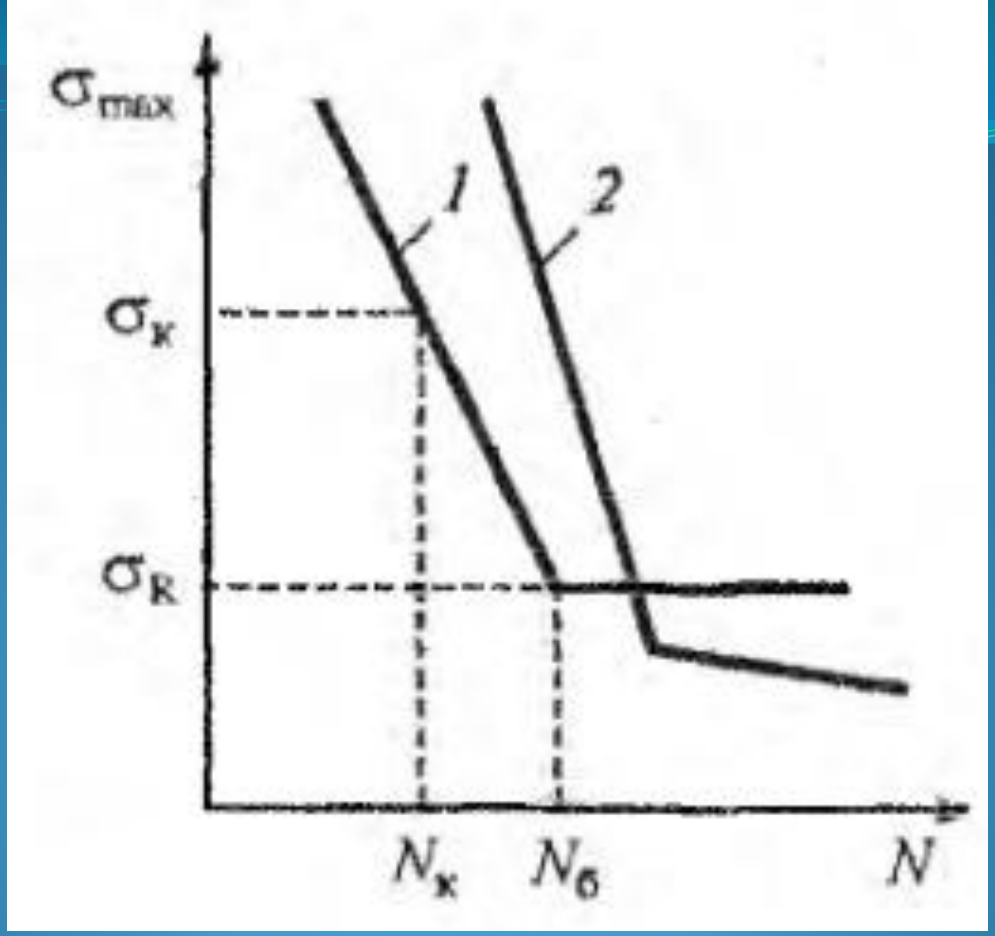
Зона усталости развивается до тех пор, пока в уменьшающемся рабочем сечении напряжения возрастут настолько, что вызовут его мгновенное разрушение

Эту последнюю стадию разрушения характеризует зона долома

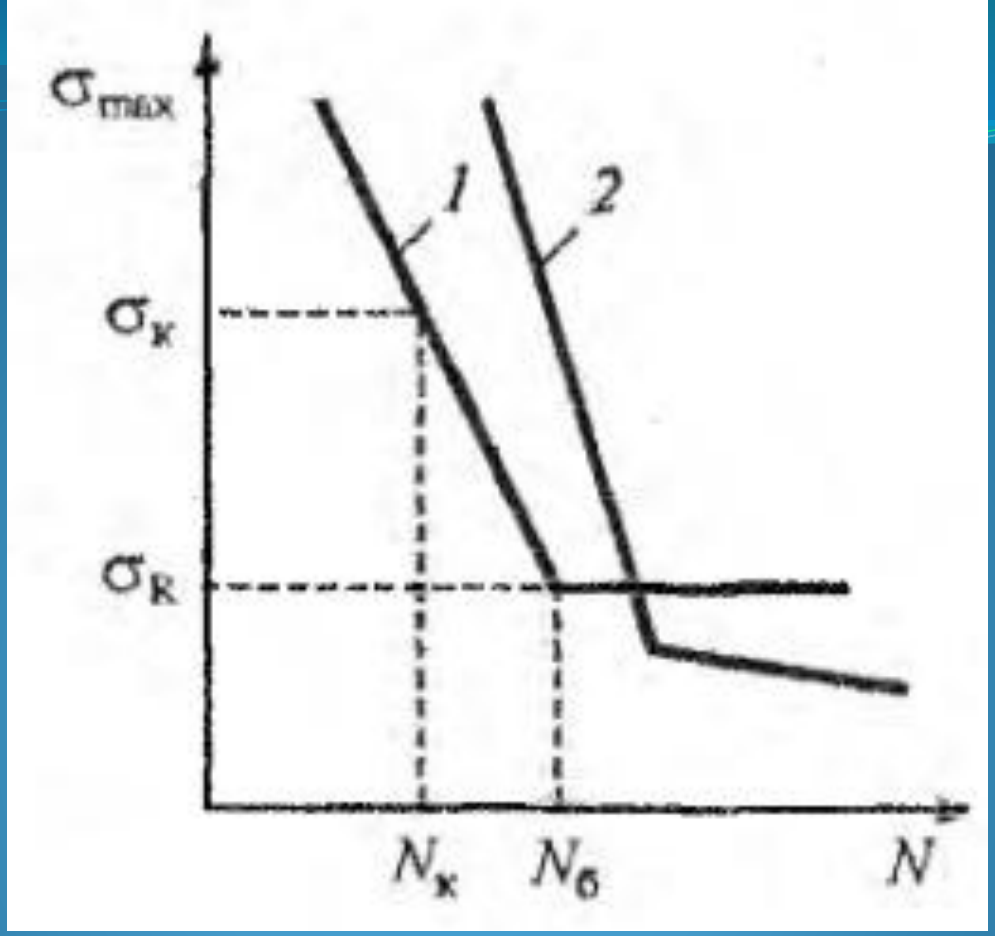
О способности материала работать в условиях циклического нагружения судят по результатам испытаний образцов на усталость (ГОСТ 25.502 - 79)

Их проводят на специальных машинах, создающих в образцах многократное нагружение (растяжение-сжатие, изгиб, кручение). Образцы (не менее 15 шт.) испытывают последовательно на разных уровнях напряжений, определяя число циклов до разрушения

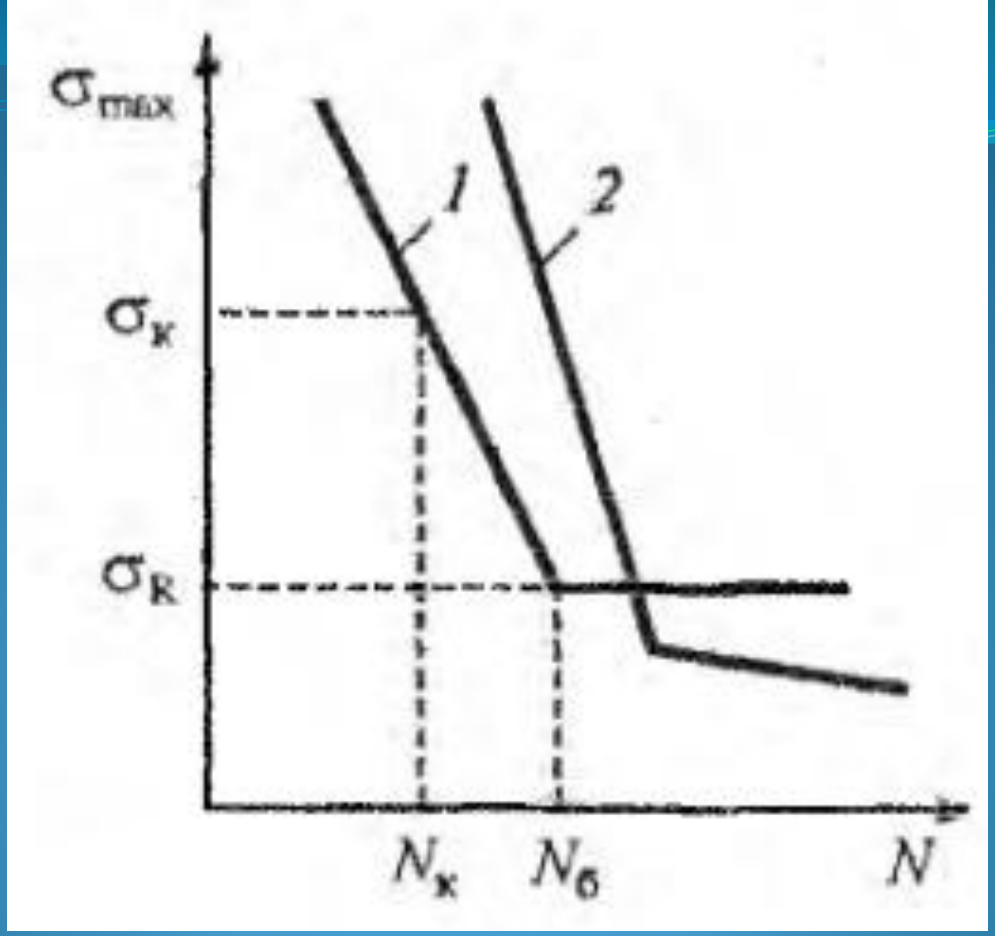
Результаты испытаний изображают в виде кривой усталости, которая в логарифмических координатах: максимальное напряжение цикла σ_{max} (или σ_a) - число циклов нагружений N состоит из участков прямых линий



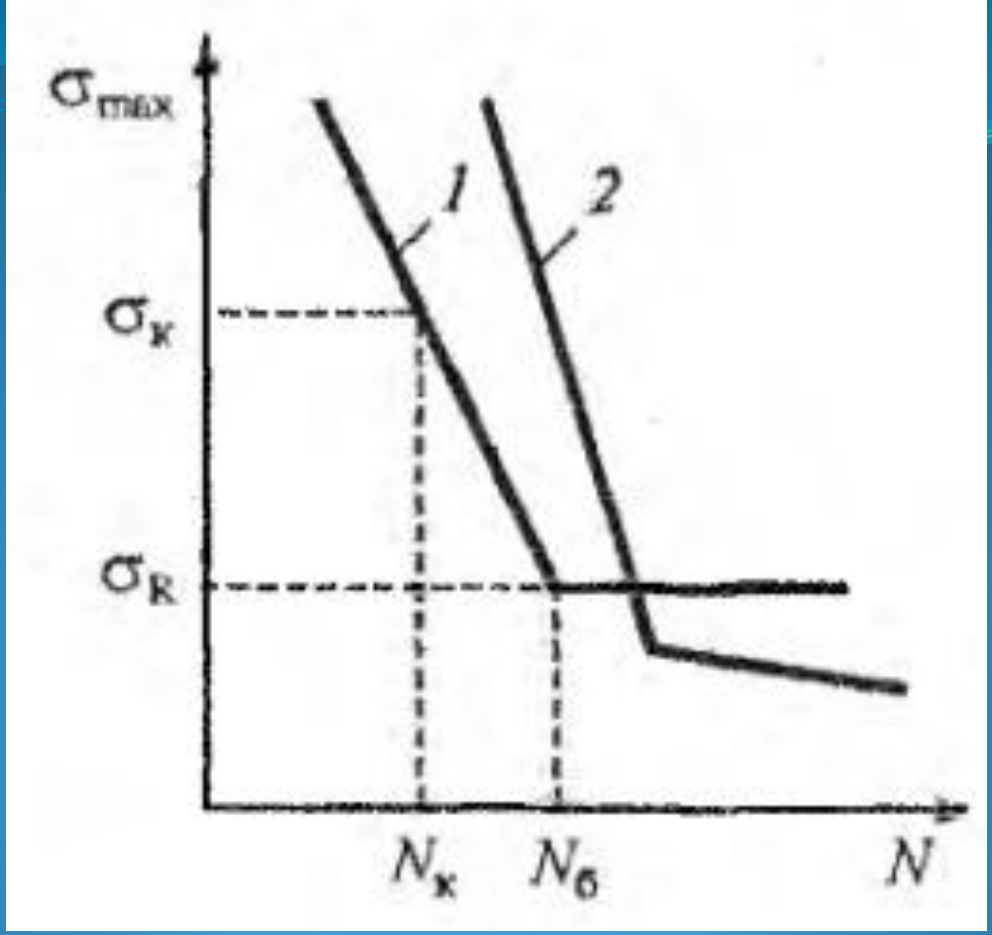
Кривые усталости для стали (1) и цветных металлов (2)



$N_б$ - число циклов (10^7 циклов для стали и 10^8 циклов для цветных металлов)



σ_R — *физический предел выносливости* (R — коэффициент асимметрии цикла), при симметричном цикле σ_{-1}



Наклонный участок кривой усталости характеризует *ограниченный предел выносливости*, равный напряжению σ_K, которое может выдержать материал в течение определенного числа циклов (N_K)

Кривые усталости позволяют определить следующие критерии выносливости:

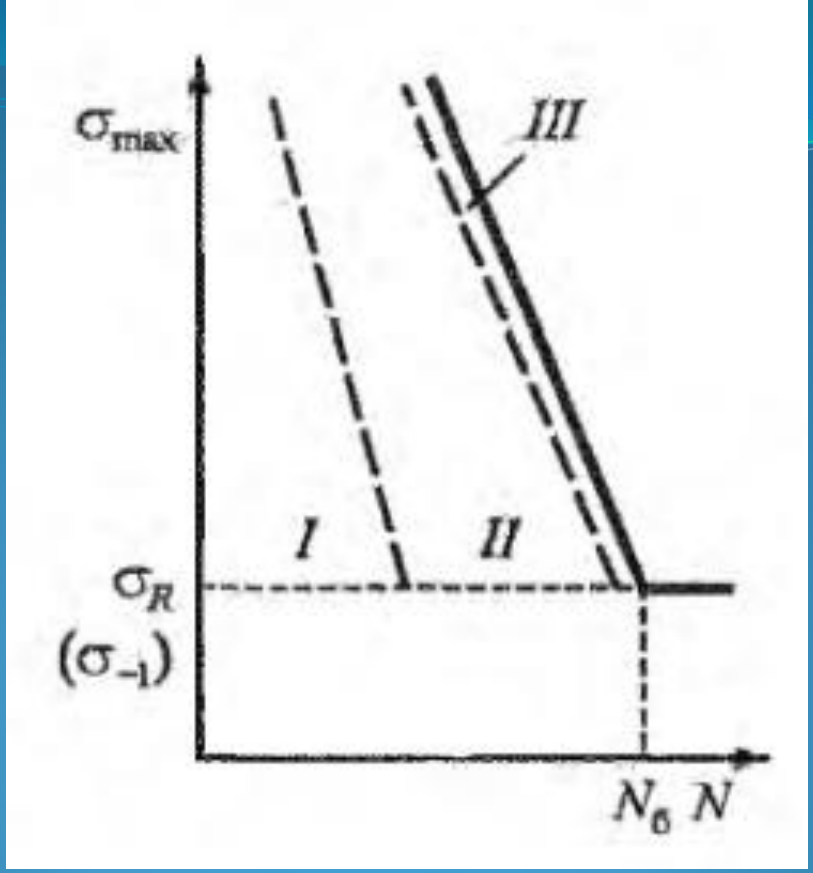
1) циклическую прочность — физический или ограниченный предел выносливости. Она характеризует несущую способность материала, т.е. то наибольшее напряжение, которое он способен выдержать за определенное время работы;

2) циклическую долговечность число циклов (или эксплуатационных часов), которые выдерживают материал до образования усталостной трещины определенной протяженности или до усталостного разрушения при заданном напряжении

Кроме определения рассмотренных выше критериев многоцикловой выносливости, для некоторых специальных случаев применяют испытания на *малоцикловую усталость*

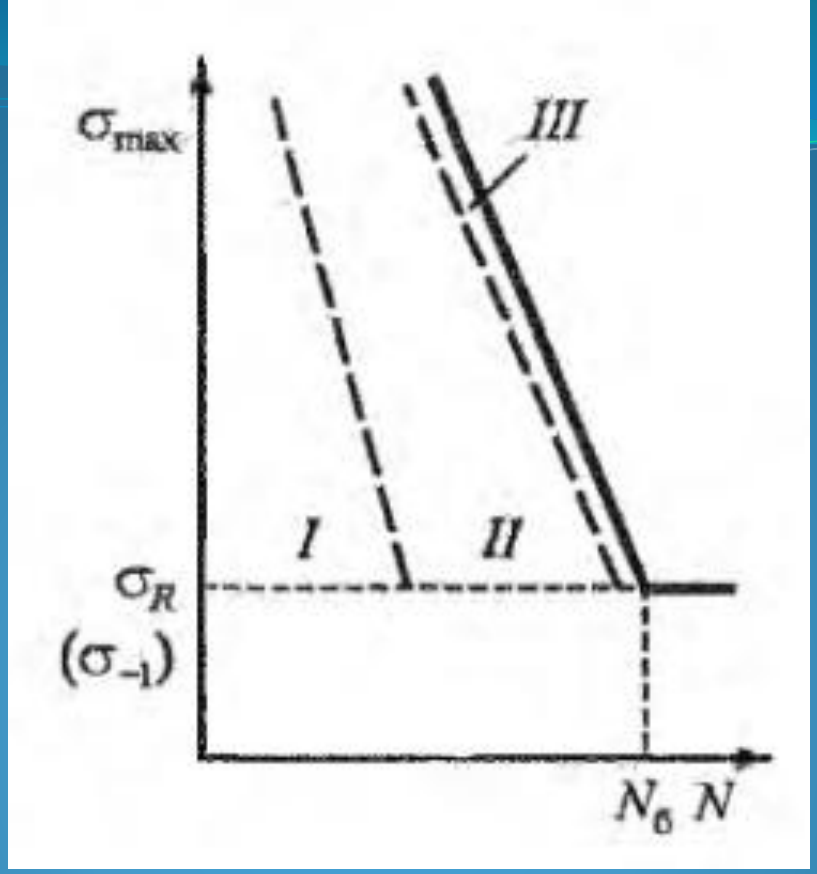
Эти испытания имитируют условия работы конструкций (например, самолетных), которые воспринимают редкие, но значительные циклические нагрузки

Более показательна обобщенная диаграмма усталости



Обобщенная диаграмма усталостного разрушения (схема): I - стадия постепенного накопления повреждений до возникновения трещины усталости; II - стадия распространения трещины; III - стадия долома

Наиболее важное значение имеет живучесть, определяемая скоростью роста трещины усталости (СРТУ)



Живучесть характеризует способность материала, работать в поврежденном состояния после образования трещины (II)

При высокой живучести (малой СРТУ) можно своевременно путем дефектоскопии обнаружить трещину, заменить деталь и обеспечить безаварийную работу конструкции

Тема 4: Теория и технология термической обработки стали

Термической обработкой называют технологические процессы, состоящие из нагрева, и охлаждения металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств

Основные виды термической обработки:

- Отжиг,
- Закалка,
- Отпуск,
- Старение.

Отжиг — термическая обработка, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной:

отжиг вызывает разупрочнение металлов и сплавов, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений

Температура нагрева, при отжиге зависит от состава, сплава, и конкретной разновидности отжига; скорость охлаждения с температуры отжига обычно невелика, она лежит в пределах 30 - 200 °С/ ч.

Закалка — термическая обработка, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура

Отпуск и старение — термические обработки, в результате которых в предварительно закаленных сплавах происходят фазовые превращения, приближающие их структуру к равновесной

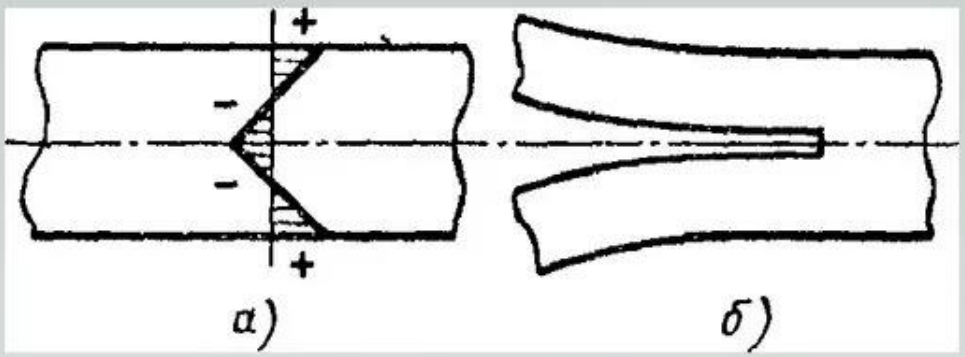
Термическая обработка сплавов, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состояния

Термическую обработку проводят независимо от того, происходят ли в сплавах фазовые превращения в твердом состоянии или нет

Такую обработку применяют, например, для уменьшения:

- остаточных напряжений в изделиях,
- рекристаллизации пластически деформированных полуфабрикатов,
- Уменьшение внутрикристаллической ликвации в слитках или отливках.

Способы снижения остаточных напряжений

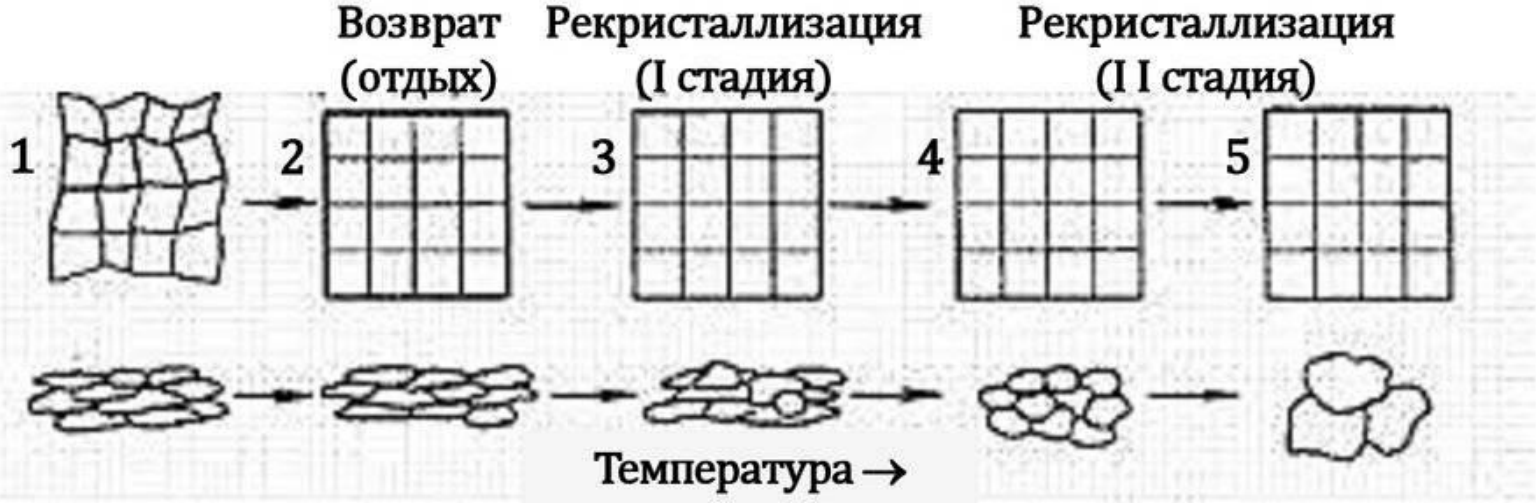


Остаточные напряжения в заготовке из проката

а – эпюра напряжений; б – пример влияния напряжений

Особенность механической обработки проката: при точении недостаточно точно зацентрованной заготовки, готовая деталь заметно искривляется.

Отжиг пластически деформированного металла



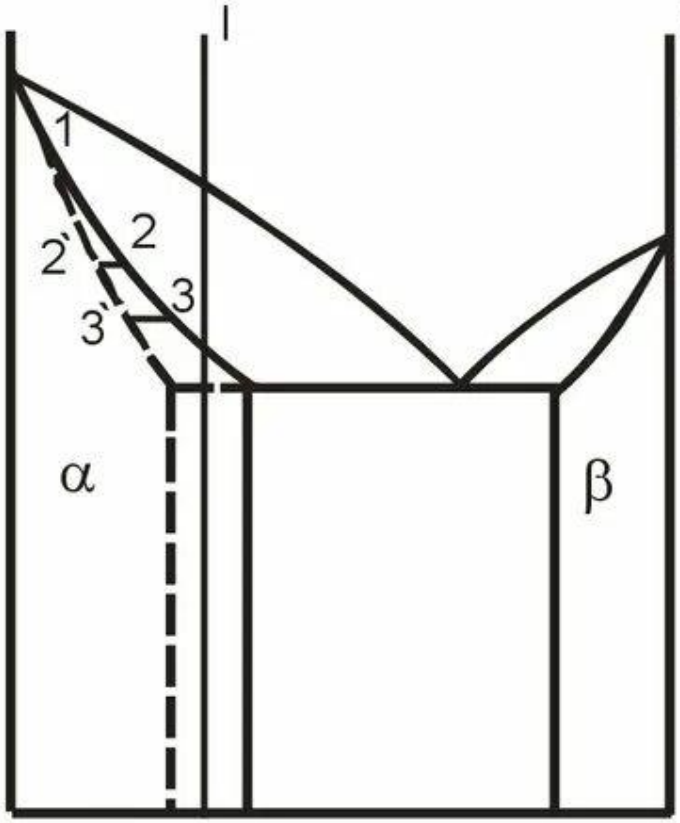
1. Пластическая деформация приводит металл в структурно неустойчивое состояние. Искажается кристаллическая решетка, появляется текстура (определенная ориентировка зерен).
2. Возврат (отдых) – снятие искажений кристаллической решетки в процессе нагрева до 300° – 400°С. Твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает.
3. Рекристаллизация (первая стадия) – образование новых зерен протекает при более высокой температуре (для сплавов Т рекристаллизации ≈ 0,8Т плавления). Свойства металла становятся прежними.

4, 5. Рекристаллизационный отжиг – вторая стадия рекристаллизации – образование и рост равноосных зерен. Происходит при более высоких температурах. (Вторичная или собирательная рекристаллизация).

ЛИКВАЦИЯ

Ликвация – химическая неоднородность, возникающая в сплавах при их кристаллизации

Микроликвация (дендритная, внутрикристаллическая) – неоднородность по телу зерна.



Макроликвация (зональная) – неоднородность по отдельным зонам слитка.

Соответствующие операции термической обработки являются разновидностями отжига:

- отжиг (нагрев) для уменьшения напряжений,
- рекристаллизационный отжиг,
- диффузионный отжиг (гомогенизация).

Отжиг 1 рода

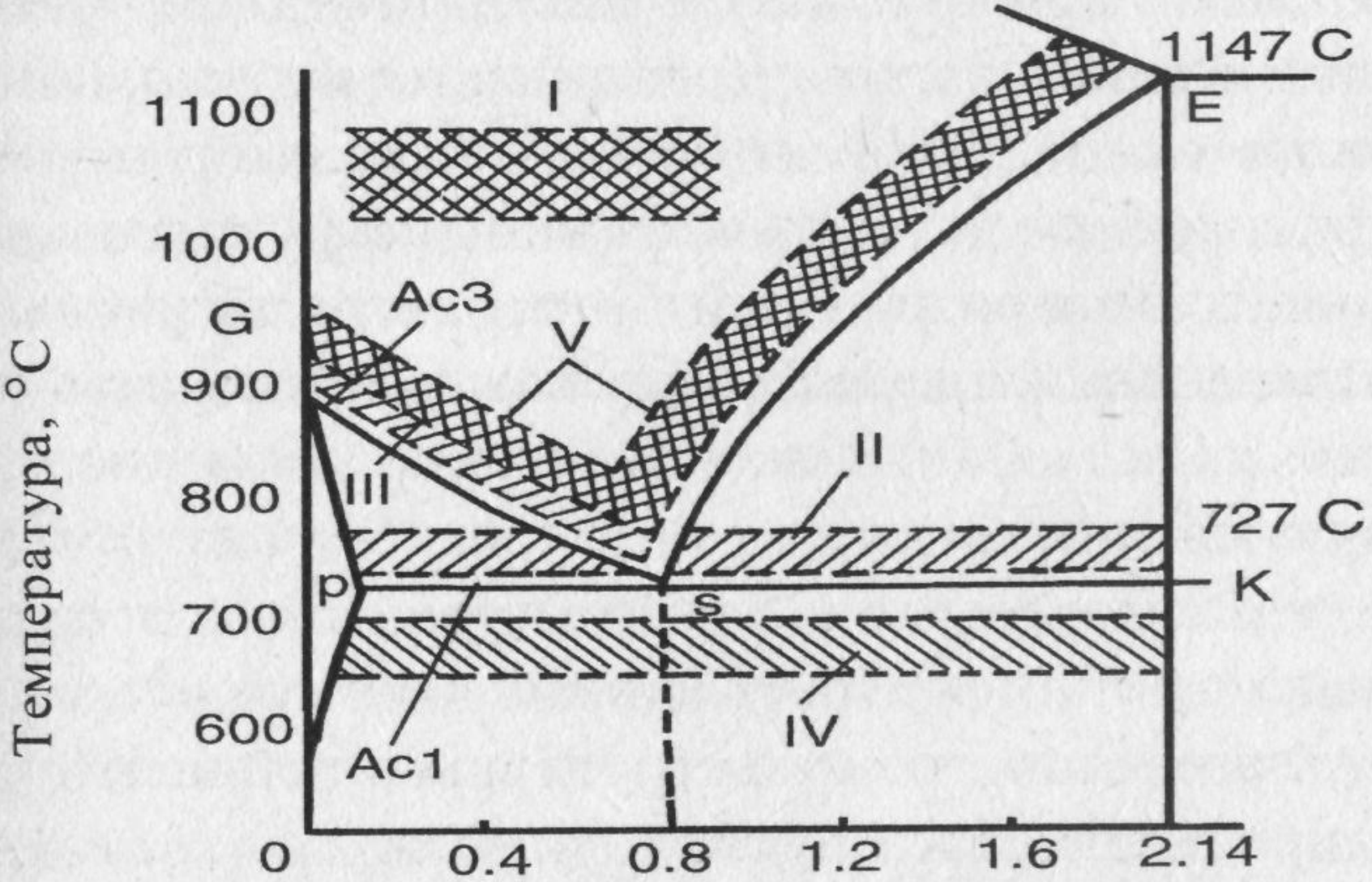
Температурные режимы термообработки сталей связаны с диаграммой Fe-Fe3C. Равновесные температуры, отвечающие положению линий PSK, GS и SE диаграммы, обозначают Ac1, Ac3 и Acm соответственно

Отжиг 1 рода

При нагреве неравновесные температуры превращений обозначают: перлита в аустенит- Ac1 (линия PSK) превращений, связанных с получением однофазной аустенитной структуры, -Ac3 (для доэвтектоидных сталей) (линия GS), Acm - (для заэвтектоидных сталей) (линия SE)

Отжиг 1 рода

При обычных скоростях нагрева неравновесные температуры на 30…50 °С выше соответствующих равновесных



Область температур нагрева для различных видов отжига: I – диффузионный отжиг; II – неполный отжиг; III – полный отжиг; IV – низкий отжиг; V – нормализационный отжиг

Отжиг состоит в нагреве металла, выдержке и последующем медленном охлаждении (вместе с печью). Отжиг приближает металл к равновесию

Отжиг первого рода проводят для получения более равновесной, чем исходная, структуры, не связывая эту цель с наличием или отсутствием фазовой перекристаллизации.

Примерами отжига первого рода являются

рекристаллизационный отжиг, диффузионный отжиг

При рекристаллизационном отжиге деформационно упрочненный металл нагревают несколько выше температурного порога рекристаллизации (до 650—760 °С). В результате отжига материал приобретает такие же механические свойства, какие он имел до деформации

Диффузионный (гомогенизирующий)

отжиг проводят при нагреве до высоких температур (применительно к сталям - значительно выше Ac3 или Acm, 1100-1200 °C), в этом случае более полно протекают диффузионные процессы, необходимые для выравнивания состава в отдельных объемах стали. предполагающих интенсивную диффузию атомов. Такому отжигу подвергают, например, отливки для устранения дендритной ликвации

Отжиг 2 рода, нормализация

При отжиге второго рода протекает, хотя бы частичная, фазовая перекристаллизация. Он применяется с целью снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости резанием, устранения структурной неоднородности и подготовки к последующей термической обработке

Отжиг второго рода по условиям нагрева и выдержки подразделяется на полный и неполный

по условиям охлаждения — на отжиг изотермический и нормализацию

При неполном отжиге нагрев ведут до температуры Ac1 (ниже Ac3 или Acm). Происходит частичная перекристаллизация сплава (меняется перлитная составляющая). Чаще неполный отжиг применяют для заэвтектоидных сталей (сфероидизирующий отжиг)

При полном отжиге сталь нагревают до Ac3 или Acm. Происходит полная перекристаллизация сплава.

Изотермический отжиг. В этом случае сталь, обычно легированную, нагревают до точки Ac3 + (50 - 70°C) и сравнительно быстро охлаждают (обычно переносом в другую печь) до температуры, лежащей ниже точки Ac1 на 100 - 150°C,

Отжиг нормализационный

(нормализация). Нормализация заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры, превышающей точку Ас3 на 50 °С, заэвтектоидной выше Аст также на 50 °С непродолжительной выдержке для прогрева садки и завершения фазовых превращений и охлаждении на воздухе. Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали и устраняет крупнозернистую структуру, полученную при литье или прокатке, ковке или штамповке.

По сравнению с печью ускоренное охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах, что повышает дисперсность феррито-цементитной структуры и увеличивает количество перлита. Это на 10—15 % повышает прочность и твердость нормализованной средне- и высокоуглеродистой стали по сравнению с отожженной. Нормализация горячекатаной стали (по сравнению с отжигом) повышает ее сопротивление хрупкому разрушению, снижая порог хладноломкости и повышая работу развития трещины

Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига

Для отливок из среднеуглеродистой стали нормализацию или нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки и высокого отпуска

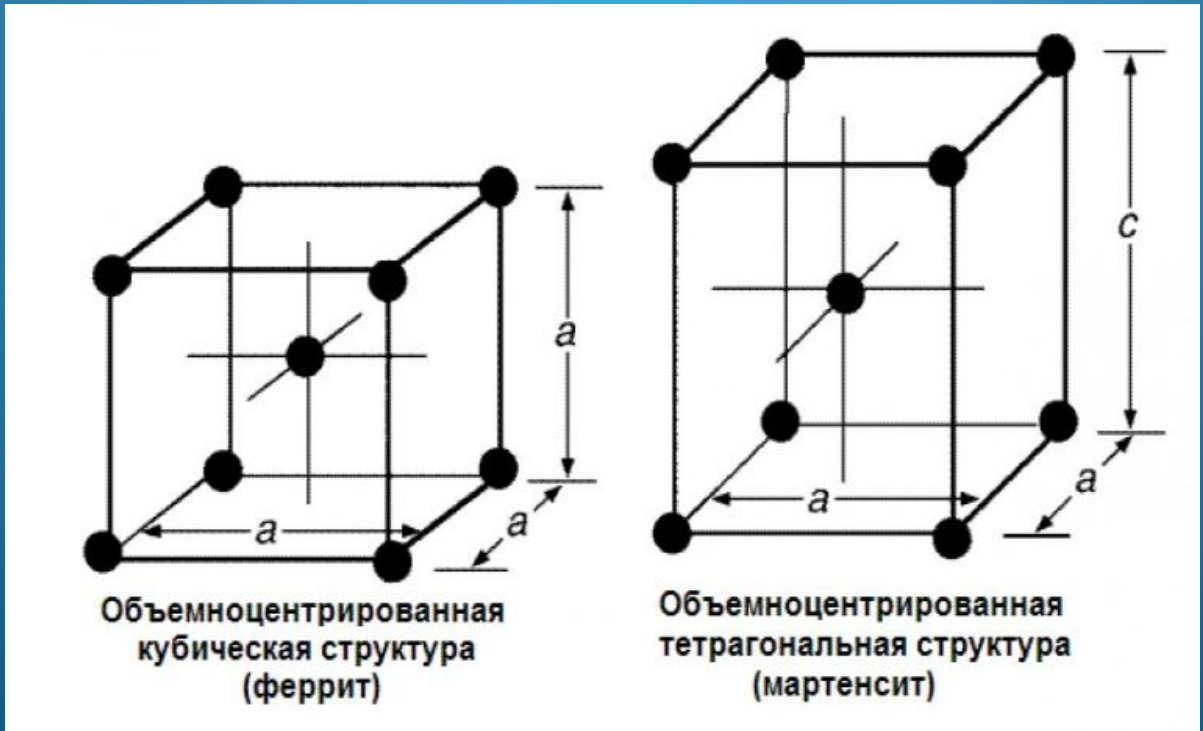
но изделия будут подвергнуты меньшей деформации по сравнению с получаемой при закалке, и вероятность появления трещин практически исключается

Тема 4: Теория и технология термической обработки стали

Закалка стали

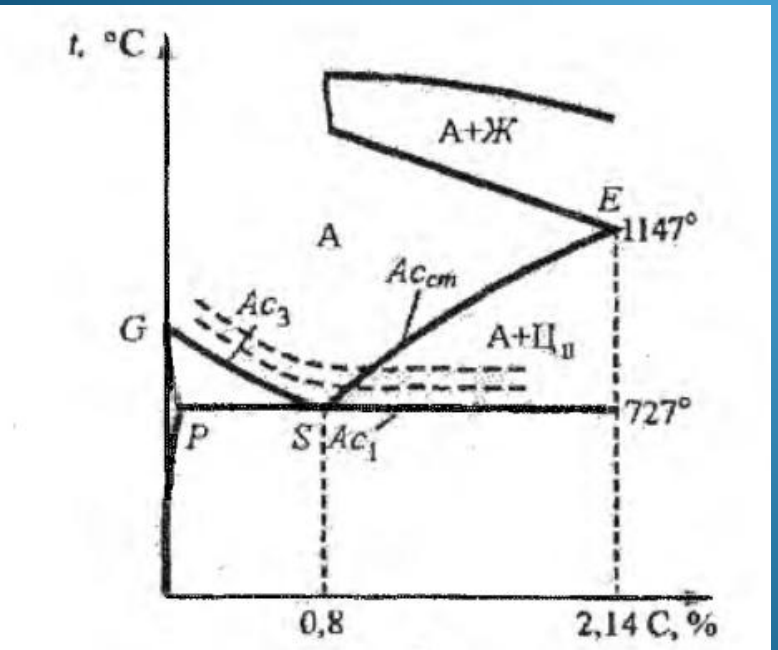
При закалке желательно получить структуру наивысшей твердости, т.е. мартенсит, при последующем отпуске которого можно понизить твердость и повысить пластичность стали

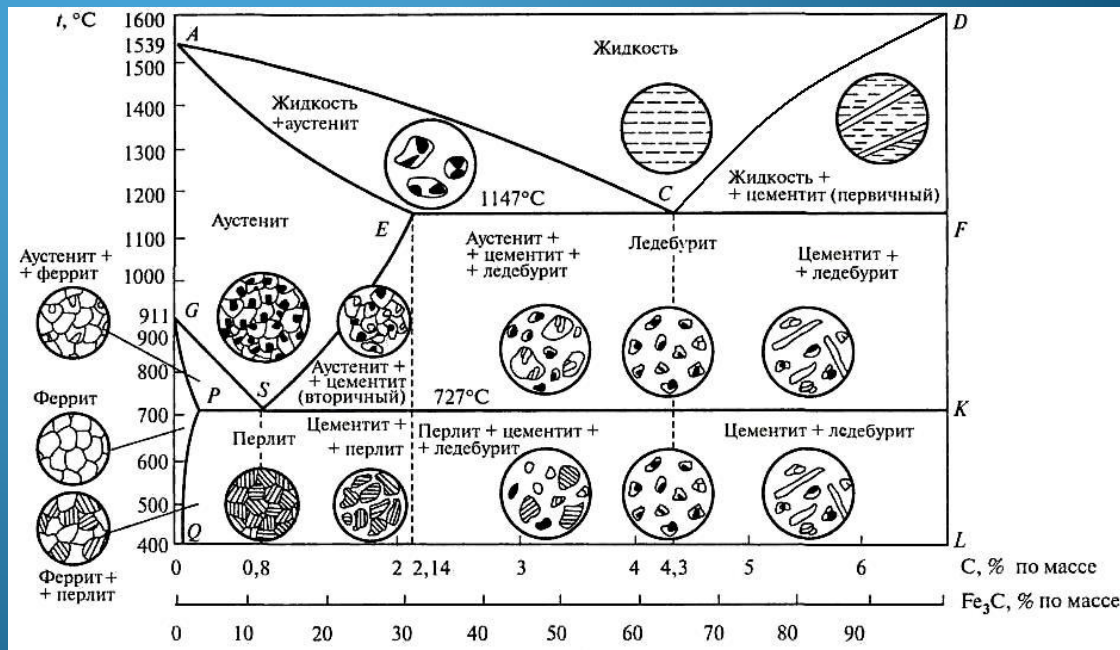
Мартенсит – это перенасыщенный раствор железа и углерода. Его получают при закалке аустенита. Твердость до 1000 HV



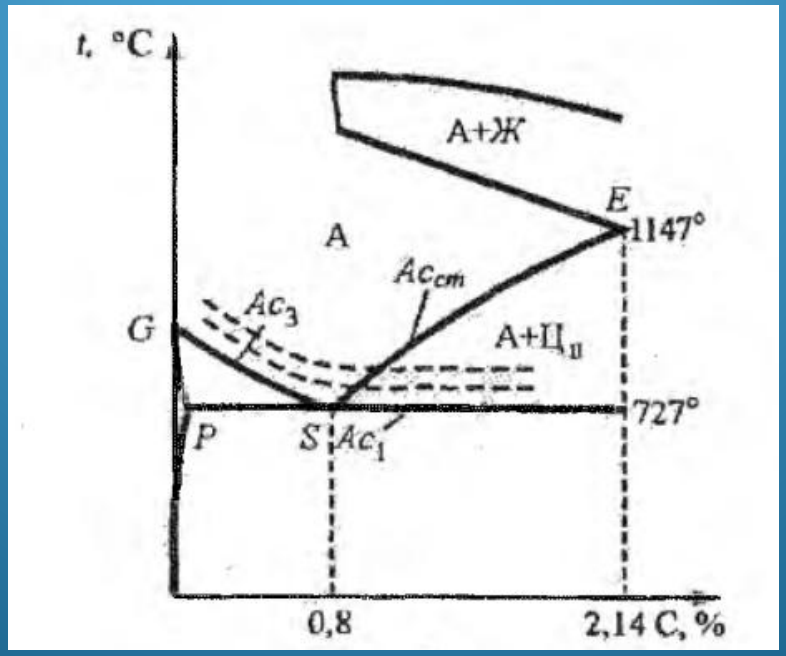
В зависимости от температуры нагрева, закалку называют полной и неполной

При полной закалке сталь переводят в однофазное аустенитное состояние, т.е. нагревают выше критических температур Ac3 или $AC_{ст}$, при неполной — до межкритических температур — между Ac1 и Ac3($AC_{ст}$)





Доэвтектоидные стали, как правило, подвергают полной закалке, при этом оптимальной температурой нагрева является температура, Ac3 + (30 … 50 °C)

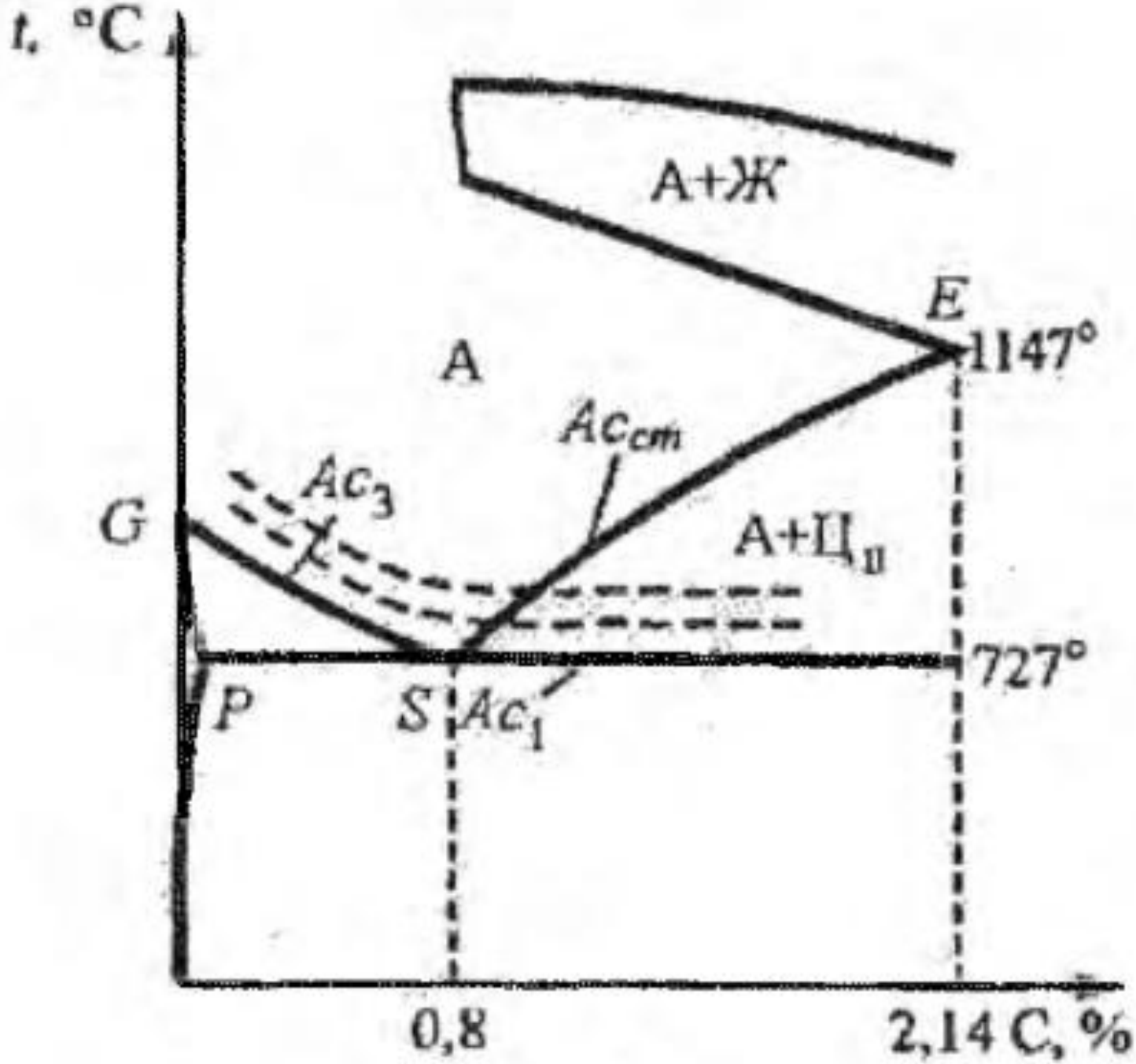


Образуется мелкозернистый аустенит, и соответственно после охлаждения — мелкокристаллический мартенсит

Недогрев до температуры Ac3 приводит к сохранению в структуре кристаллов доэвтектоидного феррита, что при некотором уменьшении прочности обеспечивает повышенную пластичность закаленной стали

Заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке. Оптимальная температура нагрева углеродистых и низколегированных сталей при этом — температура Ac1 + (30 .. .50°C)

После закалки заэвтектоидная сталь приобретает структуру, состоящую из мартенсита и цементита. Кристаллы цементита тверже кристаллов мартенсита, поэтому при неполной закалке заэвтектоидные стали имеют более высокую твердость, чем при полной


t, °C
A+Ж
E
1147°
A
Ac_{cm}
Ac_3
G
A+Ц$_{II}$
727°
P
S
Ac_1
0,8
2,14
C, %

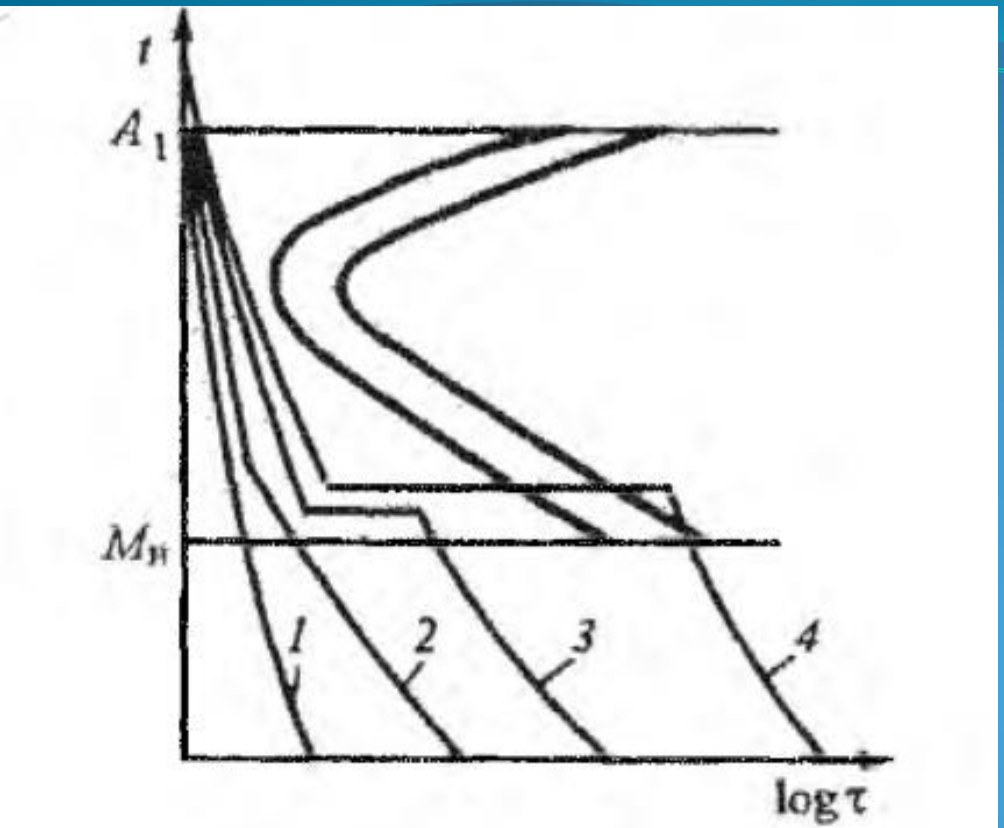


Рис. 6.29. Способы охлаждения при закалке сталей:
1 – непрерывное охлаждение; *2* – закалка в двух средах; *3* – ступенчатая закалка; *4* – изотермическая закалка

Закалка в двух средах.

После нагрева под закалку деталь погружают на определенное время в воду, в результате чего достигается быстрое прохождение температурною интервала минимальной устойчивости аустенита, а затем переносят в более мягкую охлаждающую среду, обычно в масло

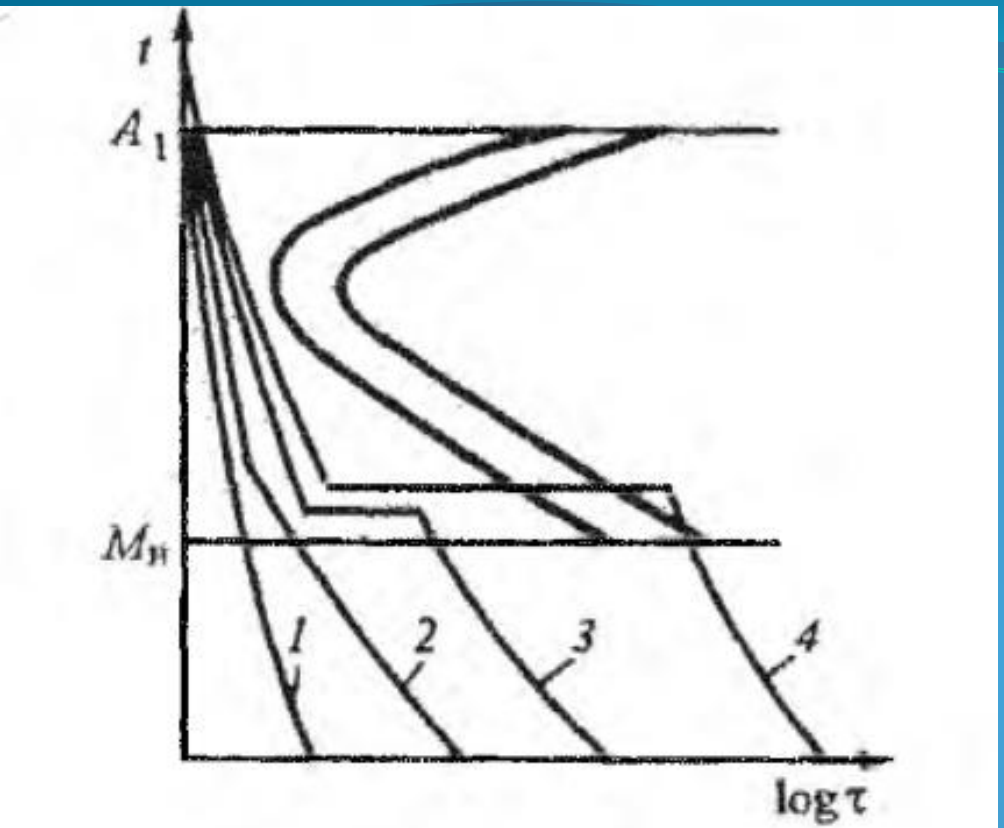


Рис. 6.29. Способы охлаждения при закалке сталей:
1 – непрерывное охлаждение; *2* – закалка в двух средах; *3* – ступенчатая закалка; *4* – изотермическая закалка

Ступенчатая закалка. При ступенчатой закалке деталь, нагретую до температуры закалки, переносят в жидкую среду, имеющую температуру на 50 - 100 °С выше мартенситной точки Мн закаливаемой стали, и выдерживают небольшое время, необходимое для выравнивания температуры по сечению, а затем окончательно охлаждают на спокойном воздухе

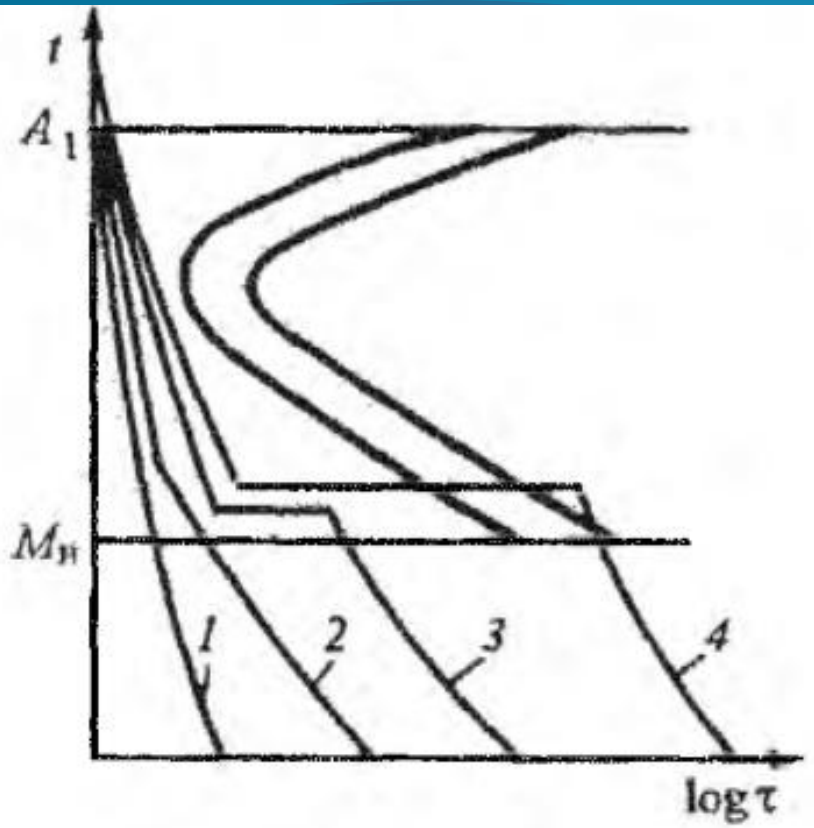


Рис. 6.29. Способы охлаждения при закалке сталей:
1 – непрерывное охлаждение; *2* – закалка в двух средах; *3* – ступенчатая закалка; *4* – изотермическая закалка

При изотермической закалке нагретую деталь переносят в ванну с расплавленными солями, имеющую температуру на 50 - 100 °С выше мартенситной точки Мн, выдерживают при этой температуре до завершения превращения аустенита, в бейнит и затем охлаждают на воздухе

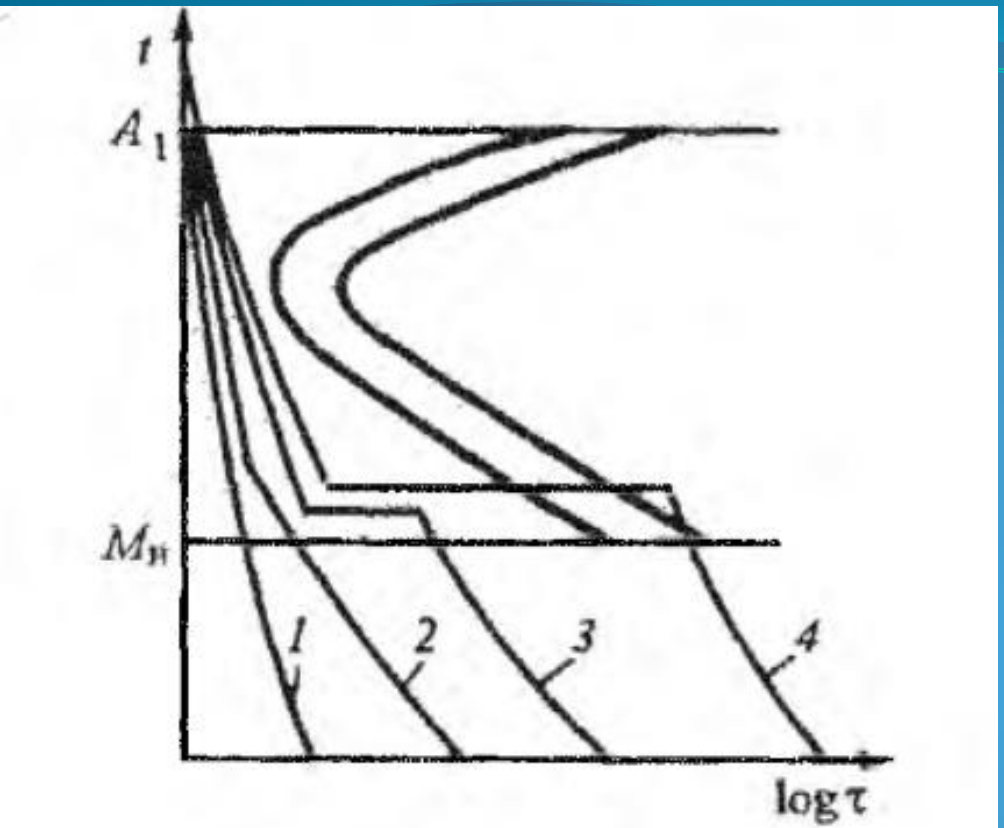


Рис. 6.29. Способы охлаждения при закалке сталей:
1 – непрерывное охлаждение; *2* – закалка в двух средах; *3* – ступенчатая закалка; *4* – изотермическая закалка

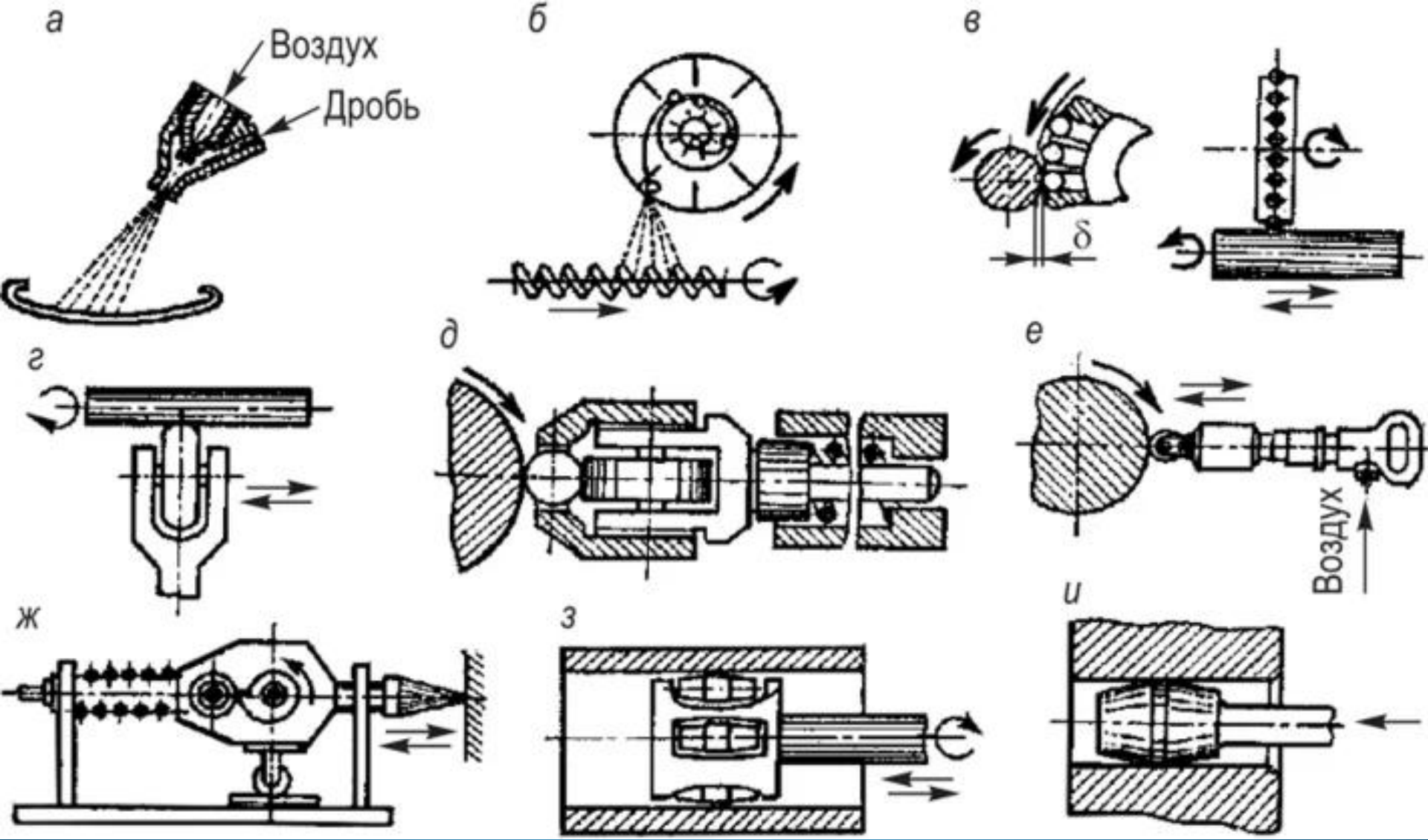
Обработке холодом подвергают закаленные легированные стали, для которых температура конца мартенситного превращения Мк значительно ниже 20-25 °С

Закаливаемость определяется твердостью поверхности закаленной детали и зависит главным образом от содержания углерода в стали. При закалке различных деталей поверхность их, как правило, охлаждается со скоростью, большей Vкр следовательно, на поверхности образуется мартенсит, обладающий высокой твердостью

Прокаливаемостью называют способность стали закаливаться на определенную глубину

Тема 5: Поверхностное упрочнение стальных деталей

Поверхностное упрочнение методом пластического деформирования



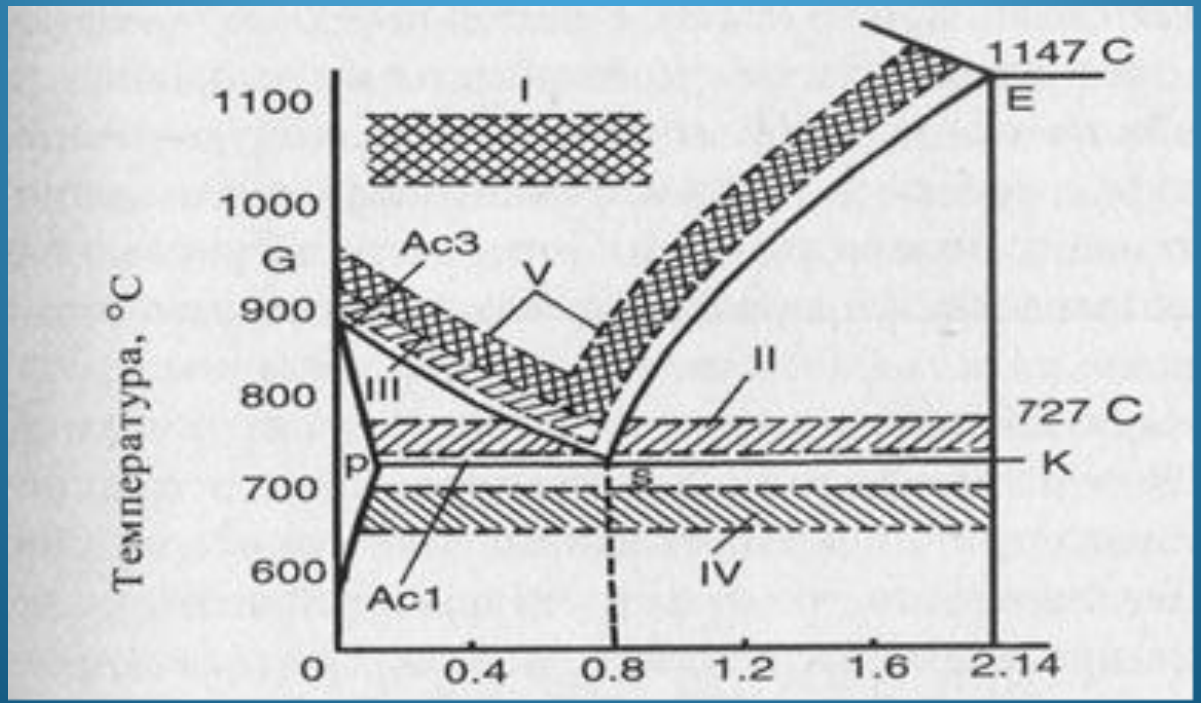
а) наклеп дробью пневматический и механический; б) наклеп центробежно-шариковый; в), г) обкатка роликами; д) обкатка шариками; е) обкатка вибрирующим роликом; ж) наклеп механической чеканкой; з) раскатывание отверстия роликами; и) дорнование

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) – обработка деталей давлением (без снятия стружки), при которой пластически деформируется только их поверхностный слой

Обработку поверхностным пластическим деформированием (ППД) применяют в основном для повышения усталостной прочности деталей

Поверхностная закалка, ее виды и области применения

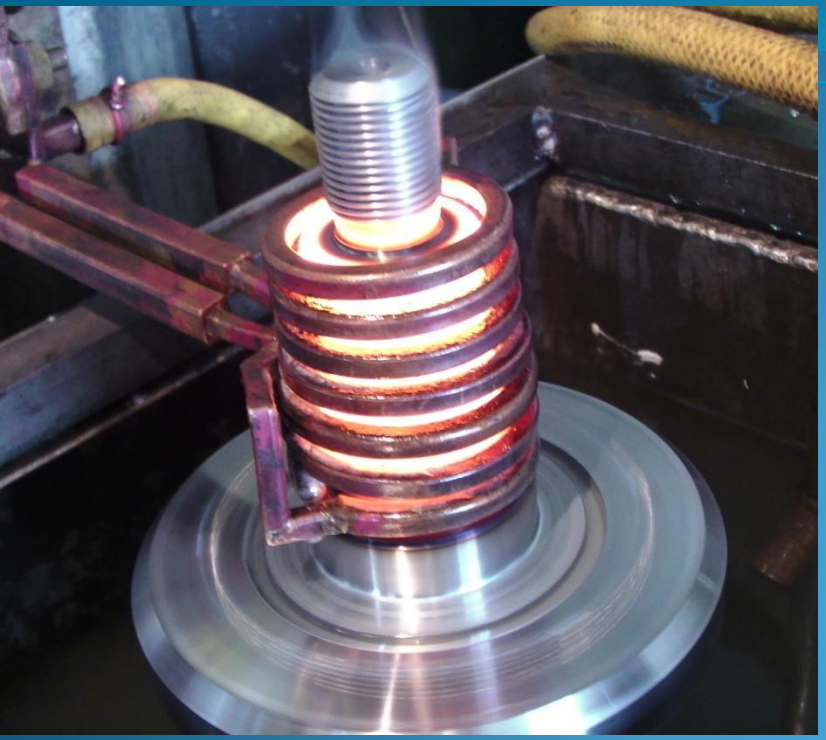
Поверхностной закалкой называют процесс термической обработки, представляющий собой нагрев поверхностного слоя стали до температуры выше точки Ac3 для доэвтектоидной стали и выше точки Ac1 для заэвтектоидной стали и последующее охлаждение с целью получения в поверхностном слое структуры мартенсита

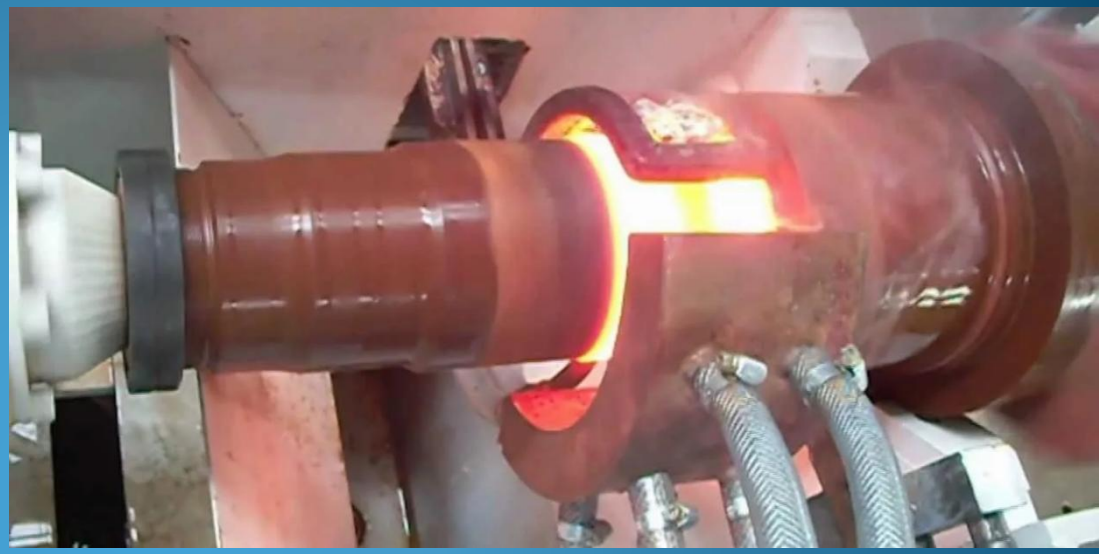


Поверхностную закалку применяют для повышения износостойкости деталей и сопротивления усталости при сохранении высокого сопротивления динамическим нагрузкам благодаря высокой пластичности сердцевины

Виды поверхностной закалки:

1. Поверхностная закалка при нагреве ТВЧ (током высокой частоты)





Изделие, подлежащие нагреву, помещают внутрь спирали из медной трубки, т.е. в индуктор. Через индуктор пропускают ток высокой частоты большой силы, который создает вокруг изделия мощное переменное магнитное поле, в результате чего изделие перемагничивается много раз в секунду, в нем возникают короткозамкнутые вихревые токи. Продолжительность нагрева ТВЧ исчисляется секундами

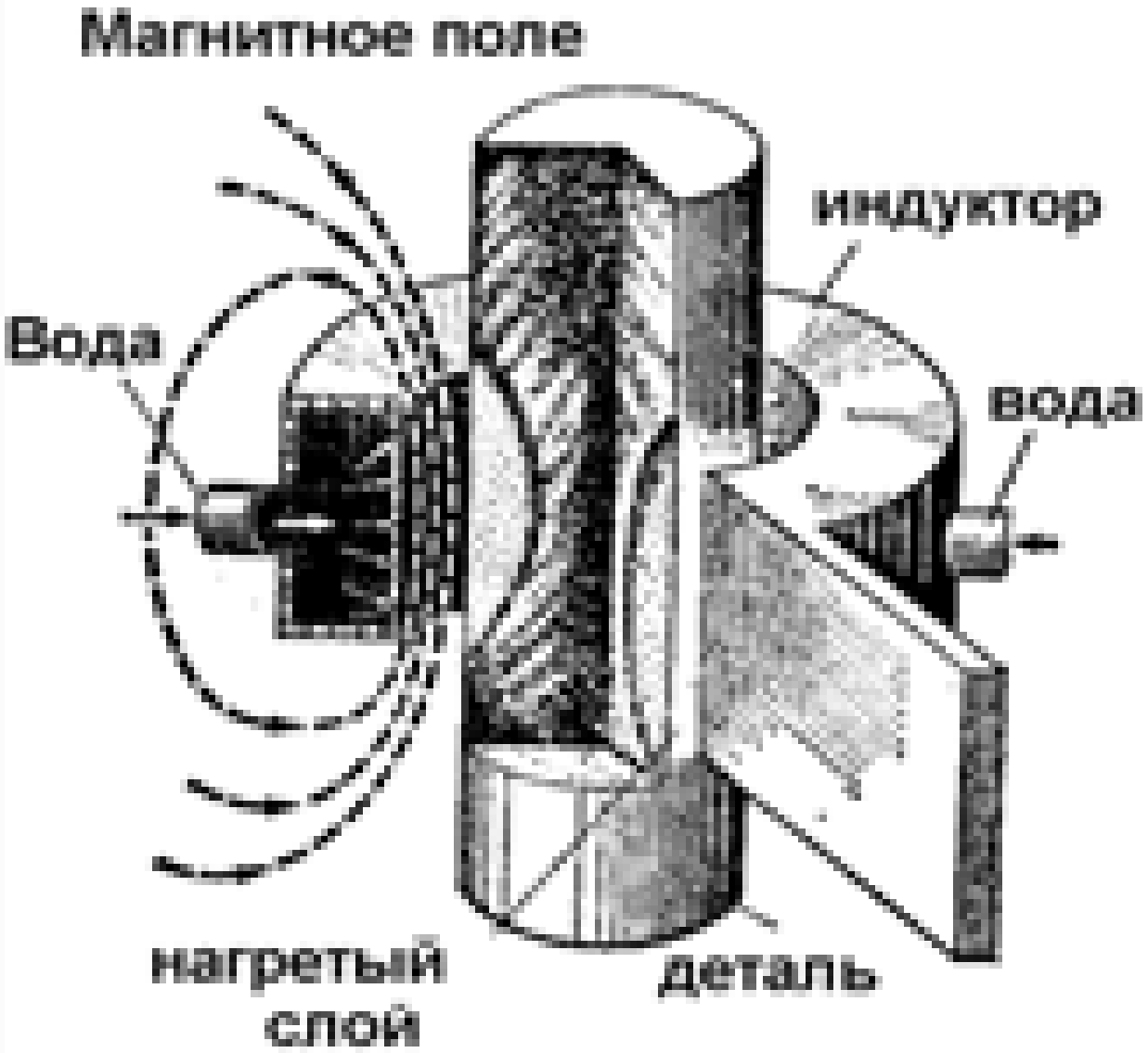
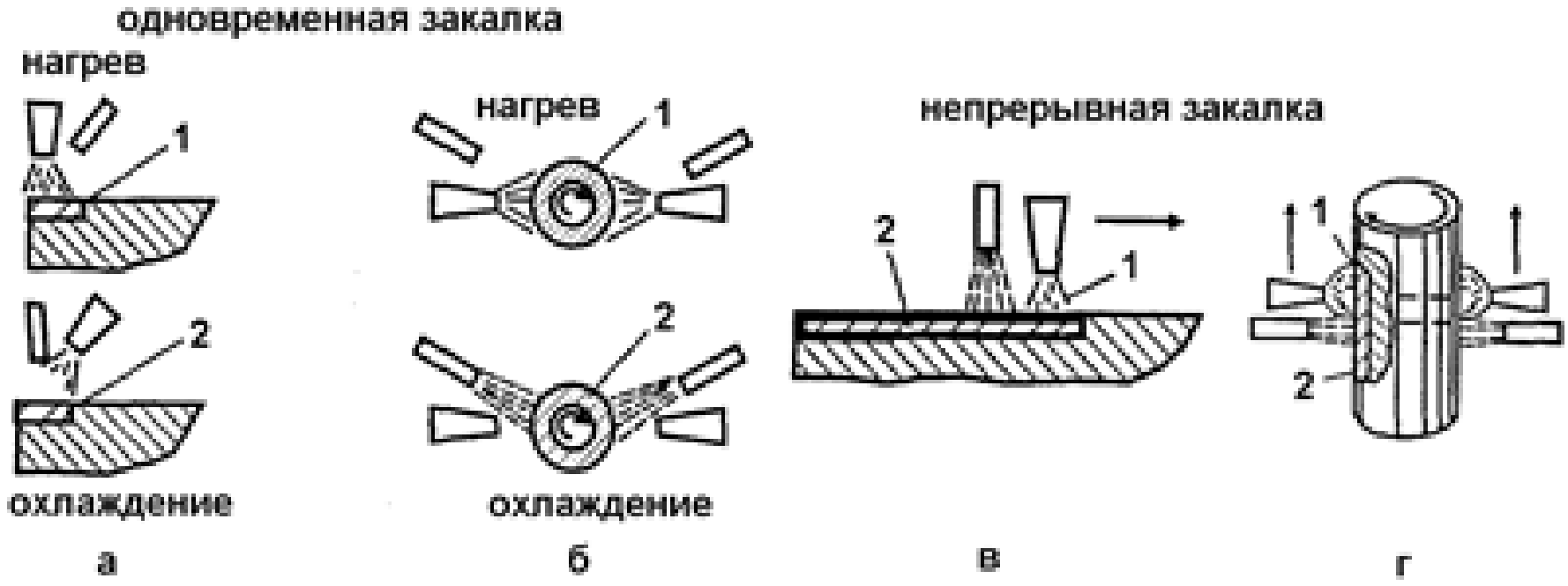


Схема индукционного нагрева

2. Поверхностная закалка при нагреве пламенем (газопламенный нагрев)

Используют ацетиленокислородное пламя с температурой 3100-3200 °С



Схемы способов закалки с газопламенным нагревом:
а - стационарный; б - вращательный; в - поступательный;
г - комбинированный;
1 - зона нагрева; 2 - зона охлаждения

3. Поверхностная закалка при при контактном нагреве

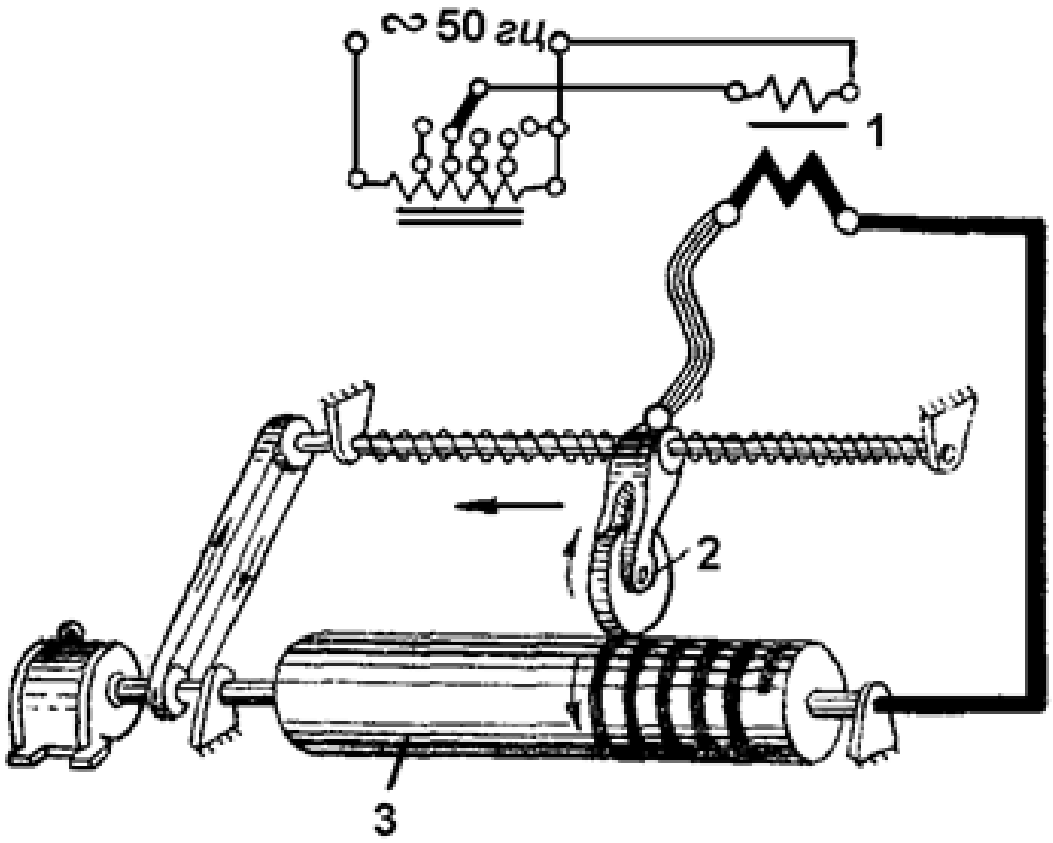
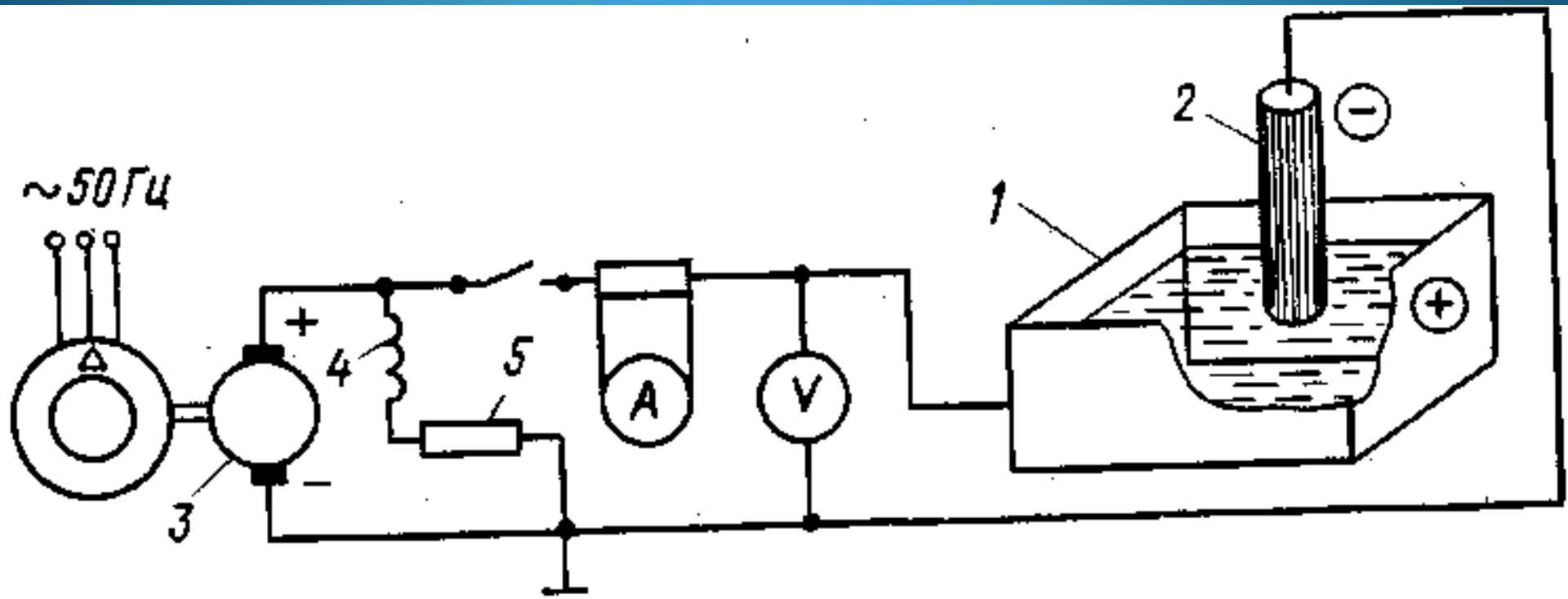


Схема контактной закалки по методу Н.В.Гевелинга:
1 - сварочный трансформатор;
2 - контактный ролик;
3 - изделие.

Ток из сети через понижающей трансформатор подводится к медным роликам, которые перекатываются по поверхности изделия и нагревают его. Изделие при этом служит как бы сопротивлением, включенным в цепь. Вслед за роликами движется душевое устройство; в качестве охлаждающей жидкости обычно применяется вода

4. Поверхностная закалка при нагреве в электролите

Изделие погружают в ванну с электролитом (например, 5-процентным раствором Na2CO3), через который пропускают постоянный ток напряжением 220-380 В. ванна служит анодом, а деталь- катодом, вокруг которого образуется плотный слой водорода с очень высоким сопротивлением, вследствие чего водородная рубашка быстро нагревается до температуры 1800-2000º С и в течении нескольких секунд нагревает поверхность детали до температуры выше точки Ас3. Нагретую деталь охлаждают в том же электролите после выключения тока или сбрасывают в закалочный бак



https://learningapps.org/watch?v=p713voptt24

Химико-термическая обработка стали.

Физические основы химико-термической обработки

Химико-термическая обработка (ХТО) - сочетание термического и химического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя детали в необходимом направлении

Стадии ХТО:

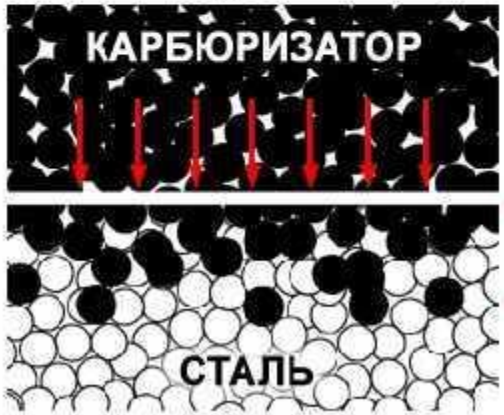
- образование активных атомов в насыщающей среде и диффузию их к поверхности обрабатываемого материала;
- адсорбцию образовавшихся активных атомов с поверхностью насыщения;
- диффузию – перемещение адсорбированных атомов в поверхность металла.

Диффузия в технике

ДО ЦЕМЕНТАЦИИ

5 - 10 часов
1000 °С

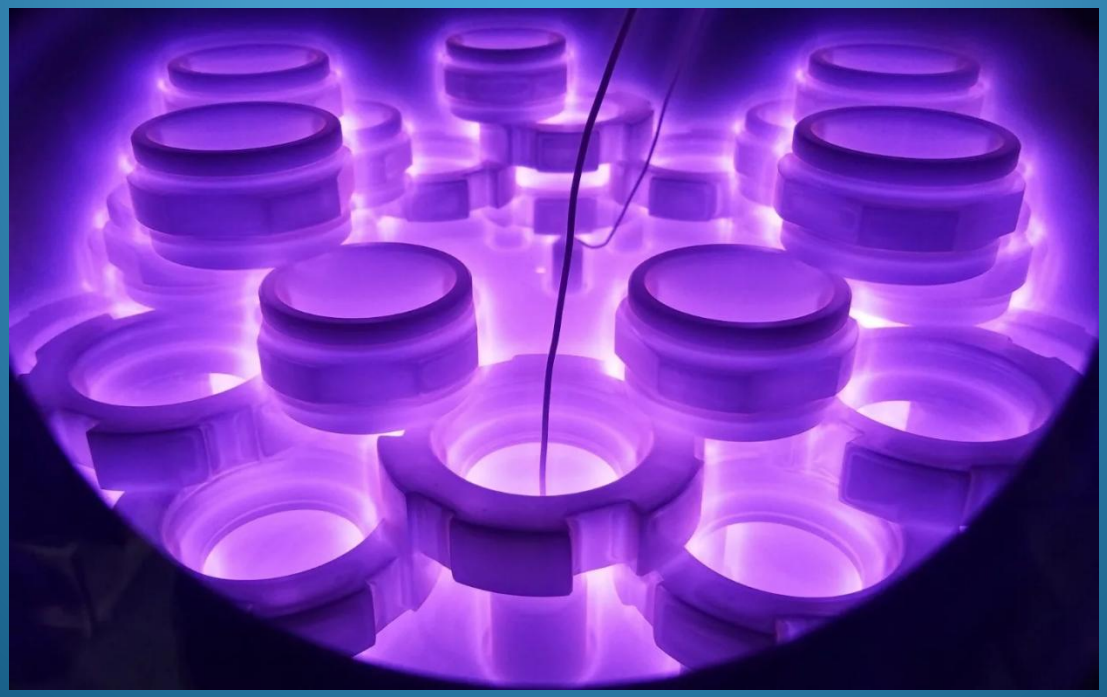
СХЕМА ПРОНИКНОВЕНИЯ
УГЛЕРОДА В СТАЛЬ



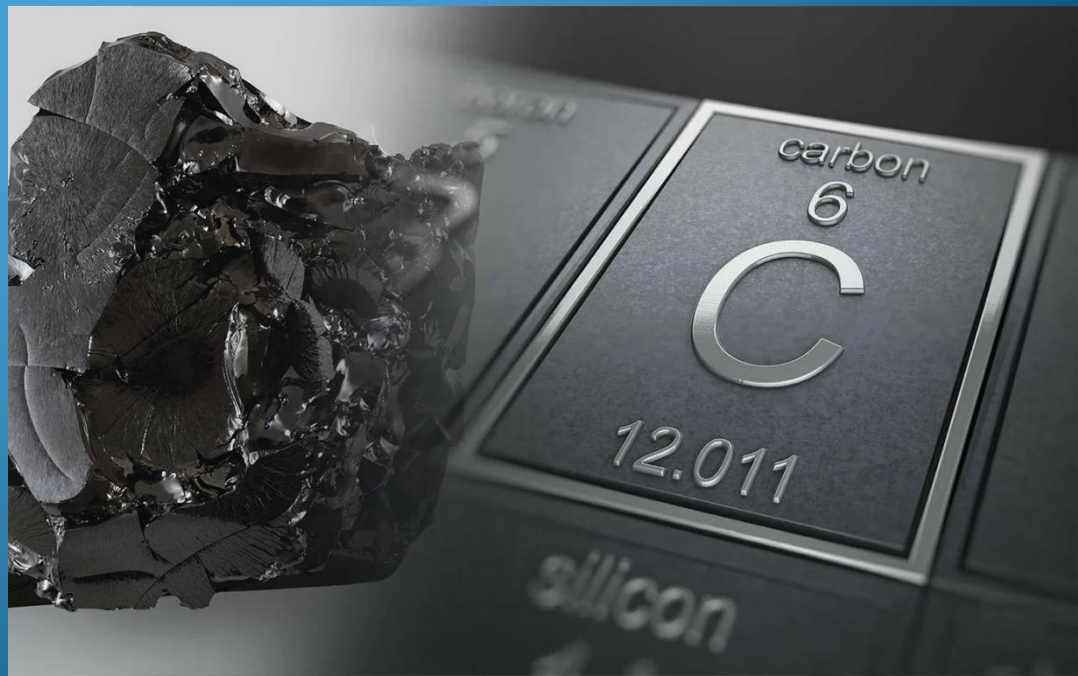
ПОСЛЕ ЦЕМЕНТАЦИИ

https://learningapps.org/watch?v=p7hoeq7an24

Диффузионное насыщение углеродом и азотом



Цементация стали - насыщение углеродом поверхностного слоя изделия



Основная цель цементации является получение деталей машин с твердой износостойкой поверхностью при сохранении вязкой хорошо выдерживающей динамические нагрузки сердцевиной

Физическая сущность цементации основана на диффузии атомарного углерода в твердое тело детали при высоких температурах

Различают два вида цементации:

- твердым карбюризатором;
- в газовой среде

Цементация производится при нагреве изделий из низкоуглеродистых сталей в течение 8-10 часов без доступа воздуха до температур 930-950 °С

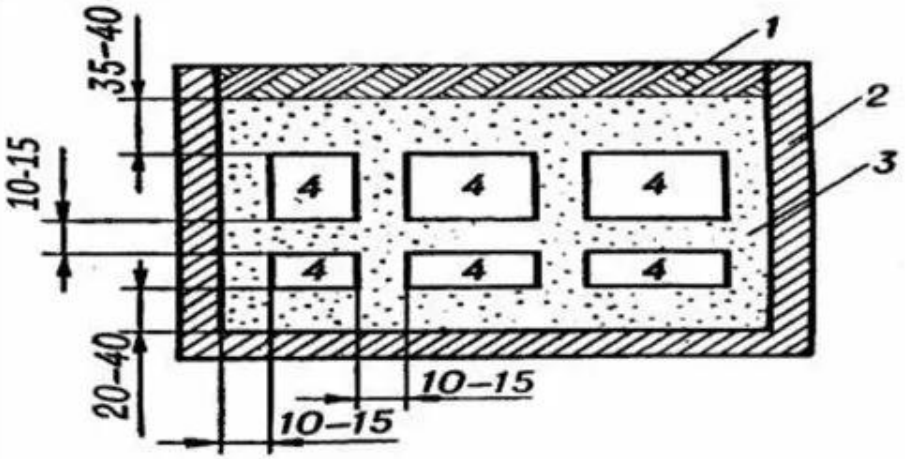
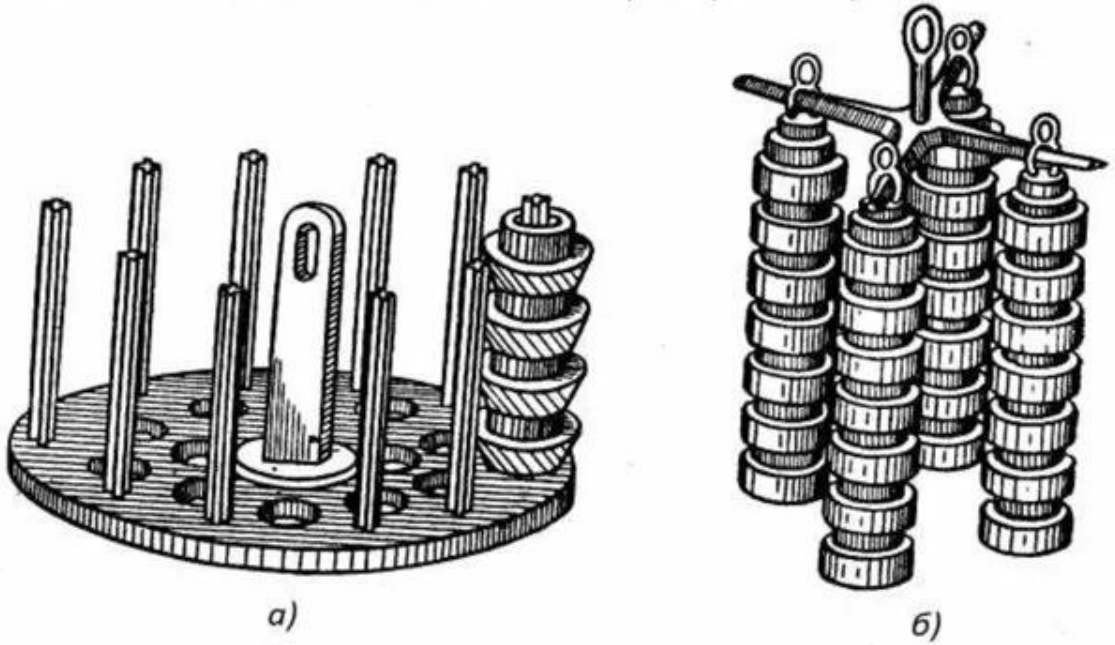
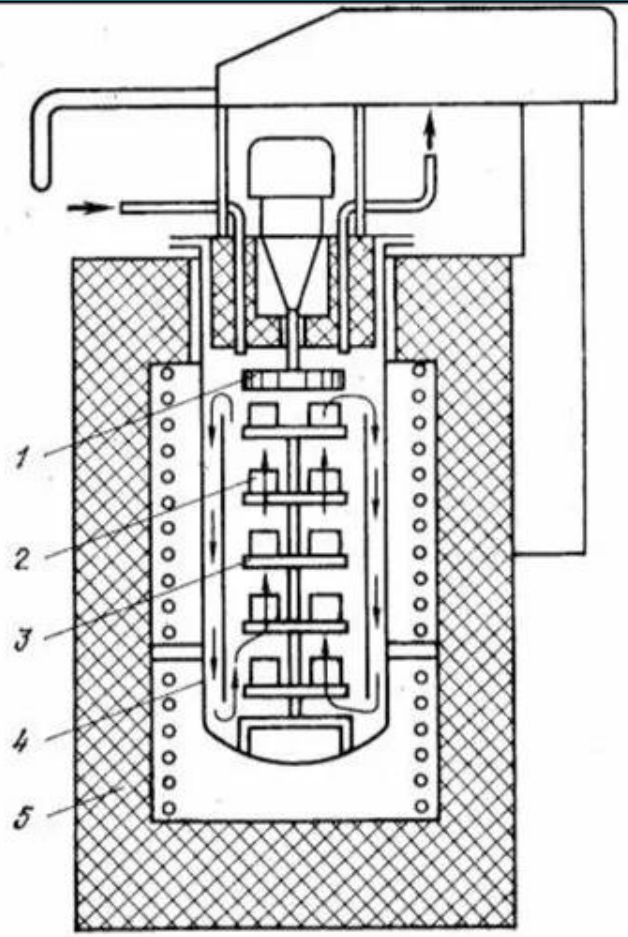


Схема упаковки деталей в цементационный ящик:
1 – обмазка; 2 – ящик; 3 – карбюризатор; 4 – детали



Приспособление для цементации зубчатых колес средних и мелких размеров (а) и крестовина со штангами для подвески зубчатых колес



Общий вид шахтной печи для цементации стали:
1 – вентилятор;
2 - цементуемые изделия;
3 – приспособления для укладки деталей;
4 – контейнер;
5 - электропечь

Для цементации в твердом карбюризаторе детали помещают в металлический герметичный контейнер с углеродосодержащей средой – карбюризатором

В качестве твердого карбюризатора обычно используется древесный уголь, графит, кокс и другие материалы. При недостатке воздуха (кислорода) углерод сгорает с образованием окиси углерода CO, которая разлагается по реакции:

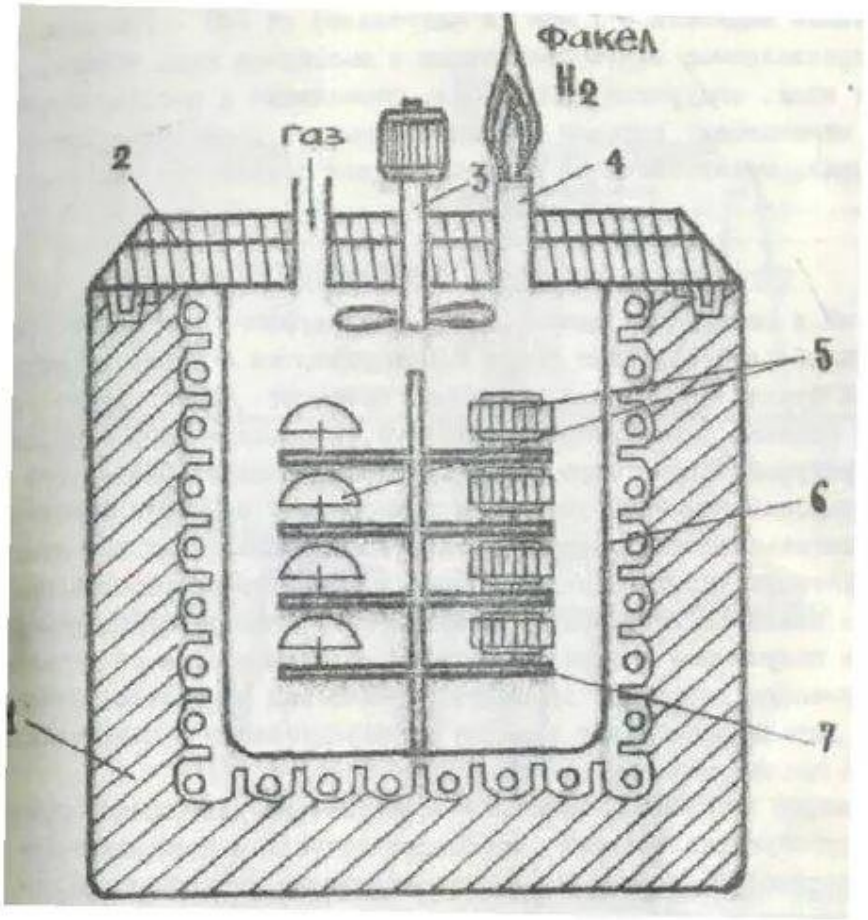
$2CO \rightarrow CO_2 + C$ (атомарный)

После цементации изделия подвергаются термической обработке, состоящей из закалки и отпуска

Процесс цементации состоит из 3-х стадий:

- диссоциации, когда в результате распада молекул окиси углерода образуется атомарный углерод;
- адсорбции, когда атомы углерода концентрируются на поверхности стальной детали, образуя химические связи с атомами металла;
- диффузии, когда атомы углерода диффузионным путем проникают в глубь металла.

Схема процесса газовой цементации



1- электрическая печь;

2 – крышка;

3 – вентилятор;

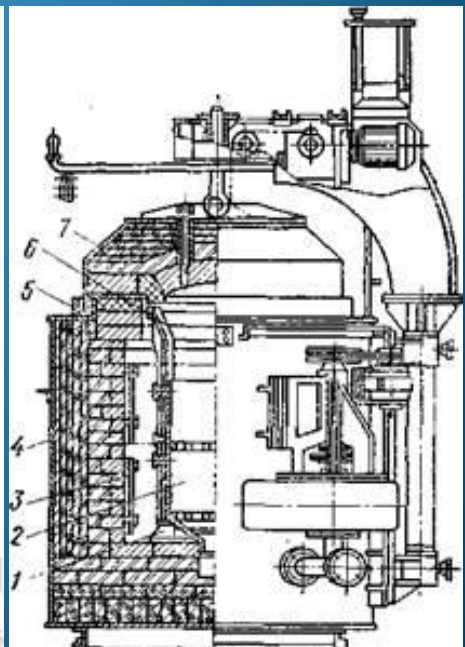
4 - патрубок вывода газа;

5 – изделия (шаровые опоры шестерни);

6 – муфель (реторта);

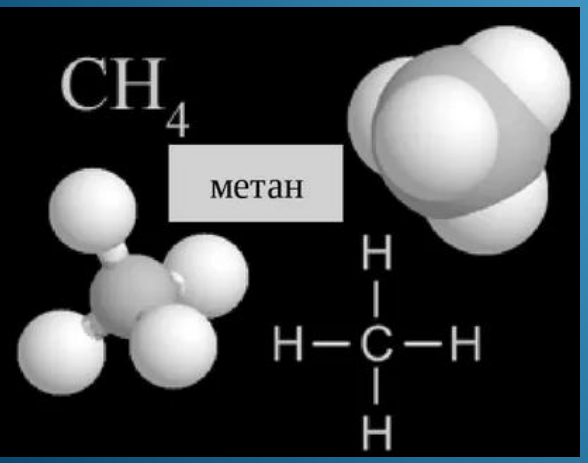
7 – подставка для крепления цементируемых изделий;

Газовая цементация проводится в шахтных, муфельных и безмуфельных печах



В качестве науглероживающей атмосферы используют метан, керосин, бензол. Атомарный углерод получают

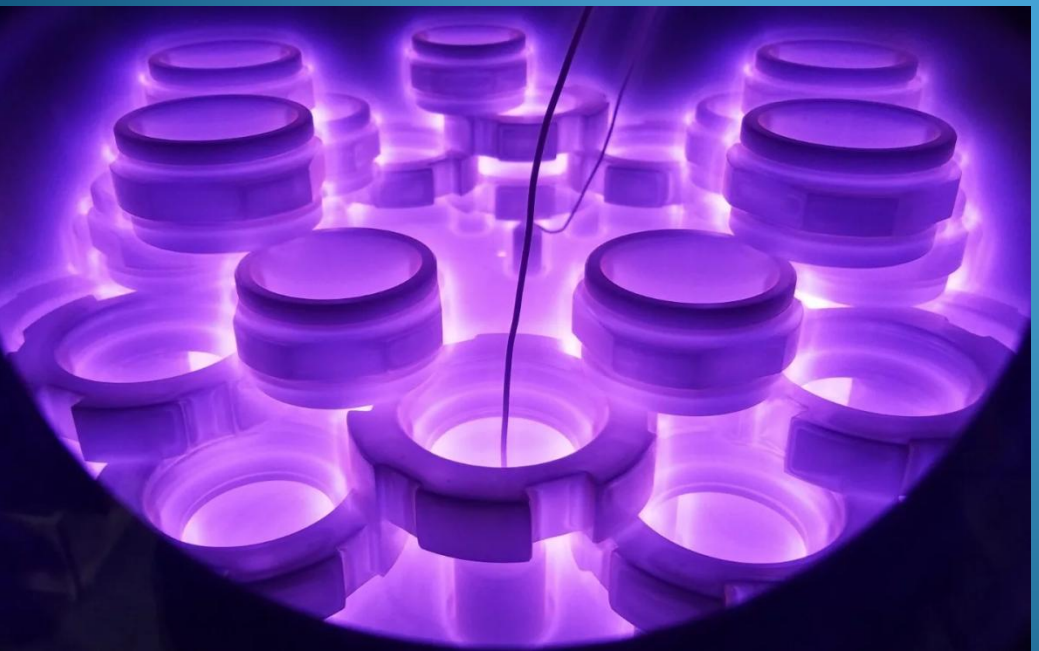
$CH_4 \rightarrow 2H_2 + C_{атомар}$

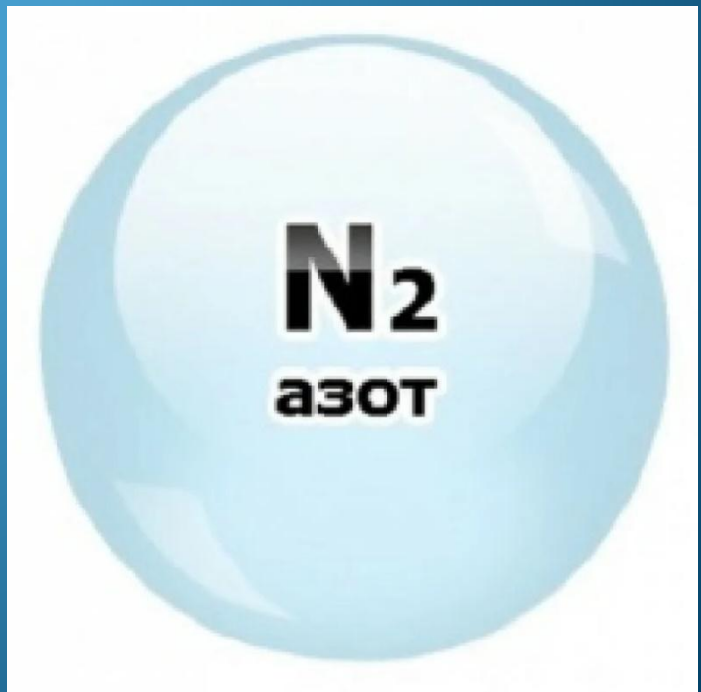


При газовой цементации сокращается длительность процесса и можно получить заданную концентрацию углерода в слое

При газовой цементации используется тепло непосредственного нагрева под цементацию для последующего контролируемого охлаждения до температур 820-850 °С и непосредственно закалки. После закалки проводят низкий отпуск

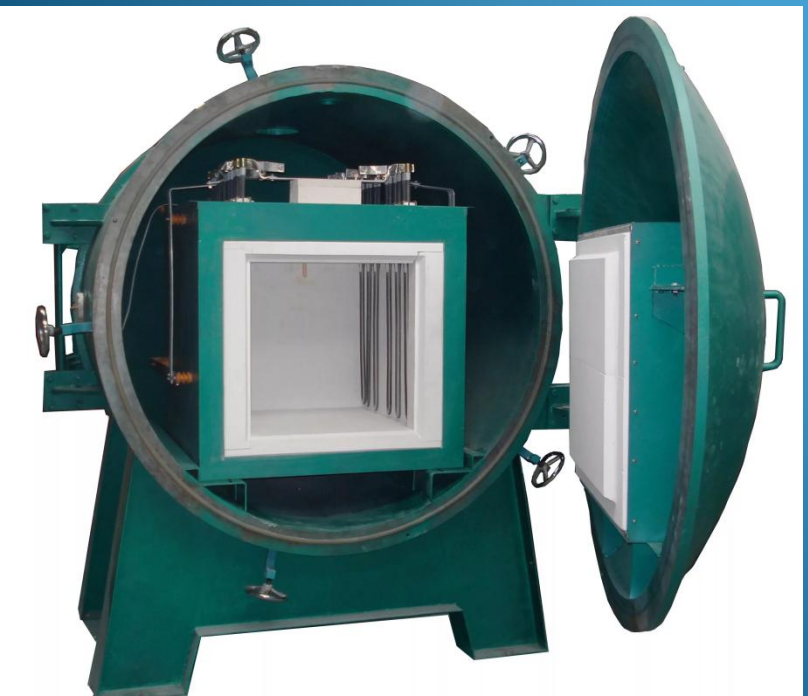
Азотирование - насыщение азотом поверхностного слоя изделия





С целью повышения твердости (до 72 HRC), износоустойчивости поверхности, усталостной прочности и коррозионной стойкости деталей

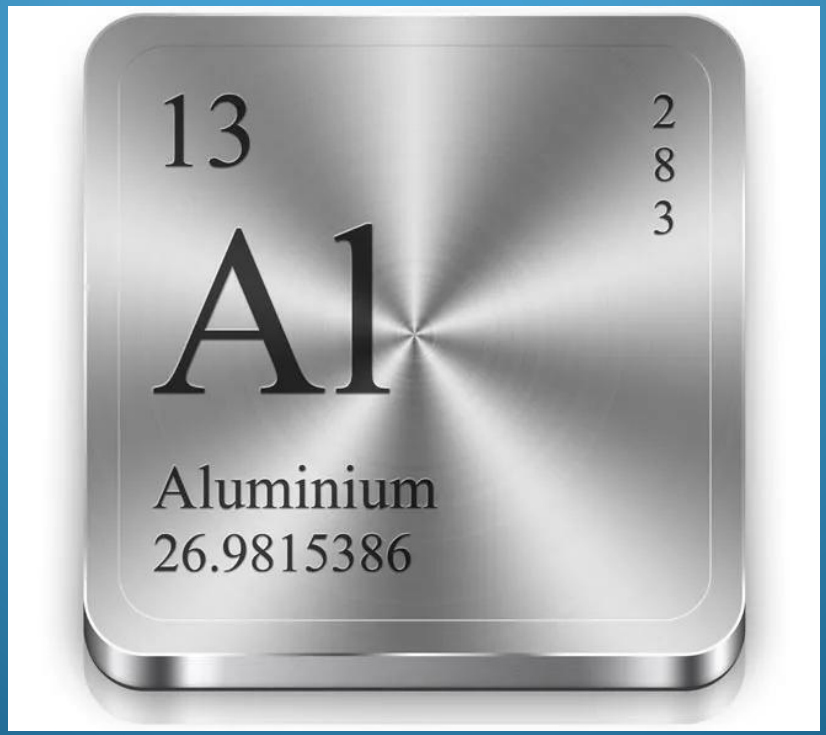
Азотирование проводят при температурах 480-650 °С в течении 8-90 ч. Глубина азотированного слоя – 0,1 - 0,8 мм. По окончании процесса азотирования детали охлаждают до 200-300 °С вместе с печью в потоке аммиака, а затем на воздухе. Повышение температуры ускоряет процесс, но снижает твердость азотированного слоя



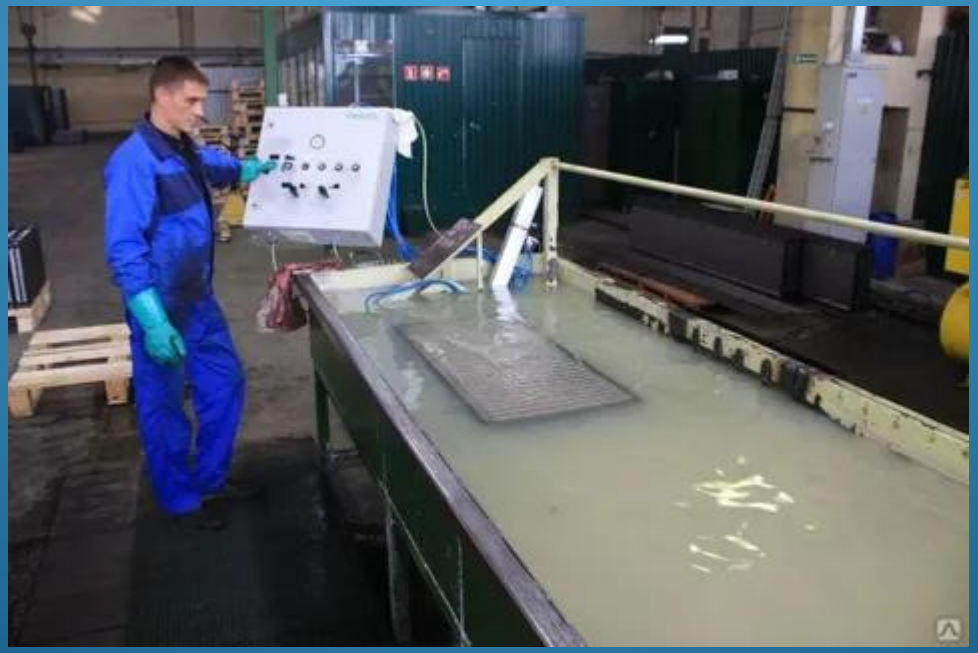
Для нагрева деталей служат специальные печи, в которые подается аммиак NH_3. При нагреве аммиак разлагается: $2NH_3 \rightarrow 3H_2 + 2N$ атомарный. Атомарный азот N поглощается поверхностью стали и проникает в глубь детали

Диффузионное насыщение металлами и неметаллами

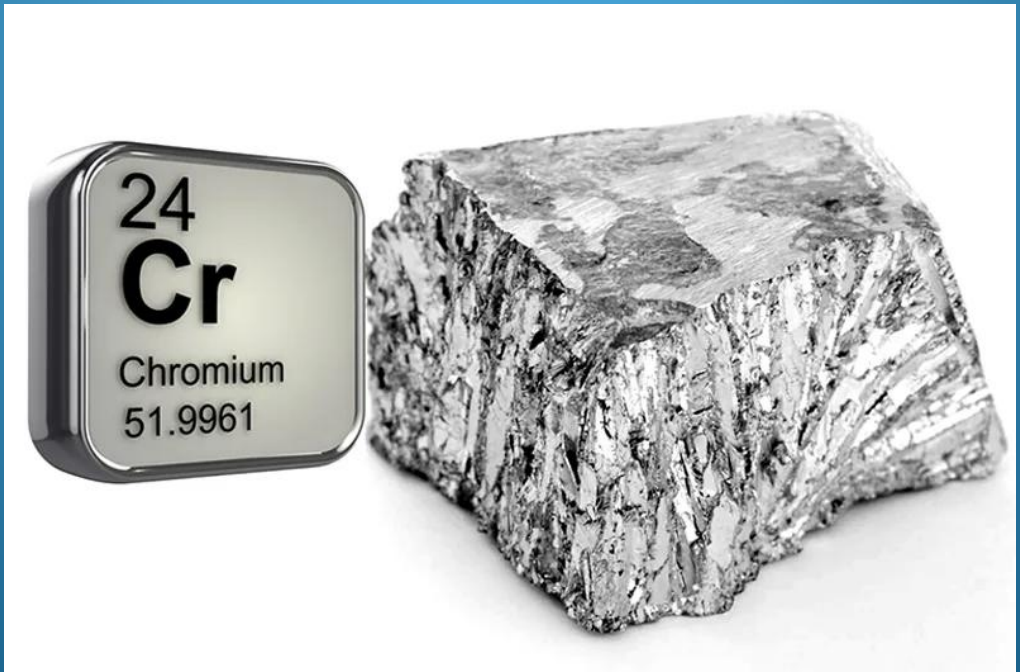
Алитирование - насыщение алюминием поверхностного слоя изделия с целью повышения жаростойкости



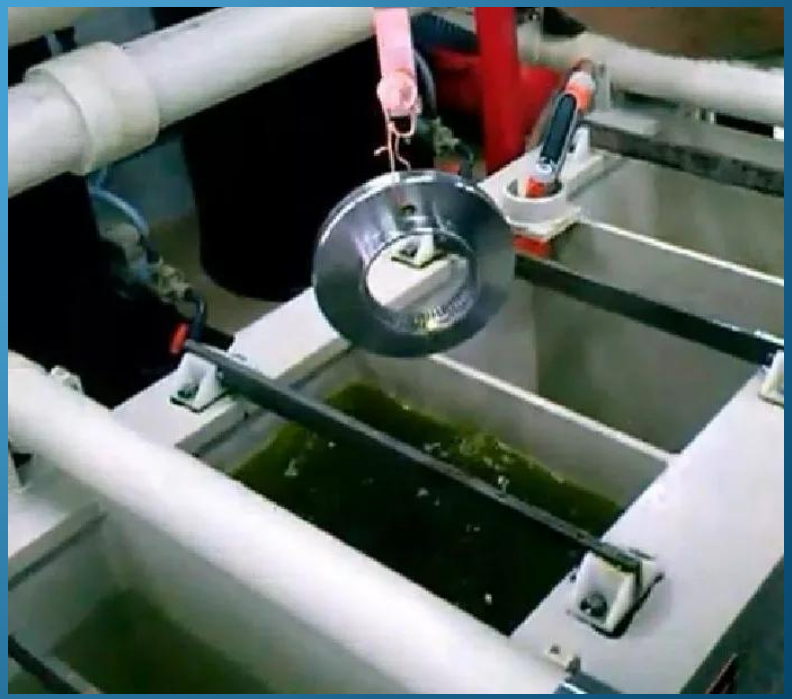
Алитирование осуществляется в порошкообразных смесях, в ваннах с расплавленным алюминием при температурах 700-800 ◦С в течении 45 - 90 мин, а также напылением с последующим диффузионным отжигом при 900-1000 ◦С



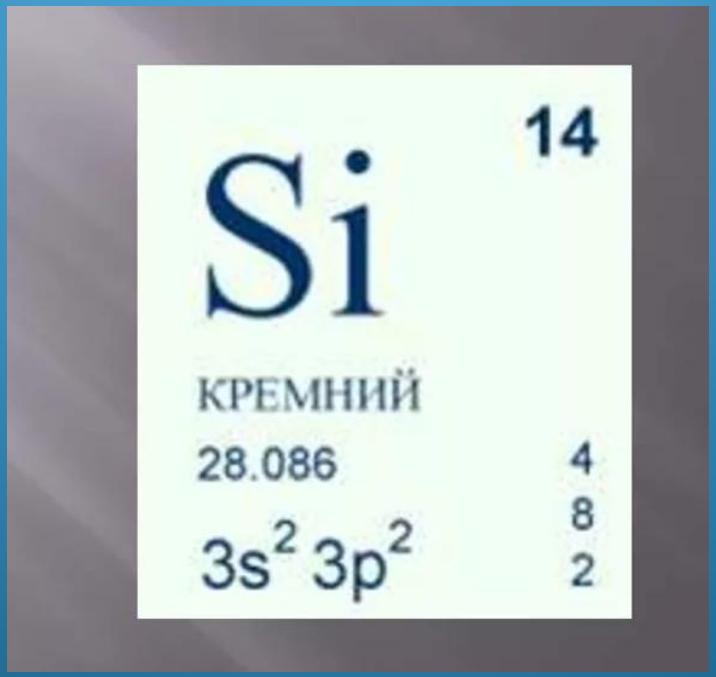
Хромирование - насыщение хромом поверхностного слоя изделия с целью повышения коррозионной стойкости, жаростойкости , твердости и износостойкости



Для хромирования используются жидкая, твердая и газообразная среды. Процесс ведут при 900-1100 °С в течении 5-20 ч

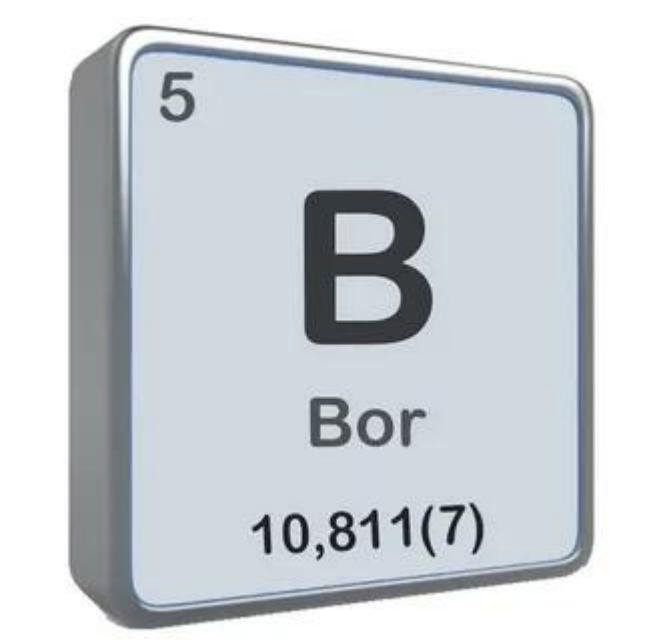


Силицирование – насыщение кремнием поверхностей стальных деталей, обеспечивающие повышение коррозионной стойкости и жаростойкости



Силицирование проводят в порошкообразных смесях, 30% окиси алюминия и 1% хлористого аммония, а также в газовой среде во вращающихся ретортах

Борирование – насыщение поверхностного слоя изделия бором с целью повышения твердости, коррозионной стойкости, теплостойкости и жаростойкости



Недостаток борированного слоя – хрупкость

https://learningapps.org/watch?v=pqvip195t24

Тема 6:
Конструкционные легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям

Детали машин и приборов, передающих нагрузку, должны обладать **жесткостью и прочностью**, достаточными для ограничения упругой и пластической деформации, при гарантированной **надежности и долговечности**

Маркировка легированных конструкционных сталей и роль отдельных легирующих элементов

В **низколегированных сталях** количество легирующих элементов не превышает **5%**, в **среднелегированных** содержится **от 5 до 10%**, в **высоколегированных** более **10%**

КАЧЕСТВЕННЫЕ

20ХН

Шестерни, втулки, пальцы, детали крепежа и другие детали, от которых требуется повышенная вязкость и умеренная прокаливаемость

КАЧЕСТВЕННЫЕ

40ХС

Валы, шестерни, муфты, пальцы и другие улучшаемые детали небольших размеров, к которым предъявляются требования высокой прочности, упругости, износостойкости

20ХН - сталь конструкционная, качественная, хромникелевая, Х (хром до 1%), Н (никель до 1%), низколегированная, (С – углерод 0,20%), остальное железо и примеси

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ

30ХН3А, 20Х2Н4А

Для тяжелонагруженных ответственных деталей

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ

30ХН3А

Венцы ведомых колес тяговых зубчатых передач электропоездов, шестерни и другие улучшаемые детали

30ХН3А - сталь конструкционная, (А) – высококачественная, Х (хром до 1%), Н (никель до 3%), среднелегированная (хромникелевая), (углерод С - 0,30%), остальное железо и примеси, упрочнаемая ТО (закалка + высокий отпуск)

Легированные элементы

Хром – повышает прокаливаемость. Способствует получению твердых и износостойких рабочих поверхностей. При содержании более 12 % придает высокие антикоррозионные и жаростойкие качества. Недостаток – повышает склонность стали к отпускной хрупкости.

Никель– увеличивает прокаливаемость, в особенности в сочетании с хромом. Способствует повышению прочности и коррозионной стойкости при высоких температурах. В результате закалки обеспечивает получение мелкозернистой структуры, отличающейся повышенной прочностью, высокой пластичностью и вязкостью

Стали цементируемые, улучшаемые, высокопрочные, пружинные, подшипниковые, износостойкие

ЦЕМЕНТИРУЕМЫЕ

15Х, 20Х

Втулки, пальцы, шестерни, валики, толкатели и другие цементуемые детали, к которым предъявляется требование высокой поверхностной твердости при невысокой прочности сердцевины, детали, работающие в условиях износа при трении

15Х - сталь конструкционная, качественная, Х (хром до 1%), низколегированная, (углерод С - 0,15%), остальное железо и примеси

УЛУЧШАЕМЫЕ

40Х, 40ХФА, 30ХГСА, 38ХН3МФА

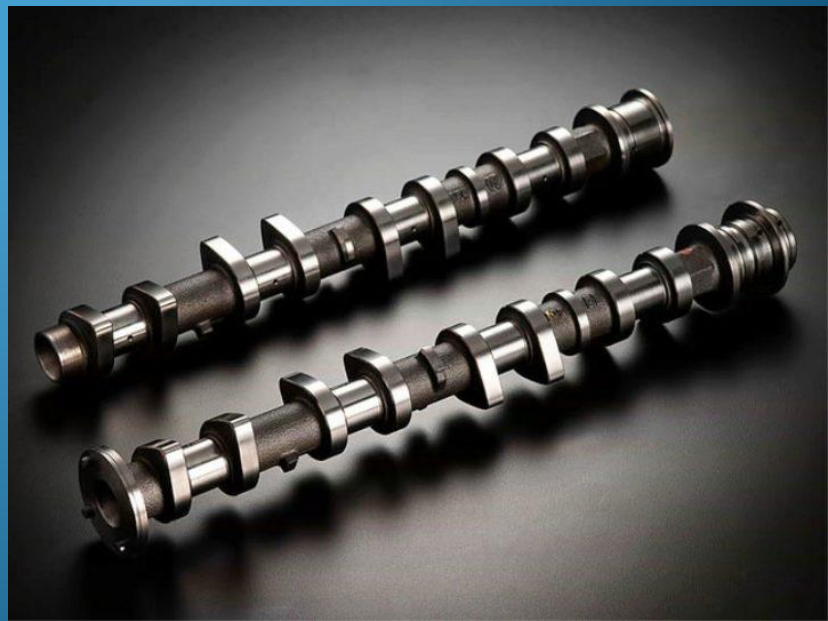
Тяжелонагруженные детали, работающие при температурах до 400 ◦С

38ХН3МФА - сталь конструкционная, (А) - высококачественная, Х (хром до 1%), Н (никель до 3%), М (молибден до 1%), Ф (ванадий до 1%), среднелегированная, (углерод С - 0,38%), остальное железо и примеси

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ

30ХГСН2А, 40ХН2МА, 03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ

Для деталей рассчитываемых на особые нагрузки



30ХГСН2А - сталь конструкционная, (А) - высококачественная, Х (хром до 1%), Г (марганец до 1%), С (кремний до 1%) , Н (никель до 2%), среднелегированная, (углерод С - 0,30%), остальное железо и примеси

ПРУЖИННЫЕ

60С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР, 50ХГ, 50ХГФА, 60С2Г, 65С2ВА

Для рессор и пружин

60С2 - сталь конструкционная, пружинная, С (кремний до 2%), низколегированная, (углерод С - 0,60%), остальное железо и примеси

ПОДШИПНИКОВЫЕ

ШХ4, ШХ15, ШХ20

Для колец, шариков и роликов подшипников качения

ШХ20 - сталь конструкционная, (Ш)-шарикоподшипниковая, Х (хром до 2%), низколегированная, (углерод С - до 1%), остальное железо и примеси

ИЗНОСОСТОЙКИЕ

110Г13Л

Большие удельные нагрузки

110Г13Л - сталь конструкционная, (Л)-литейная, Г (марганец до 13%), высоколегированная, (углерод С - до 1,1%), остальное железо и примеси

Тема 7: Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы

Виды коррозии, методы защиты

Коррозией металлов называют **самопроизвольное разрушение** металлических материалов вследствие **химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой**

Коррозионно-стойкими называют металлы и сплавы, в которых процесс коррозии развивается с малой скоростью

Отмечают два вида коррозии: электрохимическую и химическую

Электрохимическая коррозия развивается в жидких электролитах: влажных атмосфере и почве; морской и речной воде; водных растворах солей, щелочей и кислот

Химическая коррозия - это взаимодействие металлов с сухими газами (сухой воздух, углекислый газ, сухой водяной пар и чистый кислород) или жидкостями, не проводящими электрический ток: металлы при термической обработке, детали двигателей внутреннего сгорания, арматура печей, бензобаки, нефтепроводы, нефтехимическое оборудование

Коррозионно-стойкие стали: хромистые и хромоникелевые

Коррозионно-стойкие стали являются высоколегированными и содержат не менее 13% Cr

ХРОМИСТЫЕ

08Х13, 12Х13, 20Х13, 20Х13

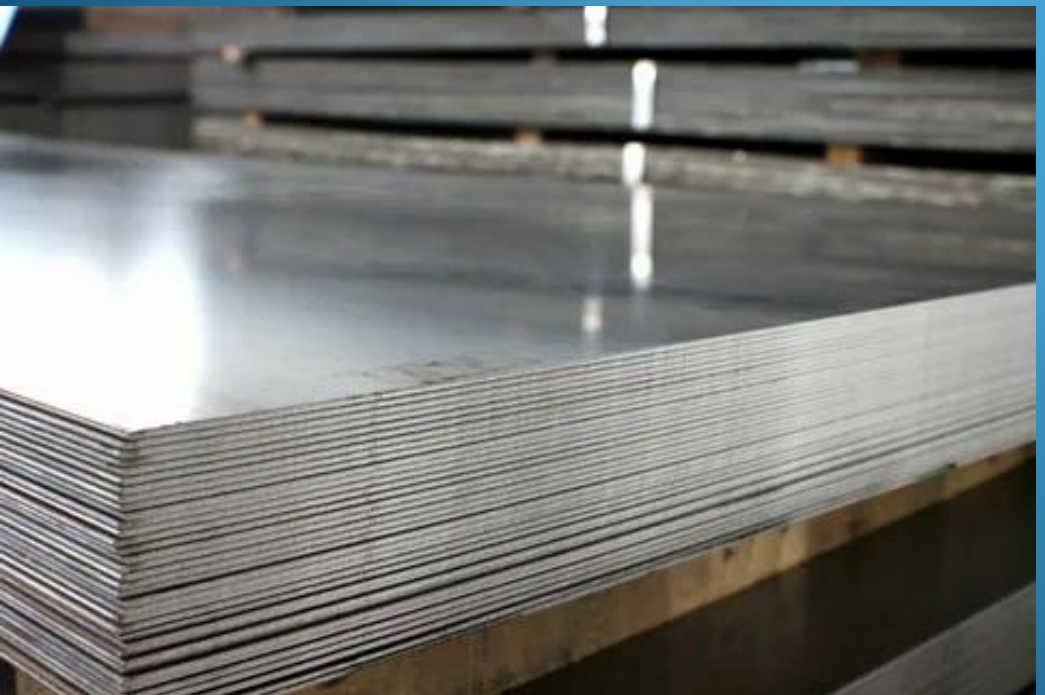
Изделия, подвергающиеся действию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, водные растворы солей органических кислот при комнатной температуре и другие), лопатки паровых турбин, клапаны, болты и трубы

08Х13 – сталь коррозионно-стойкая, Х (хром до 13%), высоколегированная (хромистая), (углерод С - 0,08%), остальное железо и примеси

ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ

08Х18Н10, 12Х18Н9

Холоднокатанный лист, для изготовления труб



08Х18Н10 – сталь коррозионно-стойкая, Х (хром до 18%), Н (никель до 10%), высоколегированная (хромоникелевая), (углерод С - 0,08%), остальное железо и примеси

Жаростойкость и методы ее повышения

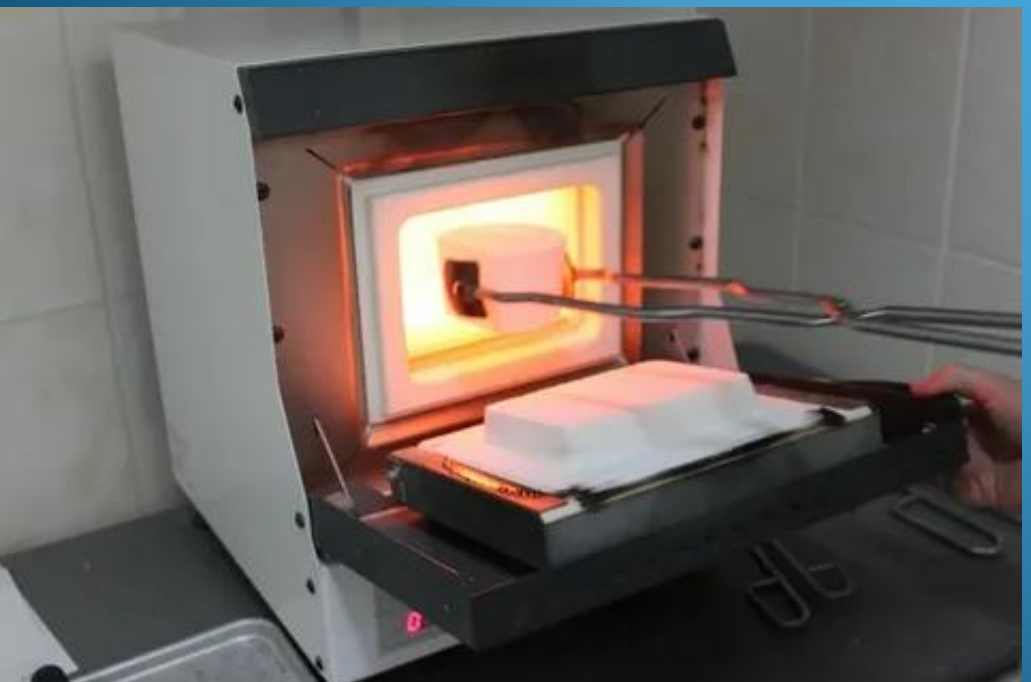
Жаростойкостью называется способность металла сопротивляться коррозионному воздействию газа при высоких температурах

Жаростойкие стали

ЖАРОСТОЙКИЕ

Х13Ю4, Х23Ю5Т, Х20Н80, 20Х25Н20С2, 20Х23Н18, 15Х25Т

Муфельные печи



20Х23Н18 - сталь жаростойкая, высоколегированная, Х (хром до 23%), Н (никель до 18%), (углерод С - 0,20%), остальное железо и примеси

Жаропрочность и методы ее повышения

Жаропрочностью называется способность материала длительное время сопротивляться деформированию и разрушению, когда рабочие температуры деталей превышают $0{,}3t_{пл}$

Явление ползучести

Ползучесть представляет собой медленное нарастание пластической деформации под действием напряжений, меньших предела текучести

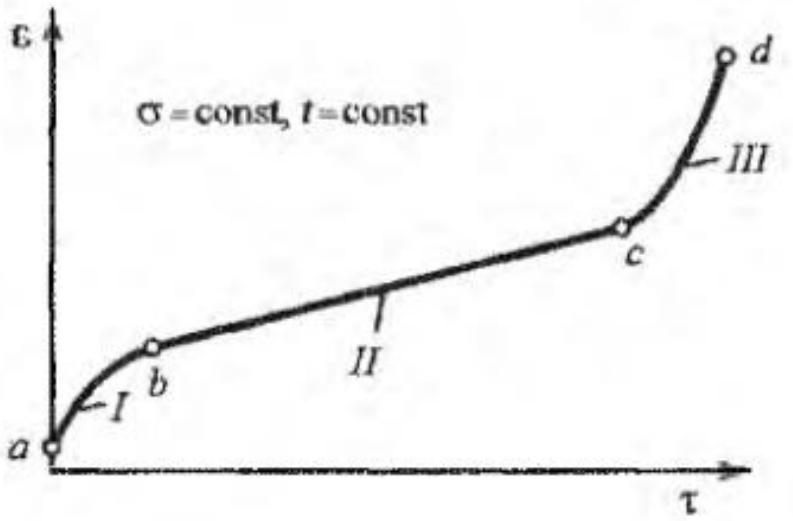


Рис. 15.7. Кривая ползучести:
I – неустановившаяся стадия; *II* – установившаяся стадия; *III* – стадия разрушения

Жаропрочные стали. Жаропрочные сплавы на железоникелевой и никелевой основах

ЖАРОПРОЧНЫЕ

15Х11МФ, 45Х14Н14В2М

Клапаны моторов

45Х14Н14В2М - сталь жаропрочная, коррозионно-стойкая, высоколегированная, Х (хром до 14%), Н (никель до 14%), В (вольфрам до 2%), М (молибден до 1%), (углерод С - 0,45%), остальное железо и примеси

Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе

К тугоплавким относят металлы, у которых температура плавления превышает 1700 °С

ТУГОПЛАВКИЕ

ВХ2, ВХ4

Электроды, в производстве автомобилей

ВХ2 (0,15Ti; 0,2V; 1Y)

ВХ4 (32Ni; 0,15Ti; 0,25V; 1,5W)

Тема 8: Инструментальные стали

Стали для режущего инструмента: углеродистые, легированные, быстрорежущие

Основные свойства, которыми должен обладать материал для режущих инструментов, — **износостойкость и теплостойкость**

УГЛЕРОДИСТЫЕ

У7, У7А, У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А, У12, У12А

Инструмент, работающий в условиях, не вызывающих разогрева кромки: метчики ручные, надфили, боковые кусачки

У9А – сталь инструментальная, высокоуглеродистая (С - 0,9%), остальное железо и примеси, высококачественная, заэвтектоидная, упрочнаемая ТО (закалка + низкий отпуск)

ЛЕГИРОВАННЫЕ

ХВ4, 9ХС, ХВГ

Метчики, сверла, развертки, фрезы, резцы

9ХС – сталь инструментальная, углерод (С - 0,9%), Х – хром (до 1%), С – кремний (до 1%), остальное железо и примеси

БЫСТРОРЕЖУЩИЕ

Р9, Р18, Р6М5, Р9Ф5, РЮК5Ф5

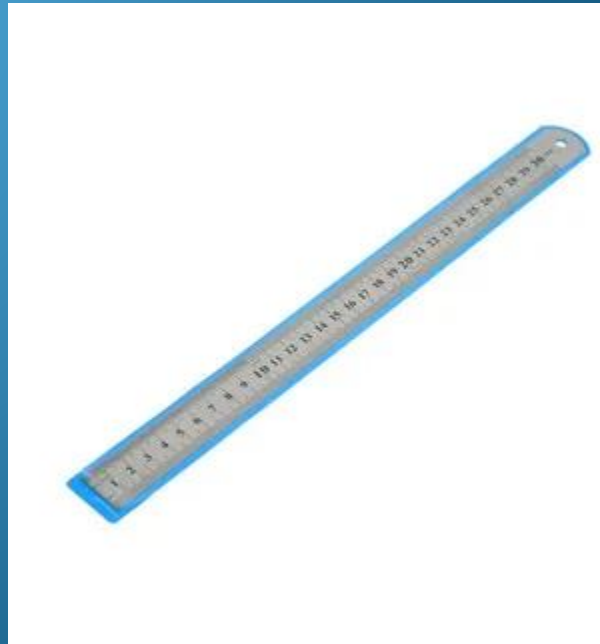
Инструмент, работающий на высоких скоростях резания, так как они обладают высокой теплостойкостью - до + 650°С

Р6М5 – сталь инструментальная быстрорежущая (Р), вольфрам (W) – 6%, молибден (Мо) – 5%, остальное железо и примеси

Стали для измерительного инструмента

У8-У12, 12Х1, ХВГ, Х12Ф1

Измерительные скобы, шкалы, линейки



Штамповые стали

ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ

Горячего деформирования

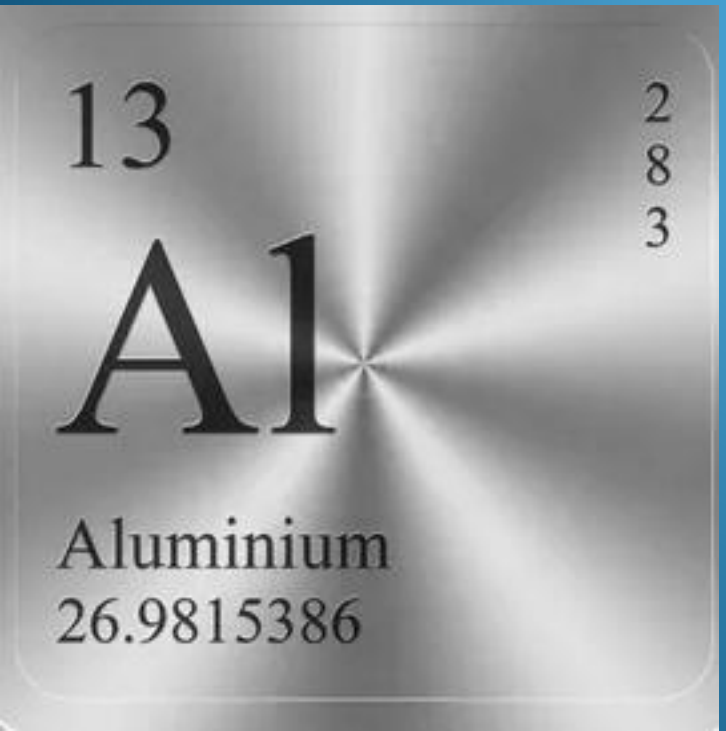
5ХНМ, 5ХНВ, 4Х3ВМФ

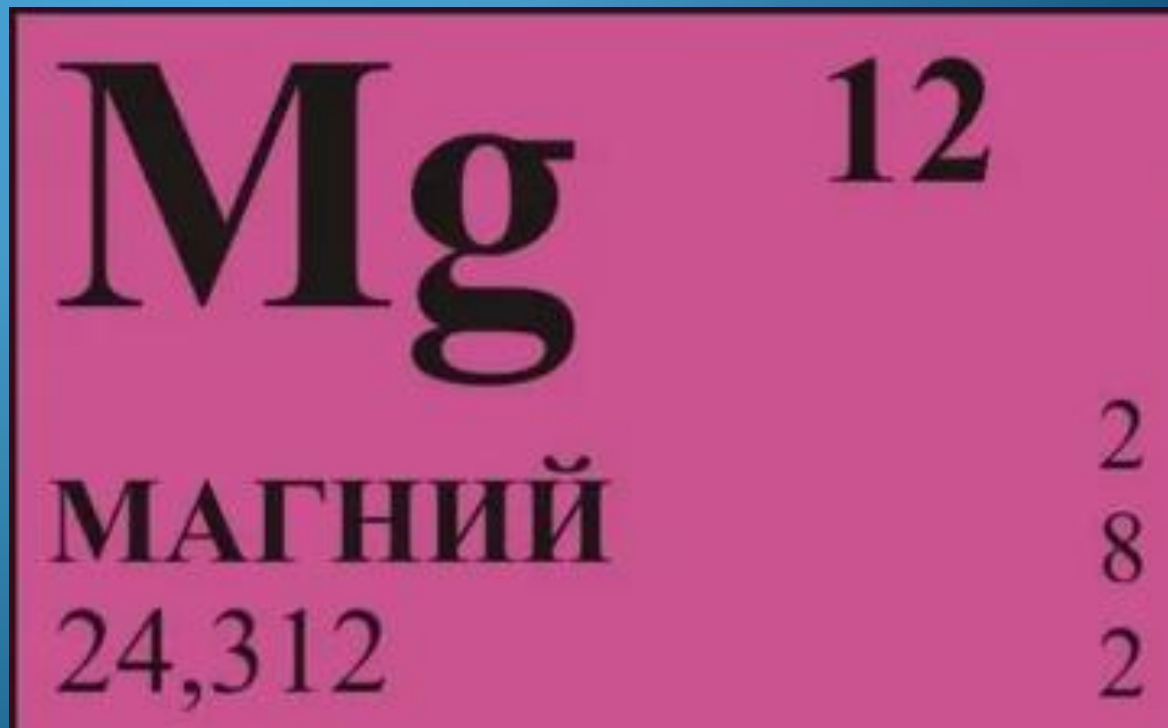
Холодного деформирования

Х12М, Х6ВФ, 7ХГ2ВМ

Х12М – сталь штамповая инструментальная, углерод (С – 1,5%), Х – хром (до 12%), М – молибден (до 1%), остальное железо и примеси

Тема 9: Алюминий, магний и их сплавы



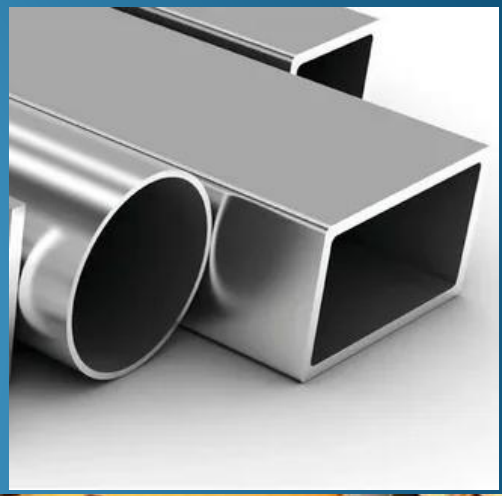


Алюминий и его сплавы. Применение и основные свойства

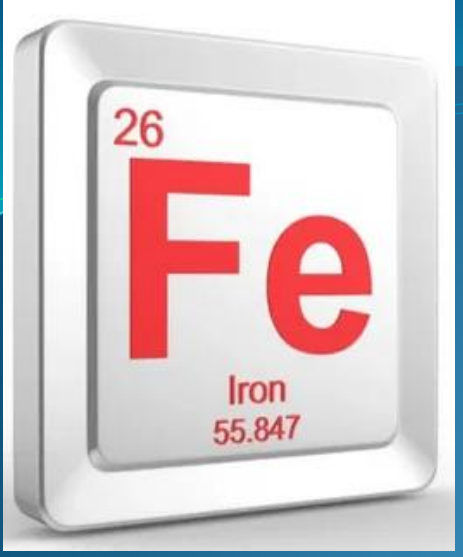
Алюминий — металл серебристо-белого цвета

Алюминий обладает малой плотностью, хорошими теплопроводностью и электрической проводимостью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью

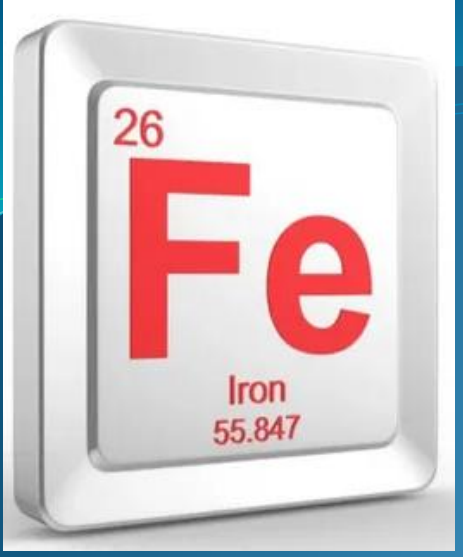
Вещество	Плотность в твердом состоянии*, г/см³
алюминий	2,7
медь	8,9
свинец	11,35
серебро	10,5
сталь	7,8
олово	7,3
цинк	7,1



	Теплопроводность Вт/м·К
Серебро	418,7
Алюминий	209,3
Латунь	85,5
Железо	74.4
Чугун	62,8
Сталь	45,4



Постоянные примеси алюминия — Fe, Si, Cu, Zn, Ti



Примеси ухудшают все вышеперечисленные свойства алюминия

Первичный алюминий подразделяют на три класса:

Особой чистоты
А999
(< 0,001% примесей)

Высокой чистоты
А995, А99, А97, А95
(0,005 - 0,05% примесей)

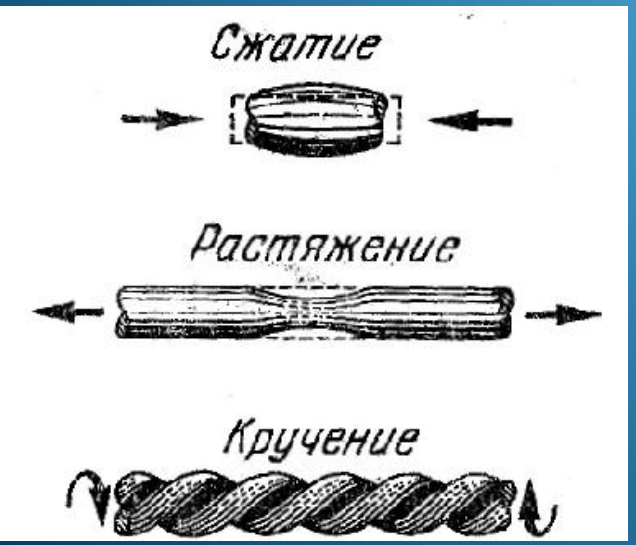
Технической чистоты
А85, А8 и др.
(0,15 - 1% примесей)

Таблица 13.2. **Механические свойства алюминия**

Марка	Сумма примесей, %	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	НВ
А995	0,005	Литое	50	–	45	15
А5	0,5	»	75	–	29	20
А0	1	»	90	–	25	25
		Деформированное и отожженное*	90	30	30	25
		Деформированное	140	100	12	32

* Отжиг алюминия для снятия наклепа проводят при 350 – 400 °С.

Ввиду низкой прочности алюминий применяют для ненагруженных деталей и элементов конструкций', когда, от материала требуется легкость, свариваемость, пластичность



Цистерна

Посуда

Прожектор

Провода

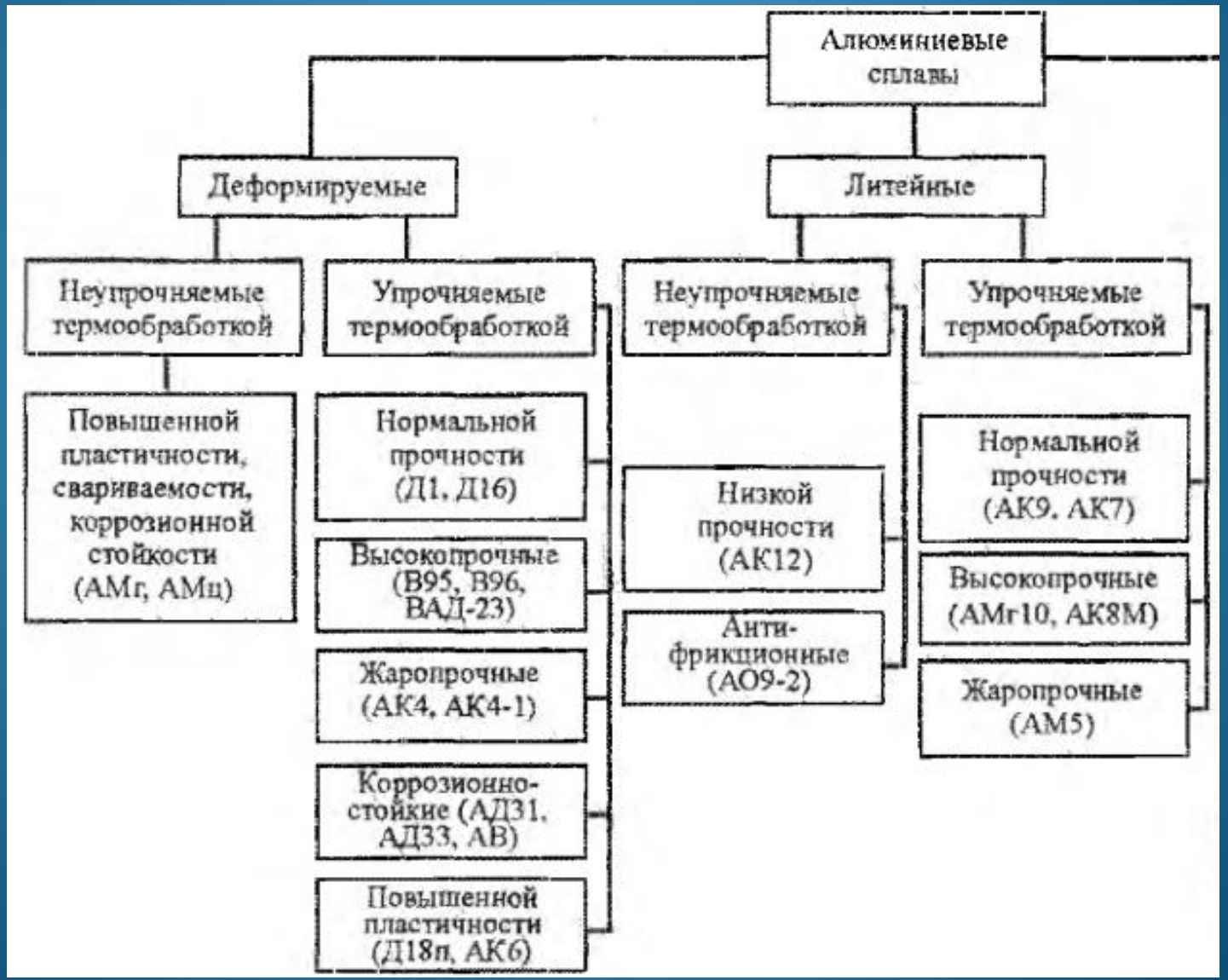
13
Al
Aluminium
26.981538

Трубопровод

Радиатор
охлаждения

Радиатор
отопления

Деформируемые и литейные алюминиевые сплавы



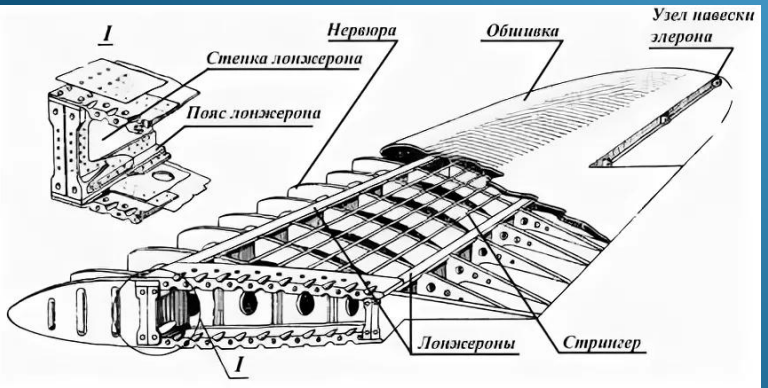
Деформируемые алюминиевые сплавы

Корпуса судов (АМц, АМг)

Дуралюмины Лопасти воздушных винтов (Д1, Д16)

Детали кабин вертолетов (АД31, АД33)

Пояса лонжеронов (АК4, АК4-1)



Заклепки (В95, В96)

Крепежные детали самолетов (АК6)

Литейные алюминиевые сплавы

Фасонные отливки (АМг10)

Термическая обработка алюминиевых сплавов

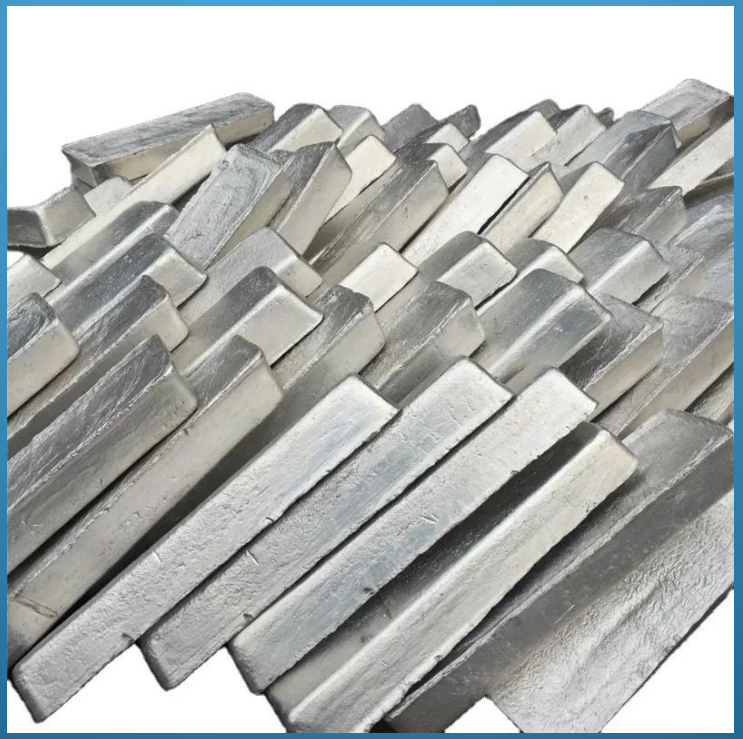
Отжиг. Первого рода — для снятия литейных или термических остаточных напряжений, устранение наклёпа. Второго рода — для изменения структуры материала посредством перекристаллизации. В результате изменяется размер зёрен, их форма, распределение частиц вторых фаз

Закалка. Предназначена для закрепления неравновесных (метастабильных) структурных состояний. Свежезакалённое изделие мягкое, его можно деформировать. Но по истечении 4–6 дней металл самоупрочняется

Отпуск (старение). Предназначен для придания нужных свойств изделиям. В зависимости от температуры происходит упрочнение или разупрочнение

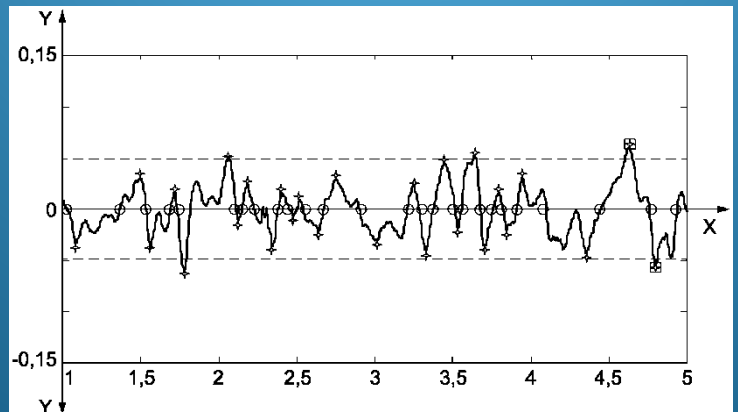
Магний и его сплавы

Магний — металл серебристо-белого цвета



Магний и его сплавы отличаются низкой плотностью, хорошей обрабатываемостью резанием, способностью воспринимать ударные и гасить вибрационные нагрузки

Металл	Плотность г/см³
Магний	1,74
Алюминий	2,70
Титан	4,50
Цинк	7,14
Олово	7,29



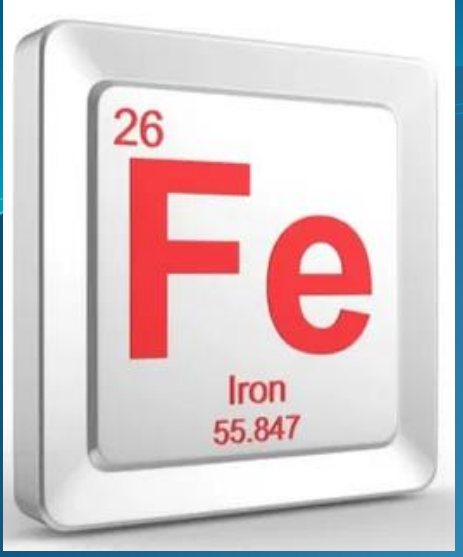
Мг95
(99,95% Mg)

Мг96
(99,96% Mg)

Марки магния согласно ГОСТ 804-93)

Мг90
(99,90% Mg)

Высокой чистоты
(99,9999% Mg)



Примеси ухудшают пластичность и коррозионную стойкость

Деформируемые и литейные магниевые сплавы

Таблица 13.5. **Химический состав и механические свойства магниевых сплавов**

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Mg), %				$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*KCU*, МДж/м²	НВ
	Mn	Zn	Al	Прочие	МПа		%			
Деформируемые сплавы (ГОСТ 14957–76)										
МА5*	0,15 – 0,5	0,2 – 0,8	7,8 – 9,2	–	320	220	14	–	–	55
МА11*	1,5 – 2,5	–	–	2,5 – 4 Nd, 0,1 – 0,25 Ni	280	140	10	–	0,35	–
МА14*	–	5 – 6	–	0,3 – 0,9 Zr	350	300	9	–	0,6	60
МА19*	–	5,5 – 7	–	0,5-1 Zr, 0,2 – 1 Cd, 1,4 – 2 Nd	380	330	5	–	0,5	80
Литейные сплавы (ГОСТ 2856–79)										
МЛ5*	0,15 – 0,5	0,2 – 0,8	7,5 – 9	–	255	120	6	15	0,5	25
МЛ8*	–	5,5 – 6,6	–	0,7 – 1,1 Zr, 0,2 – 0,8 Cd	255	155	5	13	–	–
МЛ12*	–	4 – 5	–	0,6 – 1,1 Zr	270	160	6	12	0,4	–
МЛ9	–	–	–	0,4 – 1 Zr, 0,2 – 0,8 Y, 1,9 – 2,6 Nd	200	95	8	–	0,7	–
МЛ10	–	0,1 – 0,7	–	0,4 – 1 Zr, 2,2 – 2,8 Nd	200	95	6	–	0,5	26
МЛ15	–	4 – 5	–	0,7 – 1,1 Zr, 0,6 – 1,2 La	210	130	3	5	0,5	28

* Свойства приведены после закалки и старения; для остальных сплавов – в литом состоянии.

Фермы шасси (Литейные)

Детали самолетов (Деформируемые)

Термическая обработка магниевых сплавов

Рекристаллизационный отжиг. Проводится при температурах 250–350 °С. Позволяет помимо понижения прочности и восстановления пластичности уменьшить анизотропию механических свойств сплавов

Диффузионный отжиг.

Проводится для отливок из магниевых сплавов при температурах 400–490 °С в течение 10–24 часов. При этом имеют место растворение избыточных фаз, выделившихся при литье по границам зёрен

Закалка и старение. Нагрев под закалку способствует частичному или полному растворению избыточных фаз литейного происхождения, а также тех, которые образуются при горячей деформации. Последующее охлаждение полуфабриката при закалке формирует пересыщенный твёрдый раствор, который затем распадается при старении

Особенности термической обработки магниевых сплавов:

- **Медленное протекание диффузионных процессов.** Как следствие, длительные режимы нагрева при закалке и старении.
- **Закалка многих марок сплавов может производиться в воздухе.** Закалка в струе сжатого воздуха, и особенно в воде, значительно повышает прочностные свойства сплавов

Тема 10: Медь и её сплавы

29

Cu

МЕДЬ

63.546

$3d^9 4s^2$

2

18

8

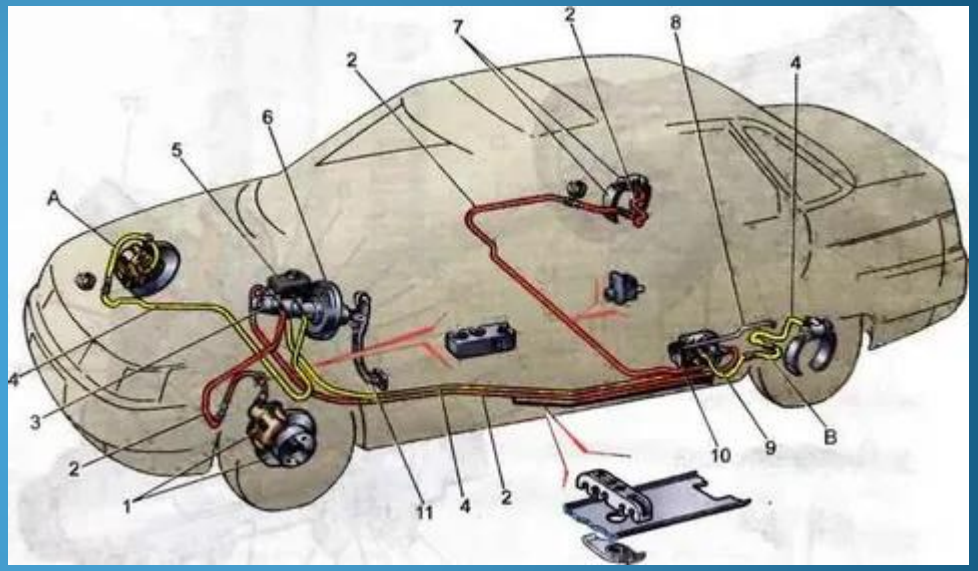
2

Медь, её свойства и сплавы. Применение меди

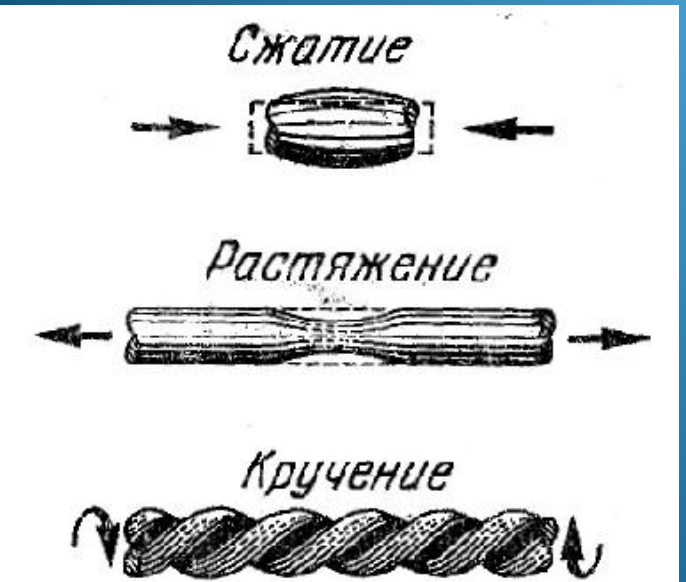
Медь — металл красновато-розового цвета

Медь обладает хорошей **технологичностью.** Она прокатывается **в тонкие листы и ленту,** из нее получают **тонкую проволоку,** медь легко **полируется,** хорошо **паяется и сваривается.**

Медь характеризуется высокими теплопроводностью и электрической проводимостью, пластичностью и коррозионной стойкостью



Недостатки меди — невысокая прочность, плохая обрабатываемость резанием и низкая жидкотекучесть



Марки меди согласно ГОСТ 859-78)

М0
(99,97% Cu)

М00
(99,99% Cu)

М1
(99,9% Cu)

М3
(99,5% Cu)

М2
(99,7% Cu)

Таблица 10.3. **Механические свойства технической меди М1**

Состояние	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	НВ	KCU,
	МПа		%			МДж/м^2
Литое	160	35	25	–	40	–
Деформированное*	450	400	3	35	125	–
Отожженное	220	75	50	75	55	1,2 – 1,8

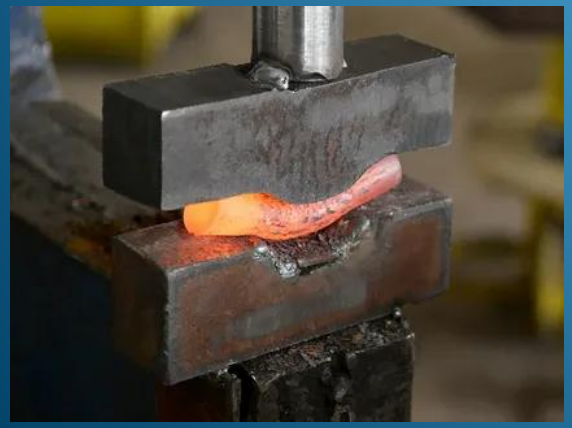
*Свойства проволоки, продеформированной на 90 %.

Латуни деформируемые и литейные, их свойства, маркировка и применение

Латуни

Дефор-мируемые

Литейные



Латунь

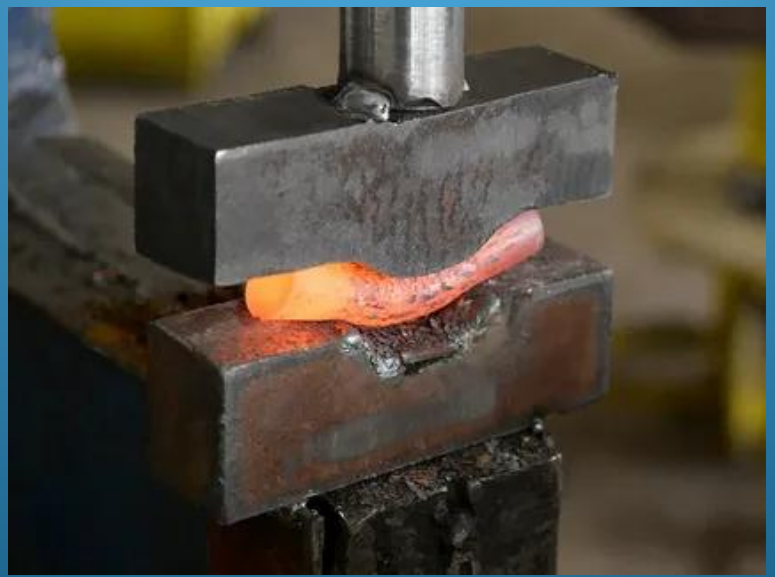
(сплав МЕДИ с ЦИНКОМ)

Маркируют буквой Л:

Л68

Деформируемые латуни

Л68 – (Л) латунь деформируемая, медь (Cu) 68%, цинк (Zn) 32%



ЛАН59-3-2 – (Л) латунь деформируемая, медь (Cu) 59%, алюминий Al (А) 3%, никель Ni (Н) 2%, остальное цинк Zn 36%

Литейные латуни

ЛЦ40Мц3А – (Л) латунь литейная, цинк (Ц) 40%, марганец (Мц) 3%, алюминий (А) 1%, остальное медь 56%

Радиаторные трубки

Гребные винты

Бронзы деформируемые и литейные, их свойства, маркировка и применение

Бронзы

Дефор-мируемые

Литейные

БРОНЗА

(сплав меди, где цинк и никель *не являются основными компонентами*)

Маркируют буквой Бр:

БрОЦС8-4-3

ОЛОВЯННЫЕ бронзы

БрОЦ4-3 – (Бр) бронза оловянная деформируемая, (О) олово Sn 4%, (Ц) цинк Zn 3%, остальное медь Cu. (Контакты штепсельных разъемов)

БрО3Ц12С5 – (Бр) бронза оловянная литейная, (О) олово Sn 3%, (Ц) цинк Zn 12%, (С) свинец Pb 5%, остальное медь Cu. (Арматура)

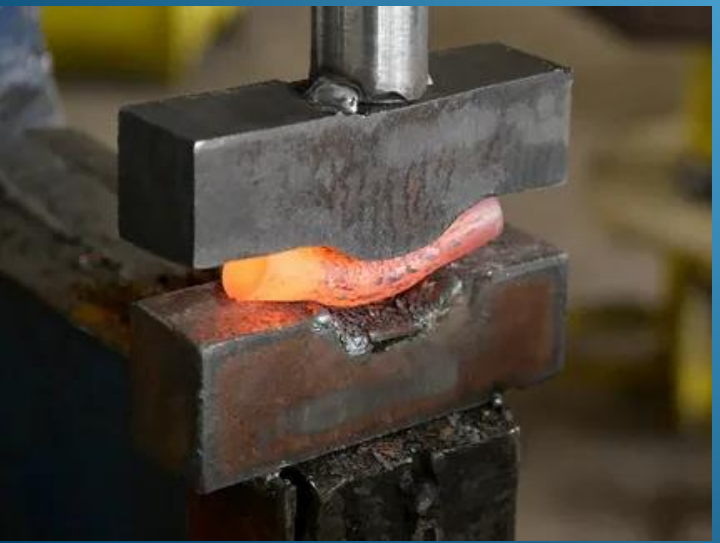
Таблица 10.6. **Химический состав и механические свойства оловянных бронз**

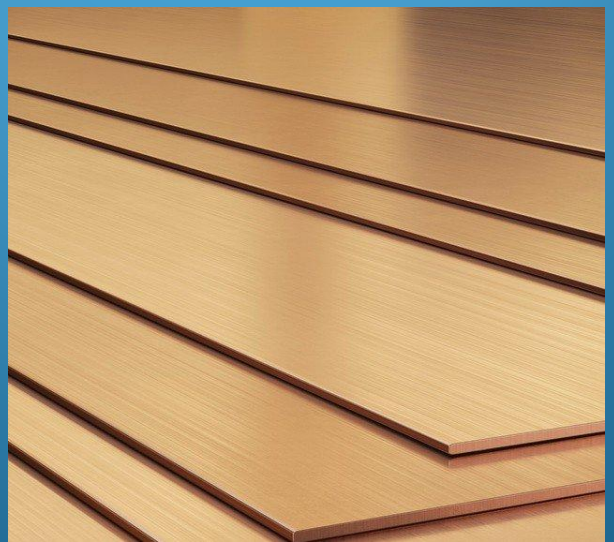
Марка бронзы	Sn	Pb	Zn	Прочих элементов	E, ГПа	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, МДж/м^2	НВ
	% (мас.)					МПа		%			
Деформируемые бронзы (ГОСТ 5017 – 74)											
БрОФ6, 5 – 0,15	6 – 7	–	–	0,1-0,25 P	110	400	250	65	80	0,49*	70
БрОФ6,5 – 0,4	6 – 7	–	–	0,26-0,4 P 0,10 – 0,2 Ni	112	400	250	65	80	0,59	80
БрОФ4–0,25	3,5 – 4	–	–	0,2-0,3 P	100	340	–	50	85	–	63
БрОЦ4–3	3,5 – 4	–	2,7 – 3,3	–	85	350	65	40	–	0,39	60
БрОЦС4–4– 2,5	3 – 5	1,5 – 3,5	3 – 5	–	75	350	130	40	34	0,36	60
Литейные бронзы (ГОСТ 613–79)											
БрО3Ц7С5Н1	2,5 – 4	3 – 6	6 – 9,5	0,5 – 2,0 Ni	90	210	170	5	–	–	60
БрО3Ц12С5	2 – 3,5	3,6	8 – 15	–	–	210	–	5	–	–	60
БрО4Ц4С17	3,5 – 5,5	14 – 20	2 – 6	–	–	150	–	6	–	–	60
БрО5Ц5С5	4 – 6	4 – 6	4 – 6	–	92	180	100	4	–	0,205	60
БрО10Ц2	9 – 11	–	1 – 3	–	100	250	180	5	–	0,147	80
БрО10Ф1	9 – 11	–	–	0,4 – 1,1 P	80	270	195	3 – 10	10	0,088	90

*В литом состоянии.

АЛЮМИНИЕВЫЕ бронзы

БрА5 – (Бр) бронза алюминиевая деформируемая, безоловянная, (А) алюминий 5%, остальное медь Cu. (Листы, полосы, ленты, прутки, трубы)





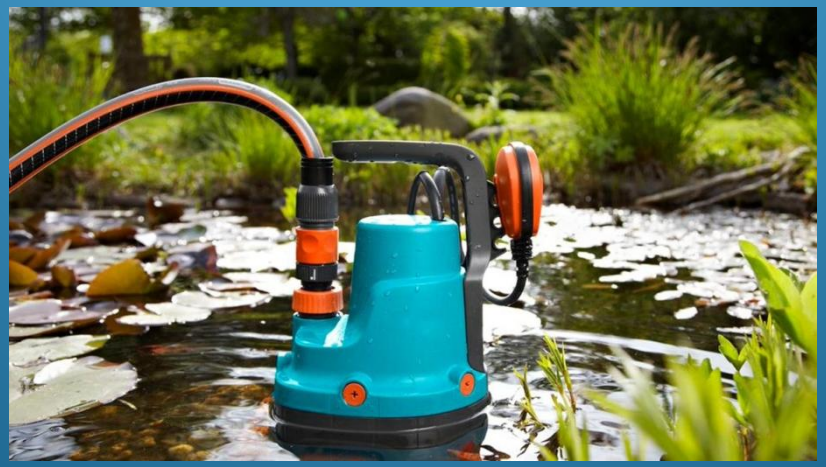
БрА10Мц2Л – (Бр) бронза алюминиевая **литейная (Л)**, безоловянная, (А) алюминий 10%, (Мц) марганец 2%, остальное медь Cu.

(Антифрикционные детали)

КРЕМНИСТЫЕ бронзы

Антифрикционные детали, а также пружины, мембраны и другие детали приборов, работающие в пресной и морской воде.

(БрКН1-3, БрКМц3-1)



БрКН1-3 – (Бр) бронза кремнистая, деформируемая, безоловянная, (К) кремний 1%, (Н) никель 3%, остальное медь Cu. Изготавливают **втулки клапанов**

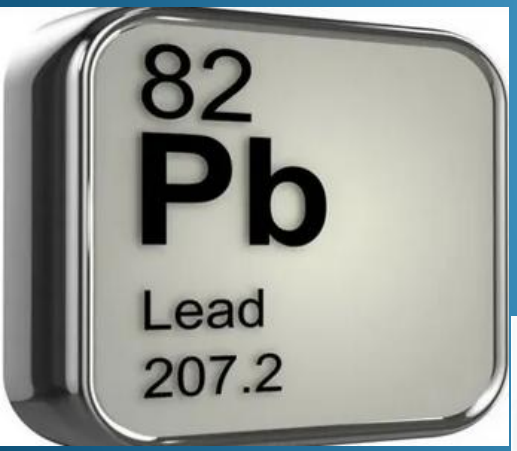
БЕРИЛЛИЕВЫЕ бронзы

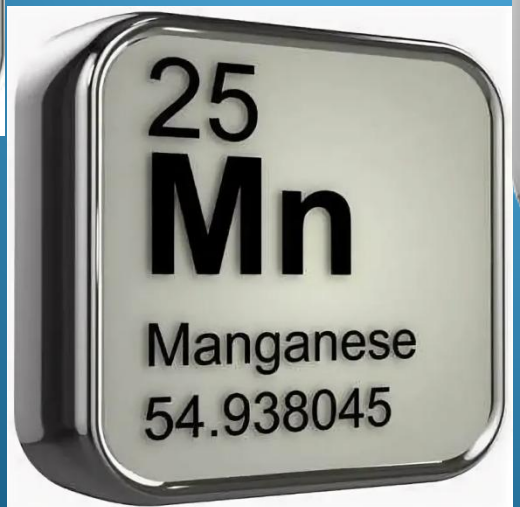
Упругие элементы точных приборов (плоские пружины, пружинные контакты, мембраны); детали, работающие на износ (кулачки, шестерни, червячные передачи); подшипники, работающие при высоких скоростях, больших давлениях и повышенных температурах.

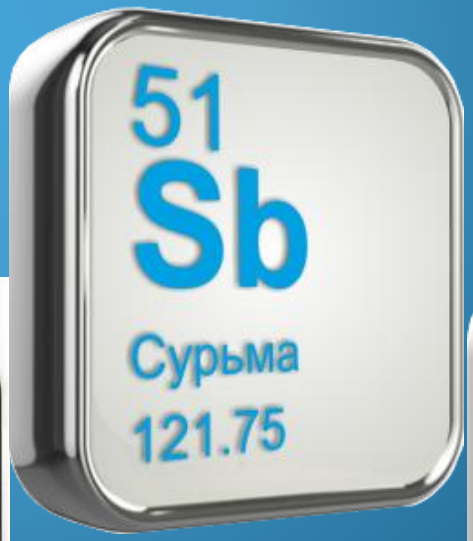
(БрБ2, БрБ2,5)

БрБ2 – (Бр) бронза бериллиевая, деформируемая, безоловянная, (Б) бериллий 2%, остальное медь Cu. Изготавливают **не искрящие инструменты**

Кроме оловянных, алюминиевых, бериллиевых и кремниевых бронз, применяются свинцовые, марганцевые, сурмянистые, кадмиевые и др. бронзы.







Тема 11: Титан и его сплавы

Титан, его свойства и сплавы

Титан — металл серого цвета

Отличительными особенностями титана, и его сплавов являются хорошие механические свойства, малая плотность, высокие удельная прочность, хорошие технологические свойства и отличная коррозионная стойкость.

Металл	Плотность г/см³	Металл	Плотность г/см³
Магний	1,74	Железо	7,87
Алюминий	2,70	Медь	8,94
Титан	4,50	Серебро	10,50
Цинк	7,14	Свинец	11,34
Олово	7,29	Золото	19,32

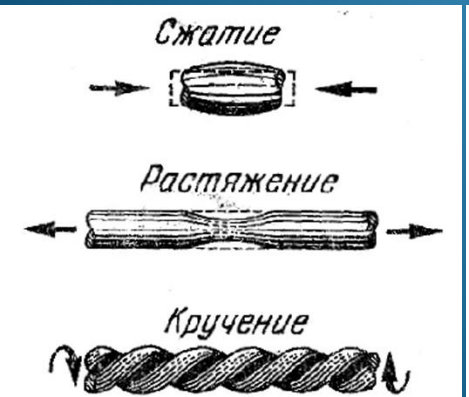
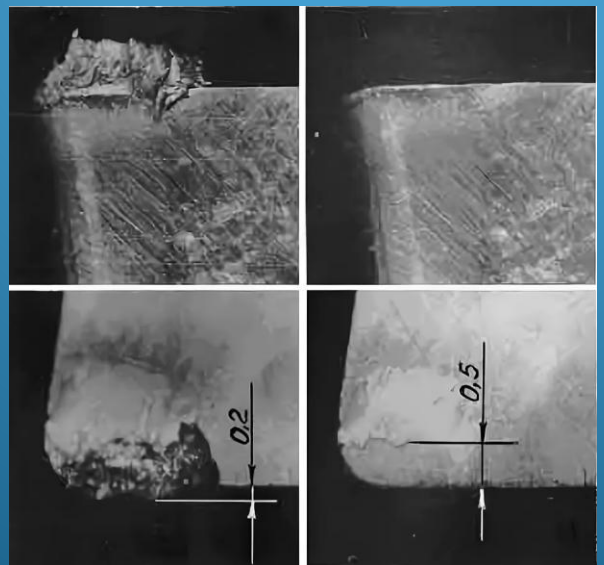


Таблица 14.1. **Механические свойства иодидного и технического титана**

Титан	Сумма примесей, %	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	НВ
		МПа		%		
ВТ1-0	0,30	450 – 600	380 – 500	20 – 25	50	207
Иодидный	0,093	250 – 300	100 – 150	50 – 60	70 – 80	130

Недостатки «-» титана — плохо обрабатывается резанием, налипает на инструмент, в результате чего тот быстро изнашивается, низкие жаростойкость и антифрикционные свойства



Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титана

Легирующие элементы подразделяют на три группы:

- α-стабилизаторы
- β-стабилизаторы
- нейтральные элементы

α-стабилизаторы (Алюминий Al)

Уменьшает плотность (ρ, кг/м^3) и склонность к водородной хрупкости, повышает модуль упругости (E, МПа) и временное сопротивление ($\sigma_в$, Н/мм^2) при 20-25°С и повышенных температурах

β-стабилизаторы (V, Mo, Cr, Mn)

Улучшают технологическую пластичность сплавов, повышают прочность, жаропрочность и термическую стабильность

Нейтральные элементы

(Sn-олово, Zr-цирконий, Hf-гафний, Th-торий)

Sn повышает прочность при 20-25 °С и высоких температурах без заметного снижения пластичности, Zr увеличивает предел ползучести

Деформируемые и литейные сплавы титана, их свойства, маркировка и применение

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ титаны

Таблица 14.2. **Химический состав (ГОСТ 19807–91), структура и механические свойства некоторых сплавов титана**

Сплав	Содержание элементов (остальное Ti), %				Структура	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ, %	KCU, МДж/м^2
	Al	V	Mo	Прочие		МПа			
ВТ5	4,5 – 6,2	1,2	0,9	0,3 Zr	α-сплавы	700 – 950	660 – 850	10 – 15	0,3 – 0,5
ВТ5-1	4,3 – 6	1,0	–	2 – 3 Sn		750 – 950	650 – 850	10 – 15	0,45
ОТ4-1	1,5 – 2,5	–	–	0,7 – 2 Mn	Псевдо-α-сплавы	600 – 750	470 – 650	20 – 40	0,5
ОТ4	3,5 – 5	–	–	0,8 – 2 Mn		700 – 900	550 – 650	12 – 20	0,5
ВТ20	5,5 – 7,0	0,8 – 2,5	0,5 – 2,0	1,5 – 2,5 Zr		950 – 1150	850 – 1000	8	0,4 – 0,5
ВТ6*	5,3 – 6,8	3,5 – 5,3	–	–	$(\alpha+\beta)$-сплавы	1100 – 1150	1000 – 1050	14 – 16	0,3
ВТ14*	3,5 – 6,3	0,9 – 1,9	2,5 – 3,8	0,3 Zr		1150 – 1400	1080 – 1300	6 – 10	–
ВТ16*	1,6 – 3,8	4,0 – 5,0	4,5 – 5,5	–		1250 – 1450	1100 – 1200	4 – 6	0,4 – 0,6
ВТ22	4,4 – 5,7	4,0 – 5,5	4,0 – 5,5	0,8 – 1,2 Cr; 0,8 – 1,2 Fe		1100 – 1250	–	9	0,4

* Свойства этих сплавов приведены после закалки и старения, остальных — в отожженном состоянии.

ЛИТЕЙНЫЕ титаны

Преимущества: высокая жидкотекучесть и хорошая плотность отливки, малая склонностью к образованию горячих трещин и небольшая линейная усадка (1%); их объемная усадка составляет около 3%.

(Внутренний набор фюзеляжа)

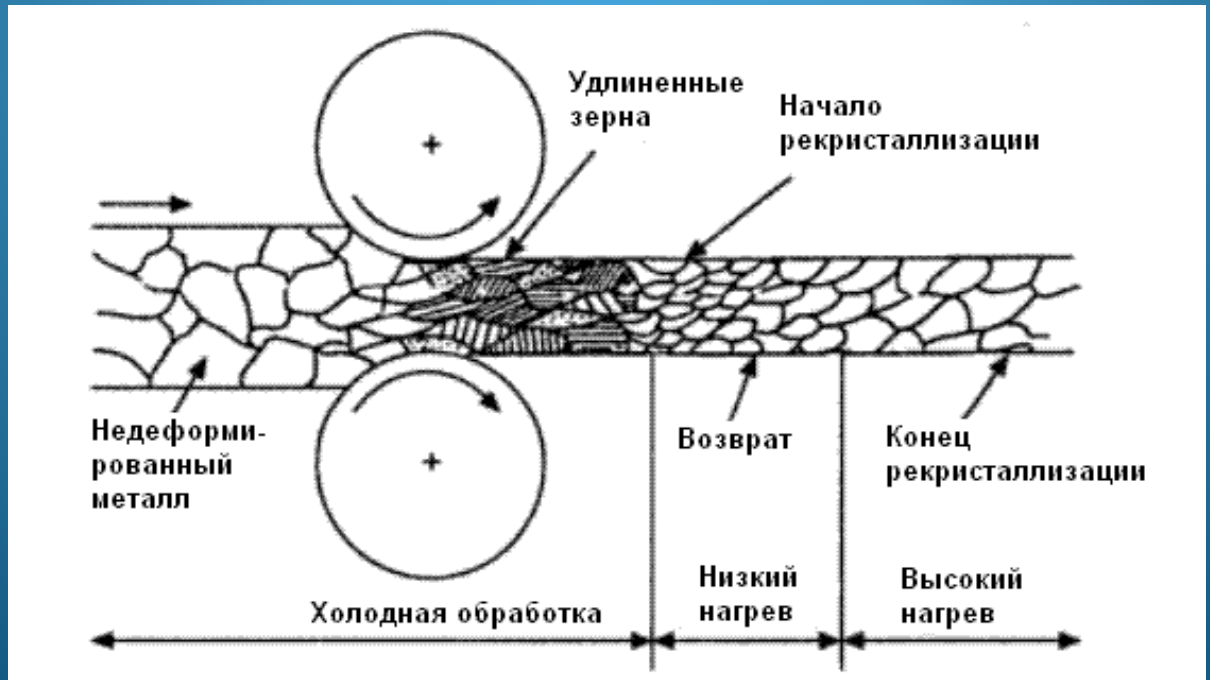
ВТ5Л, ВТ3-1Л, ВТ14Л

Термическая обработка титановых сплавов

Титановые сплавы подвергают отжигу, закалке и старению, химико-термической обработке, а также термоводородной обработке

Отжиг проводят после холодной деформации для **снятия наклепа.**

Проводят при **670-800 °С** с выдержкой от **15 мин до 3 ч**



Упрочняющая термическая обработка (закалка и старение) проводится для улучшения механических свойств (прочность, ударная вязкость и пластичность)

Химико-термическая обработка (азотирование)

Повышает износостойкость, поверхностную твердость, жаропрочность и жаростойкость

Азотируют сплавы при температуре 850-950 °С в течение 10-50 ч

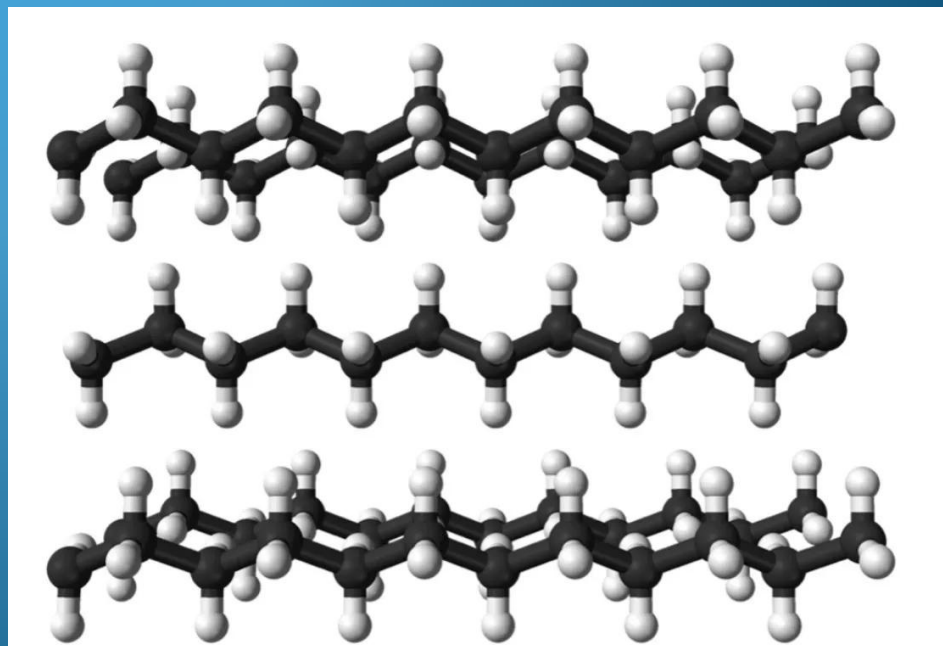
Термоводородная обработка титановых сплавов, предложенная А.А. Ильиным, – это сочетание обратимого легирования водородом с термическим воздействием на наводороженный сплав

Улучшение свойств фасонных отливок и сварных соединений.

В сочетании с горячим изостатическим прессованием прочностные характеристики увеличиваются на 15 - 20 %, долговечность при малоцикловой усталости повышается в 2 раза, предел усталости — на 65 - 80 %

Тема 12: Неметаллические материалы

Общие сведения о неметаллических материалах. Полимеры: молекулярная структура и свойства



Полимеры — органические или неорганические вещества, состоящие из мономерных звеньев и соединённые между собой химическими связями, которые образуют длинные макромолекулы — своеобразные цепочки

СТРУКТУРА ПОЛИМЕРОВ

ЛИНЕЙНАЯ

Изогнутая

Химические волокна, полиэтилен низкого давления, полистирол и др.

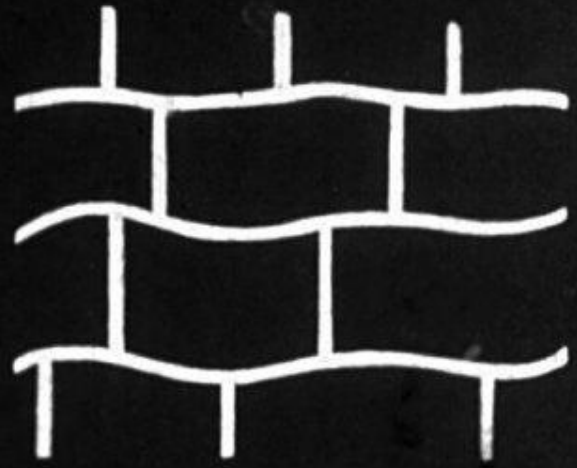
Клубкообразная (сферическая)

Каучуки (натуральный и синтетические)

РАЗВЕТВЛЁННАЯ

Крахмал, полиэтилен высокого давления

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ



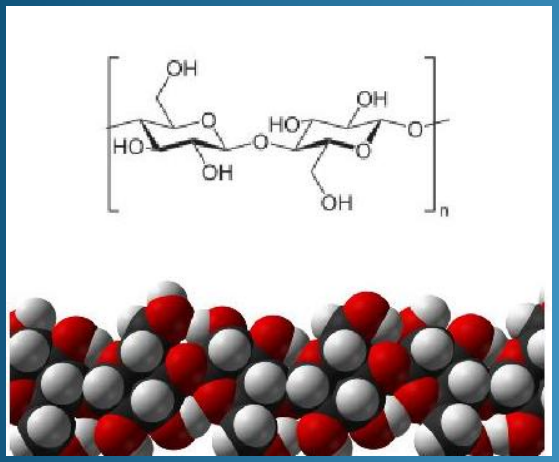
Резина, фенолформальдегидные пластмассы

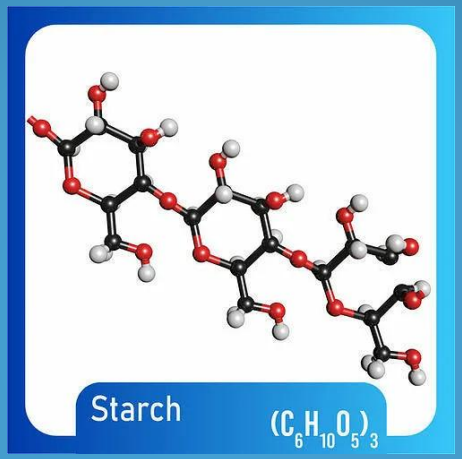
В зависимости от условий проведения реакции полимеризации получают полимеры с линейной или разветвлённой структурой. При поликонденсации образуются полимеры с линейной или пространственной структурой.

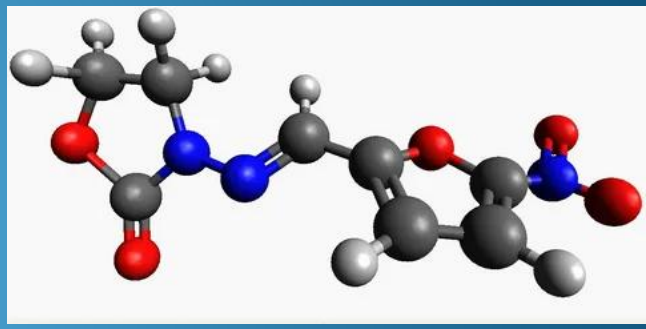
Полимеры состоят из множества мономеров и могут существовать в виде нескольких структур:

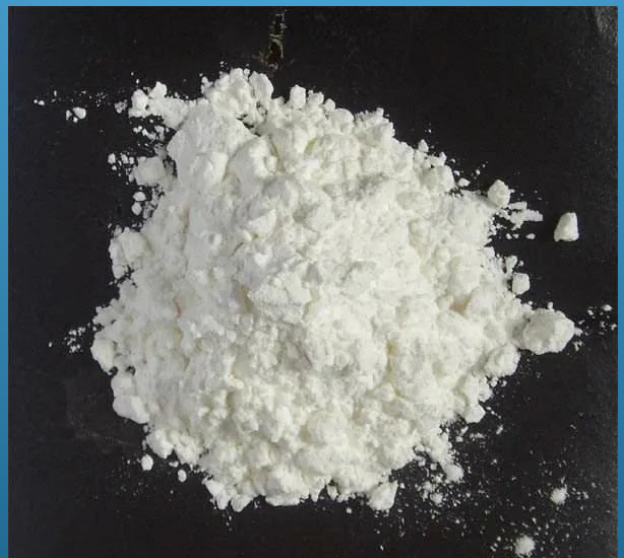
- **Линейная**: звенья соединены последовательно (**целлюлоза**)
- **Разветвленная**: звенья располагаются беспорядочно (**крахмал**)
- **Сетчатая**: линейные молекулы связаны между собой (**резина**)

- **Линейная: целлюлоза**
- **Разветвленная: крахмал**
- **Сетчатая: резина**









Макромолекулы могут состоять как из одинаковых, так и из разных звеньев.

- **Гомополимеры** — цепочка из одинаковых мономеров (крахмал, целлюлоза).
- **Сополимеры** — цепочка из различных звеньев.

Сополимеры — цепочка из различных звеньев:

- **Статистические** имеют неупорядоченное расположение мономерных звеньев
- **Регулярные** обладают упорядоченным чередованием звеньев
- **Блок** построены из достаточно протяжённых цепочек (блоков) одного мономера, соединённых по концам с достаточно протяжёнными цепочками другого мономера
- **Привитые** имеют основную полимерную цепь и дополнительные ответвления, представляющие собой цепи прочих мономеров той или иной длины

Плёнка

Изолирующие материалы

Полимеры делятся на два вида: природные и синтетические

Природные полимеры — материалы естественного происхождения. **Примеры: кожа, натуральный каучук**

Синтетические полимеры получаются путём сложных химических реакций: полиэтилен, полиуретан, капрон, полипропилен

Пластмассы: термопластичные и термореактивные. Их свойства, состав и область применения

Пластмассы — это материалы, изготовленные на основе **полимеров**.

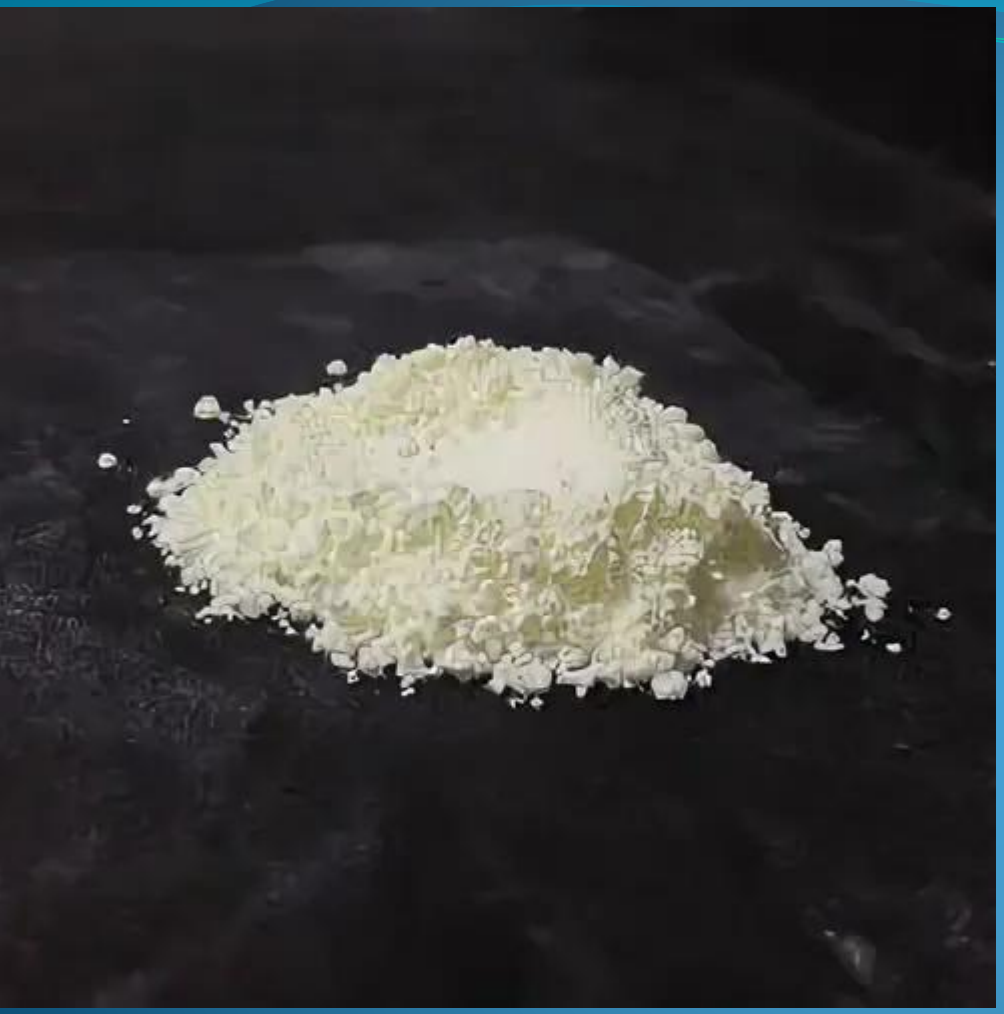
- **Простые пластмассы** — это полимеры без добавок.
- **Сложные пластмассы** — это смеси полимеров с различными добавками (наполнители, стабилизаторы, пластификаторы и т.д.)

Наполнители — это органические и неорганические вещества в виде порошков (древесная мука, сажа, слюда, тальк, графит), волокон (хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые, полимерные), листов (бумага, ткани из различных волокон, древесный шпон). Их добавляют в количестве 40 - 70% для повышения механических свойств

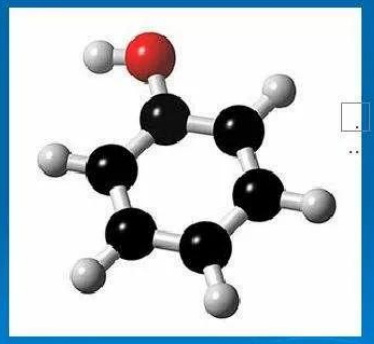
Древесная мука

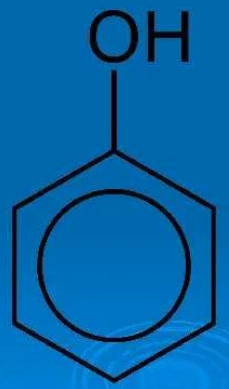
Асбестовые волокна

Стабилизаторы — различные органические вещества, которые вводят в количестве нескольких процентов для сохранения структуры молекул и стабилизации свойств. Замедляют старение



Фенолы





Антиоксиданты

защищают от действия атмосферного кислорода и озона

Светостабилизаторы

замедляют старение полимеров при действии на них УФ-света

Пластификаторы — уменьшают межмолекулярное взаимодействие и хорошо совмещаются с полимерами. Добавляют в количестве 10 - 20% для уменьшения **хрупкости** и улучшения **формуемости**. Часто пластификаторами служат **эфиры**, а иногда, и **полимеры с гибкими молекулами**.

Специальные добавки — смазочные материалы, красители, добавки для уменьшения статических зарядов и горючести, для защиты от плесени, ускорители и замедлители отверждения и другие — служат для изменения или усиления какого-либо свойства

Отвердители в количестве нескольких процентов добавляют к термореактивным пластмассам для отверждения

Термопластичные пластмассы

Получают из полимеров с **линейной структурой**, между отдельными молекулами которых отсутствуют прочные химические связи. При **нагревании** материал размягчается и переходит в вязкотекучее состояние, то есть **плавится**. При **низких температурах** снова становится **твёрдым**. Процесс нагрева и охлаждения может происходить многократно, поэтому готовые изделия из термопластов подвергаются повторной переработке

К числу термопластичных полимеров относятся полиэтилен, полипропилен, полиметилметакрилат (органическое стекло) и др.

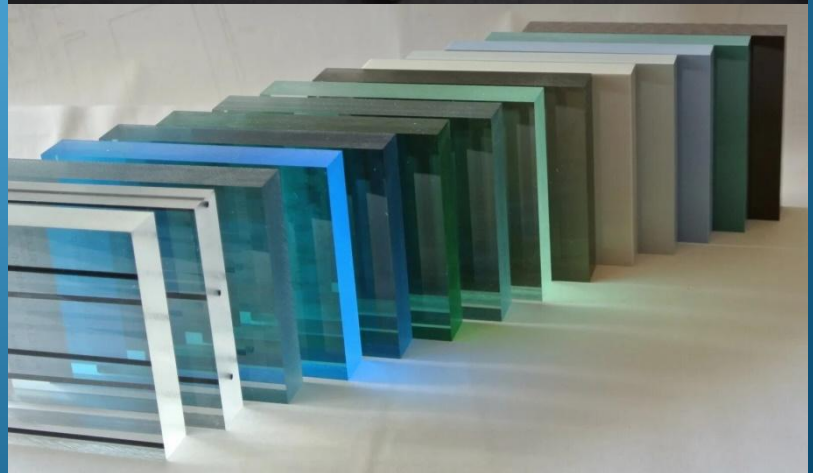


Таблица 13.6. **Свойства термопластичных пластмасс**

Материал	$\sigma_в$, МПа	δ, %	KC^*, кДж/м^2	Максимальная температура эксплуатации (без нагрузки), °С
Полиэтилен:				
низкой плотности ($< 0,94$ т/м^3)	10 – 18	300 – 1000	Не ломается	60 – 75
высокой плотности ($> 0,94$ т/м^3)	18 – 32	100 – 600	5 – 20	70 – 80
Полипропилен	26 – 38	700 – 800	3 – 15	100
Полистирол	40 – 60	3 – 4	2	50 – 70
Ацетобутиратстирол	30 – 55	15 – 30	8 – 40	75 – 85
Поливинилхлорид:				
жесткий	50 – 65	20 – 50	2 – 4	65 – 85
пластикат	10 – 40	50 – 350	Не ломается	50 – 55
Фторопласт-4	20 – 40	250 – 500	16	250
Фторопласт-3	37	160 – 190	8 – 10	150
Органическое стекло	80	5 – 6	2	65 – 90
Поликарбонат:				
без наполнителя	60 – 65	80 – 120	20 – 30	135
с 30 % волокна	90	3,5	8	145
Капрон:				
сухой	75 – 85	50 – 130	3 – 10	80-100
насыщенный водой	35 – 50	160 – 250	≥ 45	–
сухой + 30 % волокна	180	3	12	100 – 130
насыщенный водой + + 30 % волокна	100 – 125	4	18	–
Эпоксидный пластик	60	4	$\geq 1,8$	–
То же + 65 % стеклянной ткани	500	$\sim 2,5$	–	130

* По ГОСТ 4647–80.

Термореактивные пластмассы

Имеют сетчатую (сшитую) структуру, характеризующуюся наличием прочных ковалентных связей между отдельными макромолекулами. На этапе формования проходят процедуру **отверждения**, которое предполагает **сшивание линейных молекул**.

Химическая реакция является необратимой, то есть конечный продукт нельзя перерабатывать повторно, поскольку материал нерастворимый и не плавится. К числу термореактивных полимеров относятся **фенолформальдегидные смолы, аминопласты, эбонит**.

Таблица 13.9. **Свойства термореактивных пластмасс**

Материал	$\sigma_в$, МПа	δ, %	KC^*, кДж/м^2	Максимальная температура эксплуатации (без нагрузки), °С
Термореактивные полимеры без наполнителей:				
феноло-формальдегидные	15 – 35	1 – 5	< 1	200
полиэфирные	42 – 70	2	< 1	95 – 120
эпоксидные	28 – 70	3 – 6	< 1	150 – 175
кремнийорганические	22 – 42	5 – 10	< 1	350
Порошковые пластмассы	30 – 60	1 – 3	0,5 – 5	100 – 200
Волокниты	30 – 90	1 – 3	10 – 20	120 – 140
Гетинаксы	60 – 70	–	4 – 5	125
Текстолиты	65 – 100	1 – 3	20 – 35	90 – 105
Стеклотекстолиты	200 – 600	1 – 3	50 – 200	200 – 400
Пористые пластмассы	0,5 – 2,5	–	~ 1	–

* По ГОСТ 4647–80.

Резина.

Формообразование деталей из резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резины

Резина — это высокоэластичный искусственный материал, полимер, получаемый в результате специальной обработки (вулканизации) натурального или синтетического каучука

Свойства резины:

- **высокая эластичность** — способность к большим обратным деформациям в широком диапазоне температур;
- **упругость и стабильность** форм при малых деформациях;
- **аморфность** — легко деформируется при незначительном нажатии;
- **относительная мягкость;**
- **плохо поглощает воду;**
- **прочность и износостойкость.**

Таблица 13.10. **Механические свойства резин**

Название резины (по каучуку)	$\sigma_в$, МПа		δ, %	Сопротивление раздиру, кН/м
	без наполнителя	с наполнителем		
Натуральная	20 – 30	15 – 35	300 – 1000	
Изопреновая	20 – 30	15 – 35	300 – 800	20 – 150
Бутадиеновая	2 – 8	10 – 25	300 – 800	20 – 70
Бутадиен-стирольная	2 – 6	10 – 30	250 – 800	15 – 70
Бутиловая	3 – 20	8 – 23	200 – 800	20 – 80
Хлоропреновая	10 – 30	10 – 30	100 – 800	20 – 80
Этилен-пропиленовая	2 – 7	10 – 25	100 – 800	20 – 60
Полиуретановая	20 – 50	20 – 60	200 – 800	30 – 130
Полисульфидная	–	5 – 9	300 – 450	–
Фторкаучуковая	3 – 7	10 – 25	100 – 450	15 – 60
Кремнийорганическая	1	4 – 12	100 – 800	10 – 45

Производство резины осуществляется путём смешивания **каучука с вулканизирующим веществом (обычно серой или органическими пероксидами) с последующим нагревом**

Резина используется в производстве автомобильных, мотоциклетных, велосипедных и авиационных шин, резинотехнических изделий, обуви, приводных ремней, транспортёрных лент конвейеров, напольных покрытий

Тема 13: Композиционные материалы

Принципы создания и основные виды композиционных материалов

Композиционными называют сложные материалы, в состав которых входят **сильно отличающиеся по свойствам** нерастворимые или малорастворимые один в другом **компоненты, разделенные в материале ярко выраженной границей**

В составе композита принято выделять **матрицу и наполнитель**

Основой КМ (матриц) служат металлы или сплавы (КМ на металлической основе), а также полимеры, углеродные и керамические материалы (КМ на неметаллической основе)

Матрица связывает композицию, придает ей форму. От свойств матрицы зависят: рабочая температура, сопротивление усталостному разрушению, воздействию окружающей среды, плотность и удельная прочность

КМ с комбинированными матрицами называют полиматричными

КМ, которые содержат два и более различных наполнителя, называют полиармированными

КМ из трех и более компонентов - гибридный

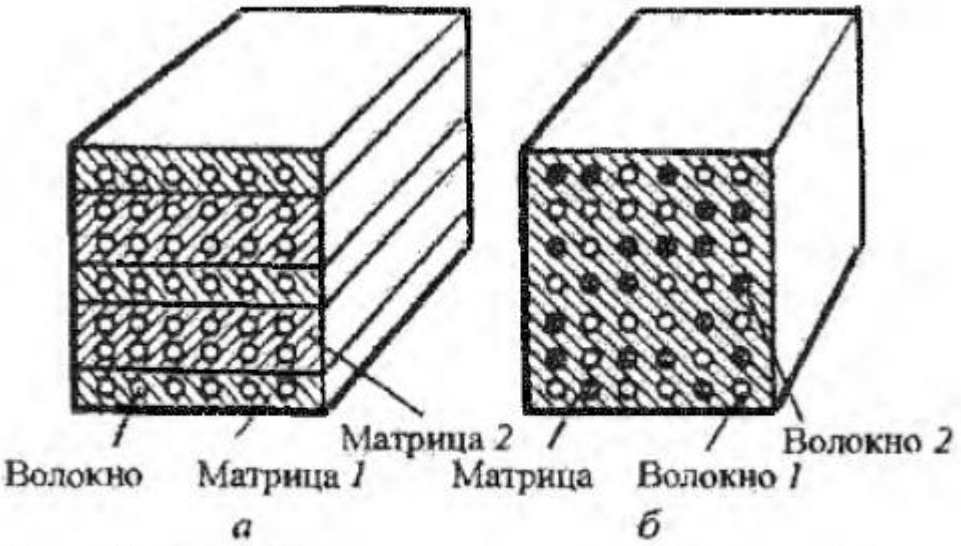
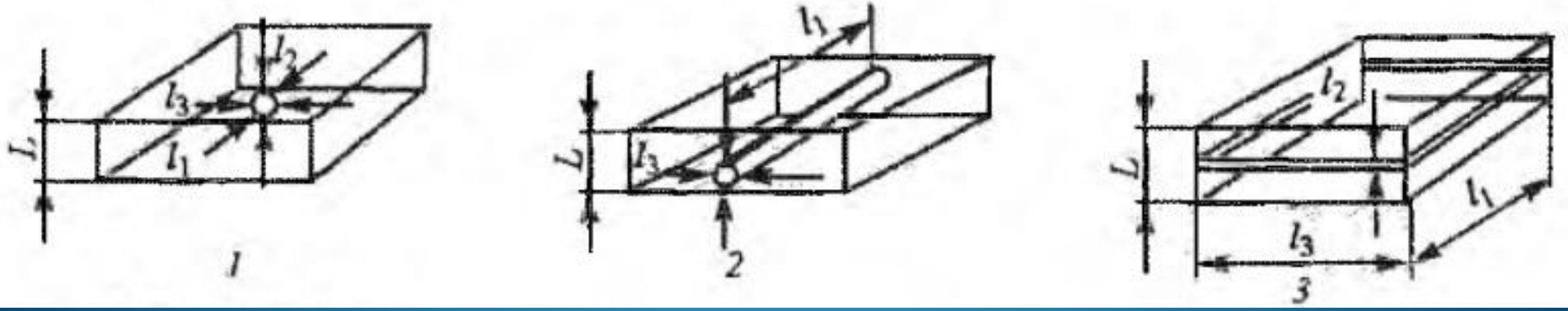


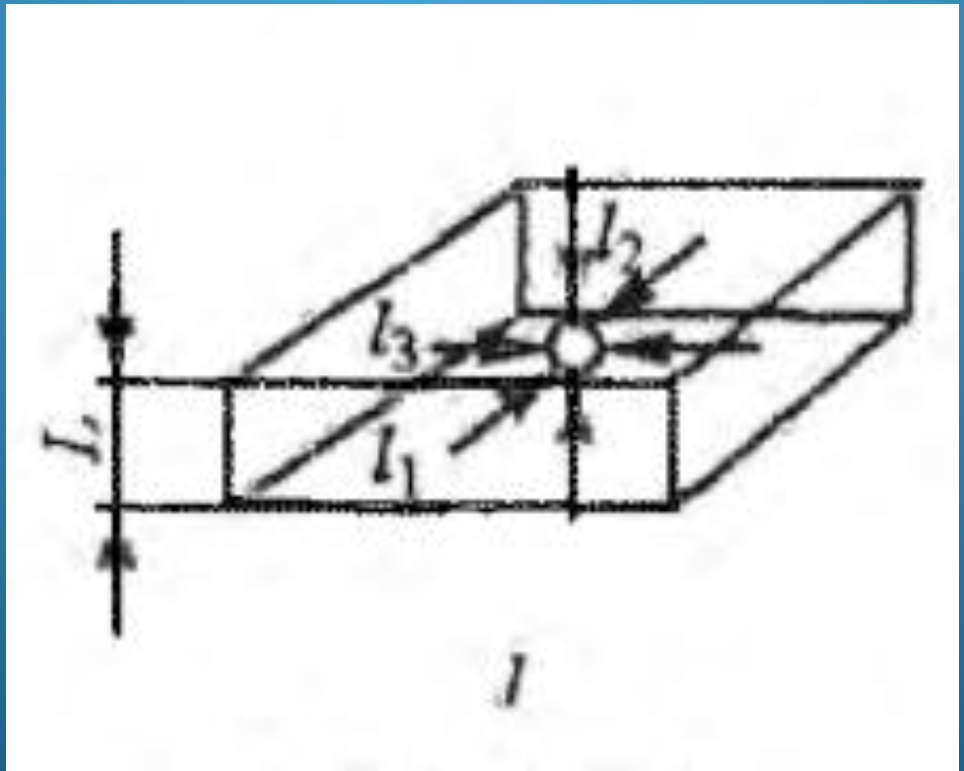
Рис. 14.19. Схемы полиматричного (*а*) и полиармированного (*б*) КМ

По форме наполнители разделяют на три основные группы:

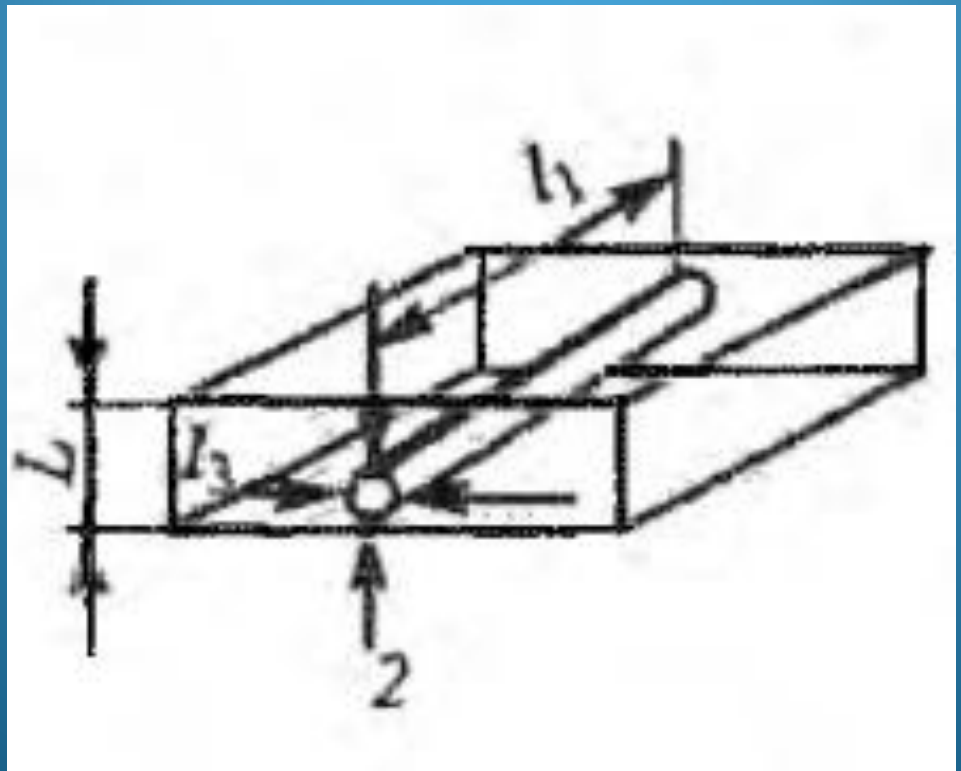
Нуль-мерные (1), одномерные (2), двумерные (3)



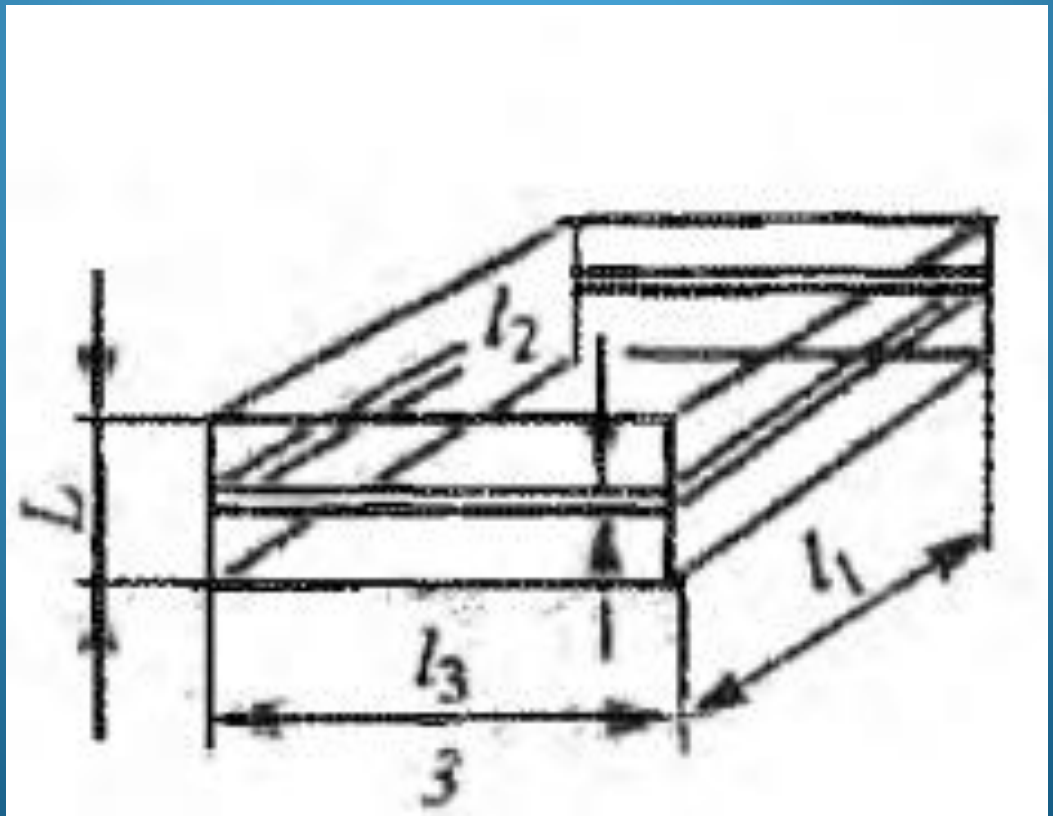
Нульмерными - имеющие в трех измерениях очень малые размеры одного порядка (частицы)



Одномерные - имеют малые размеры в двух направлениях и значительно превосходящий их размер в третьем измерении (волокна)



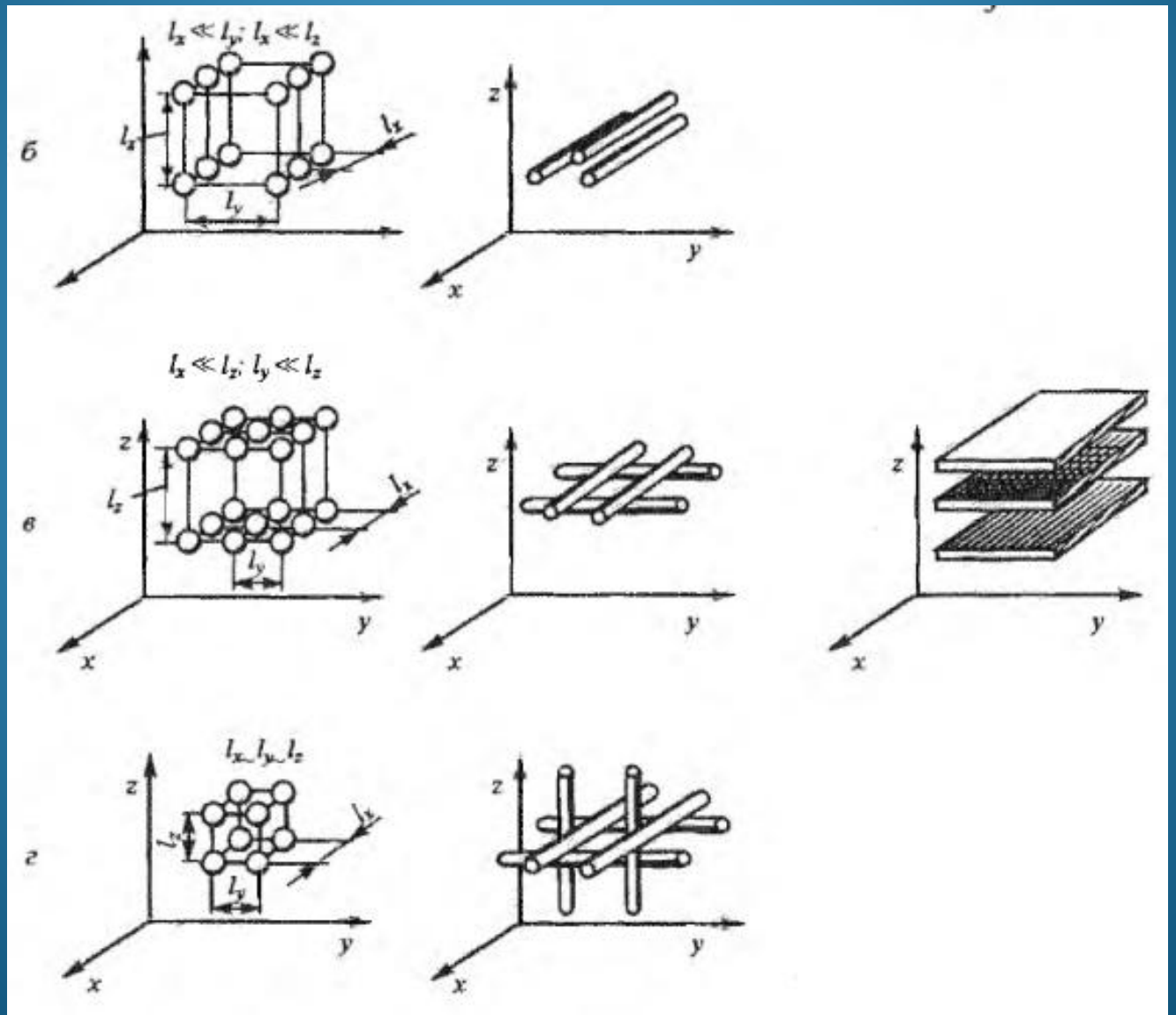
Двумерные - два размера соизмеримы с размером КМ и значительно превосходят третий (пластины, ткань)



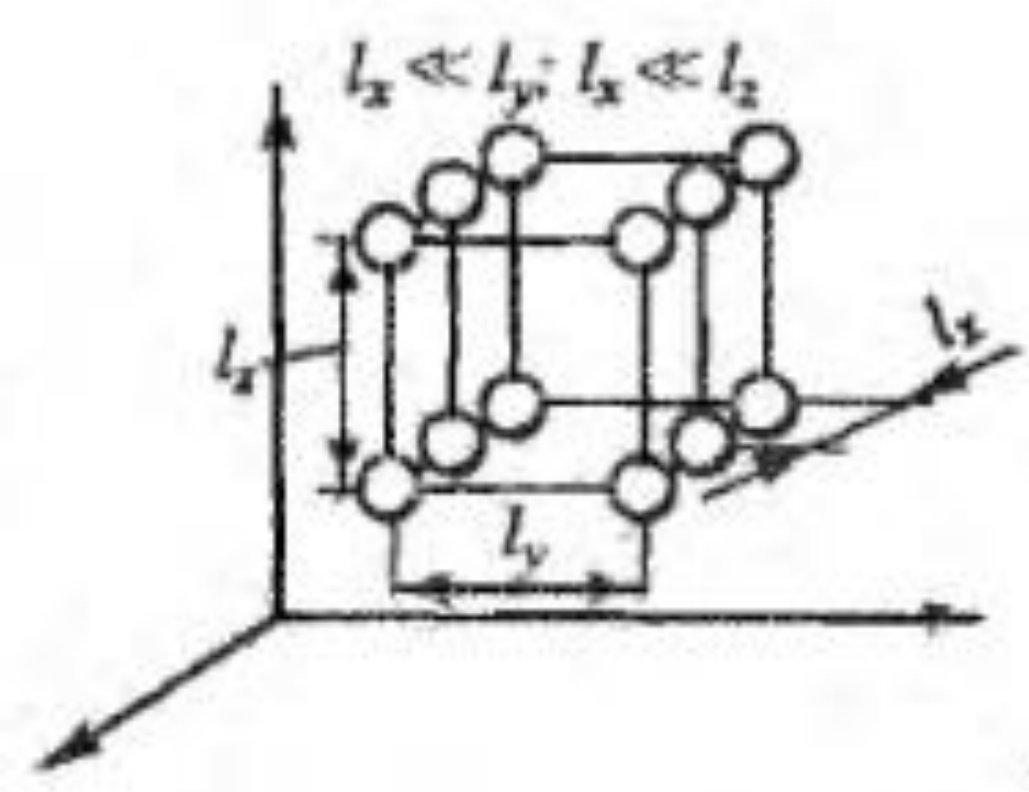
По форме наполнителя КМ разделяют на

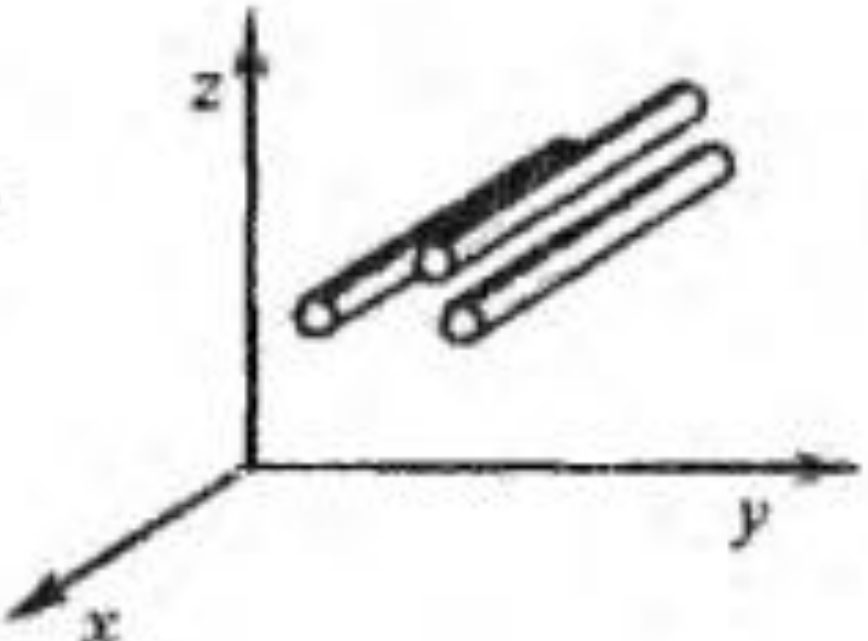
- **Дисперсно-упрочненными** называют КМ, упрочненные **нуль-мерными наполнителями**;
- **волокнистыми** — КМ, упрочненные **одномерными или одномерными и двумерными наполнителями;**
- **слоистыми** — КМ, упрочненные **двумерными наполнителями**

По *схеме армирования* КМ подразделяют на три группы: с одноосным, двуосным и трехосным армированием

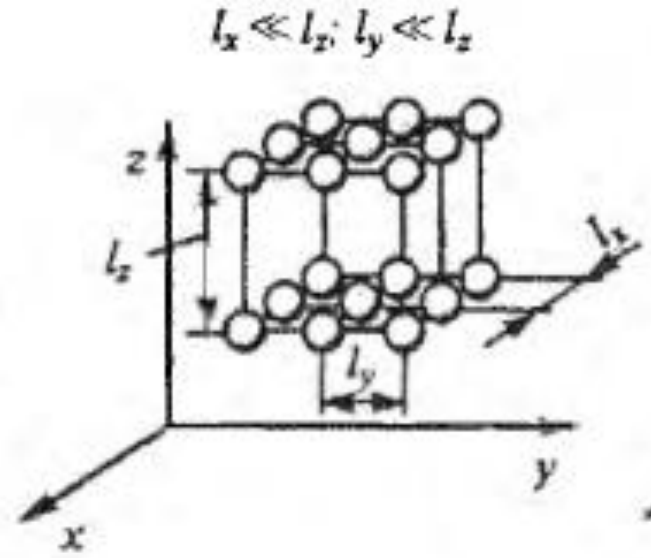


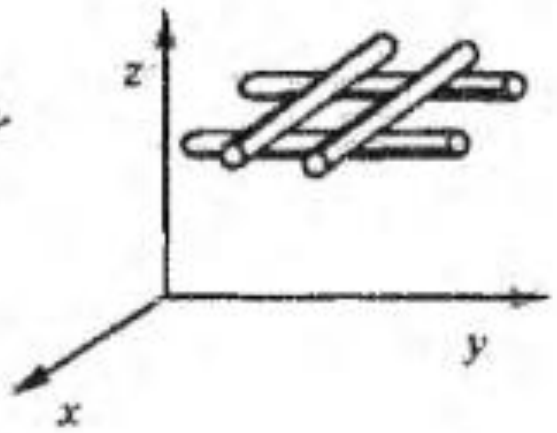
Для одноосного (линейного) армирования используют нуль-мерные и одномерные наполнители

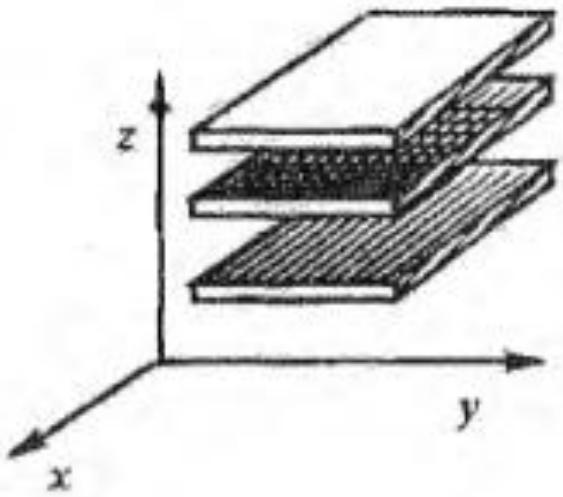




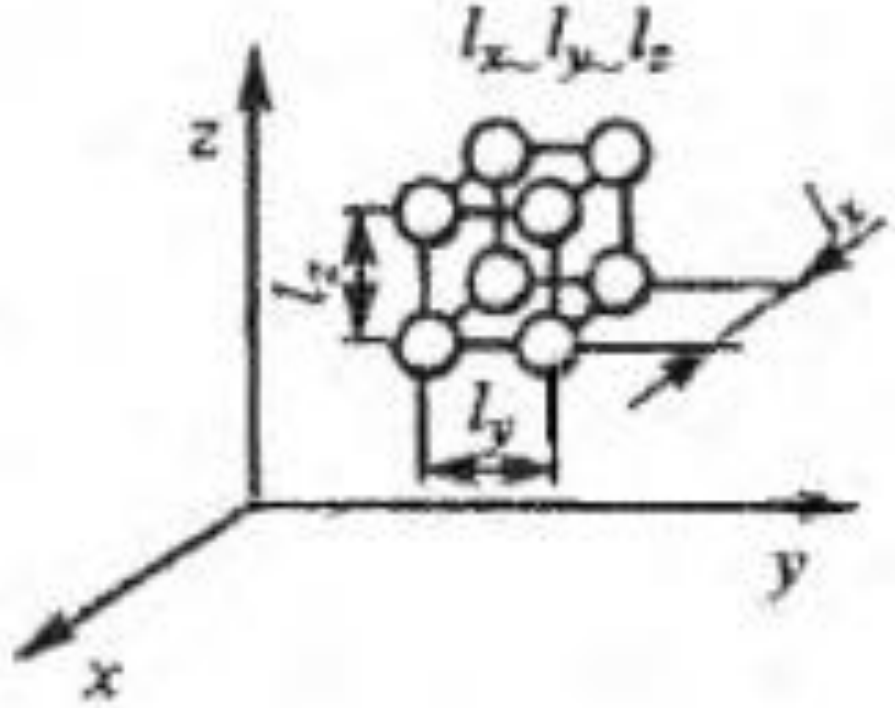
При двухосном (плоскостном) армировании используют нуль-, одно и двумерные наполнители

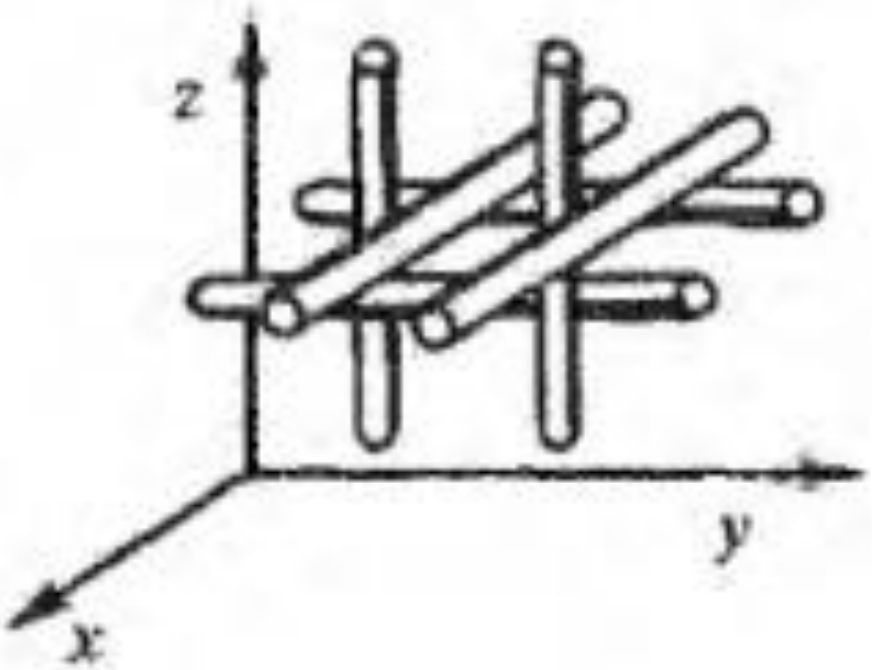






При трехосном (объемном) армировании используют нуль-мерные и одномерные наполнители





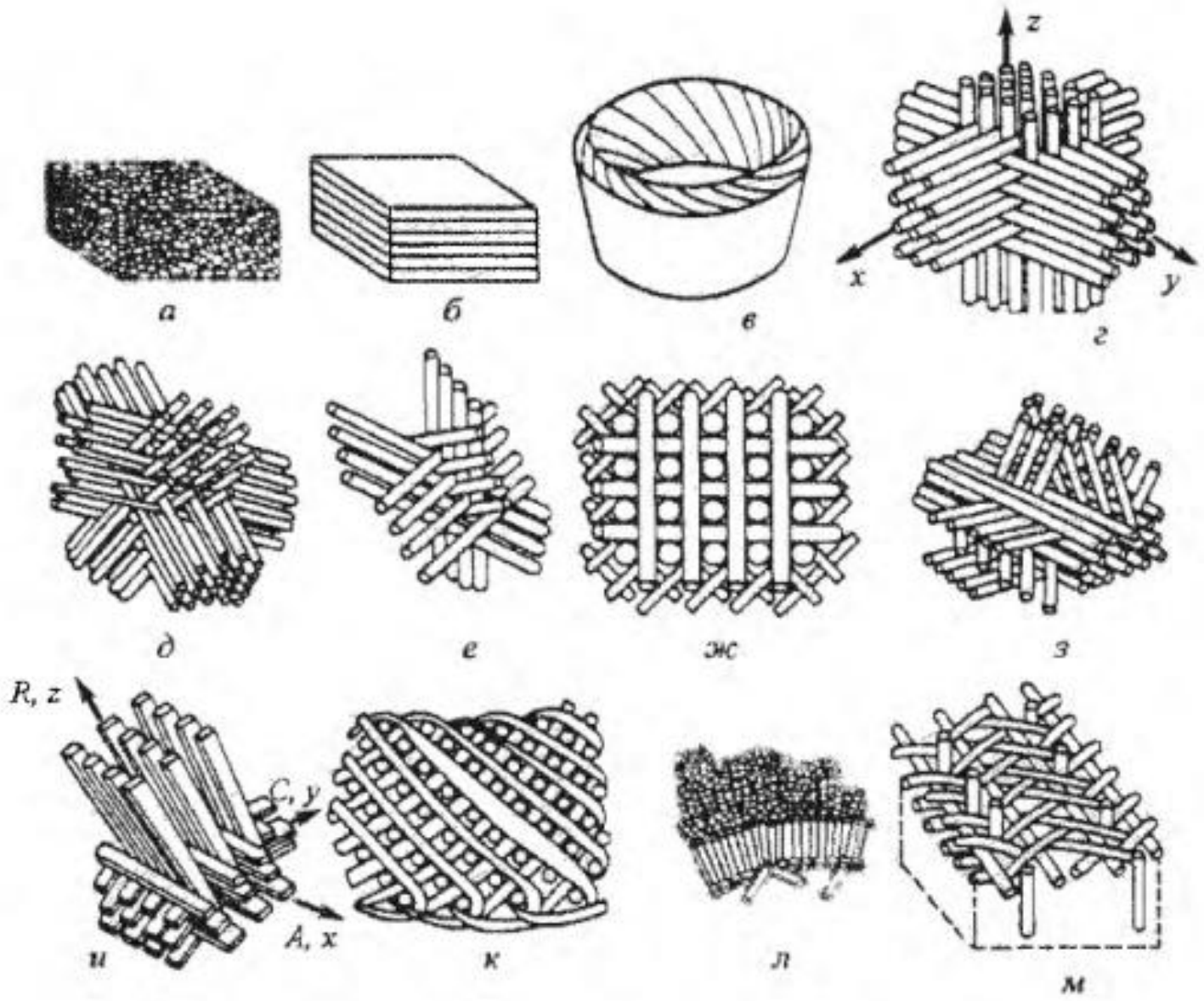
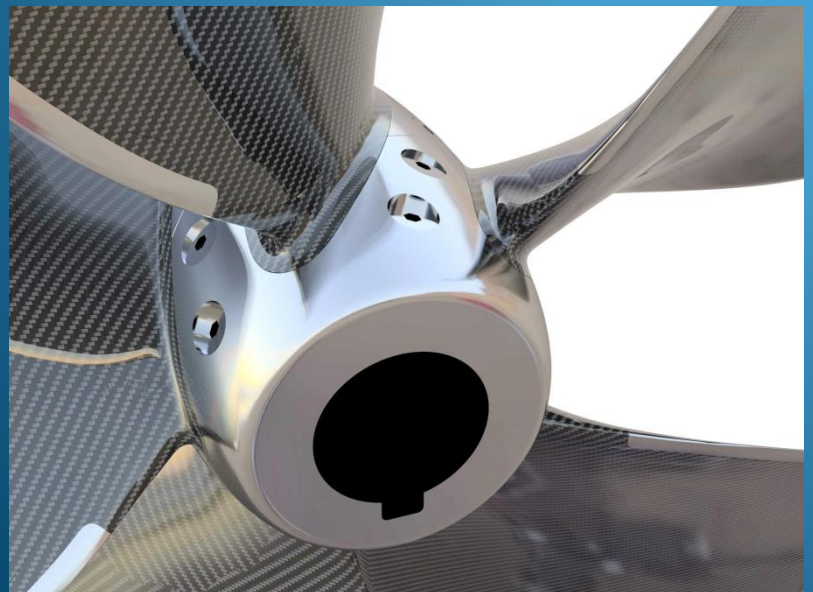


Рис. 14.21. Схемы армирования:

а – хаотическая; *б* – слоистая; *в* – розеточная; *г* – *з* – ортогональные; *и* – аксиально-радиально-окружная; *к* – аксиально-спиральная; *л* – радиально-спиральная; *м* – аксиально-радиально-спиральная

Одномерные наполнители располагаются в трех и более пересекающихся плоскостях

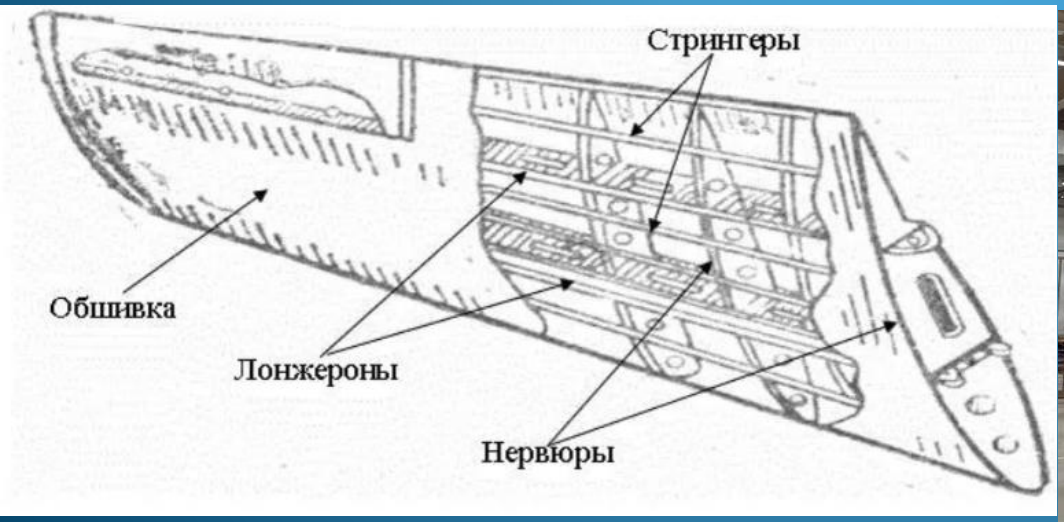
Лопасти винтов, кузова автомобилей, цистерны, корпуса лодок



Композиционные материалы (КМ) на неметаллической основе

Композиций с углеродными волокнами называются **углеволокнитами**, с борными — **бороволокнитами**, стеклянными — **стекловолокнитами** органическими — **органоволокнитами**. Для органоволокнитов используют эластичные (лавсан, капрон, нитрон) и жесткие (ароматический полиамид, винол) синтетические волокна

Композиционные материалы (КМ) на металлической основе



С алюминиевой матрицей

С магниевой матрицей

Композиционные материалы (КМ) на металлической основе

С титановой матрицей

С никелевой матрицей

С АЛЮМИНИЕВОЙ МАТРИЦЕЙ

В основном армируют стальной проволокой, борным волокном и углеродным волокном.

В качестве матрицы используют технический алюминий (АД1), сплавы (АМг6, В95, Д20 и др.)

Использование B95. Механические свойства КМ алюминиевый сплав — 50 % (об.) борные волокна без термической обработки (числитель) и после нее (знаменатель). В поперечном направлении эффект упрочнения, где свойства определяются в основном свойствами матрицы, достигает 50%

	Вдоль волокон	Поперек волокон
$\sigma_в$, МПа	1580/1670	137/259
E, ГПа	232/239	141/148

Примечание. Временное сопротивление матрицы (Al – 1 %, Mg – 0,6 %, Si – 0,2 % Cr) до термической обработки составляло 130 МПа, после – 320 МПа.

Армирование технического алюминия проволокой из стали ВНС9 диаметром 0,15 мм ($\sigma_в$ = 3600 МПа) увеличивает его $\sigma_в$ в 10 - 12 раз при содержании волокна 25% (об.) и в 14 - 15 раз при его увеличении до 40% (об.), после чего $\sigma_в$ достигает соответственно 1000 - 1200 и 1450 МПа

Армирование приближает к свойствам **титановых сплавов**. При этом плотность композиций находится в пределах 3,9 - 4,8 т/м^3

С МАГНИЕВОЙ МАТРИЦЕЙ

Материалы с магниевой матрицей характеризуются меньшей плотностью (1,8 - 2,2 т/м^3). Прочность ($\sigma_в$ = 1000 … 1200 МПа) и поэтому **более высокой удельной прочностью**. Деформируемые магниевые сплавы (МА2 и др.), **армированные борным волокном** (50 % (об.)), имеют **удельную прочность более 50 км**

Хорошая совместимость магния и его сплавов с борным волокном, обеспечивает большой ресурс работы деталей **при повышенных температурах**

С ТИТАНОВОЙ МАТРИЦЕЙ

Таблица 14.9. **Механические свойства КМ на основе сплава ВТ6**

Упрочнитель	Содержание упрочнителя, %(об.)	γ, т/м^3	$\sigma_в^{*1}$, МПа	$\sigma_в/(\gamma g)$, км	E, ГПа	$E/(\gamma g)\cdot 10^{-3}$, км
Mo	30	6,25	1400 (2300)	22	200	3,2
Be	33	–	1050 (1050)	–	168	–
SiC*2	25	4,3	910 (2550)	23	210	5

*1 В скобках указано $\sigma_в$ упрочнителя. *2 Матрица — технический титан.

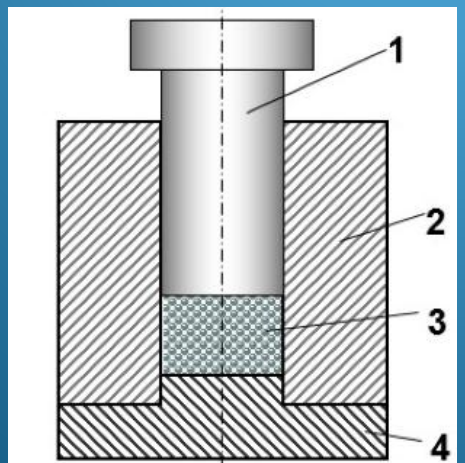
С НИКЕЛЕВОЙ МАТРИЦЕЙ

Основная задача заключается в повышении рабочих температур до 1000°С и более. Одним из лучших металлических упрочнителей является вольфрамовая проволока

Введение **вольфрамовой проволоки** в количестве от 40 до 70 % (об.) в сплав никеля с хромом, **обеспечивает** $\sigma_{в}^{1000}_{100}$ **в пределах 130 - 250 МПа**, тогда как **лучший неармированный никелевый сплав**, предназначенный для работы в аналогичных условиях, **имеет** $\sigma_{в}^{1000}_{100} = 75$ МПа

Тема 14: Порошковые материалы

Порошковыми называют материалы, изготовляемые путем **прессования металлических порошков** в изделия необходимой формы и размеров и **последующего спекания** сформованных изделий в вакууме или защитной атмосфере при температуре (0,75-0,8)Тпл



Классификация порошковых материалов

Пористость

- **Компактные**
- **Пористые (материалы, в которых после окончательной обработки сохраняется 10–30 % остаточной пористости)**

Область применения

- Конструкционные
- Инструментальные
- Специального назначения

Назначение

- Антифрикционные (железо, бронзографит)
- Фрикционные
- Жаро- и высокопрочные
- Фильтрационные
- Капиллярно-пористые
- Со специальными свойствами
- Специального назначения с особыми свойствами (ферриты, магнитодиэлектрики)

Антифрикционные

Цифра в марке железографита ЖГр1, ЖГр2,…ЖГр7 означает соответственно содержание 1…7% графита

Бронзографит

используется, в основном, для изготовления втулок. (БрОГр10-2; БрОГр8-4) 10% олова и 2% графита

Фрикционные

ФМК-11 содержит 15% меди, 3 % асбеста, 3 % SiO_2, 9% графита и 6% барита (барит - это минерал, по химическому составу являющийся сульфатом бария).

Марка материала	Состав, %												
	Fe	Cu	Ni	Cr	W	Cu_2S	Ba_4C	SiC	SiO_2	Ba_2SO_4	$FeSO_4$	Графит	Асбест
ФМК-11	64	15	-	-	-	-	-	-	3	6	-	9	3
ФМК-8	45	-	25	10	6	7	-	-	-	-	-	7	-
МКВ-50А	64	10	-	-	-	-	5	5	-	-	5	8	3

Инструментальные

Металлокерамический материал «Победит», твердый сплав из карбида вольфрама (90 %) и кобальта (10 %). Инструментом из этого материала обрабатывают металл, стекло, фарфор и камень

Ферриты

Искусственные материалы, получаемые спеканием при 1100…1300 ◦С мелких порошков оксидов железа FeO и других окислов (MnO, MgO, ZnO, NiO и др.)

Ферритовые антенны (для измерения напряжённости магнитного поля)

Получение металлических порошков и изготовление деталей

Диапазон размеров частиц практически от 0 и до 500 мкм. Их можно получить тремя способами:

1.Механическим распылением жидкого металла струей воды или газа под давлением 50...100 МПа

2. Размолом отходов металлообработки (стружки) в шаровых или вихревых мельницах

3 . Химическим восстановлением металлов из оксидов и солей углеродом, водородом или природным газом

Процесс уплотнения порошков зависит от усилия прессования. В зоне *а* происходит интенсивное уплотнение порошка за счет перераспределения частиц и более плотной их упаковки, а в зоне *б* порошок практически не уплотняется, т.к. плотно упакованные частицы оказывают сопротивление сжатию, а в последней зоне в давление прессования превышает сопротивление частиц сжатию и уплотнение происходит уже за счет деформации частиц

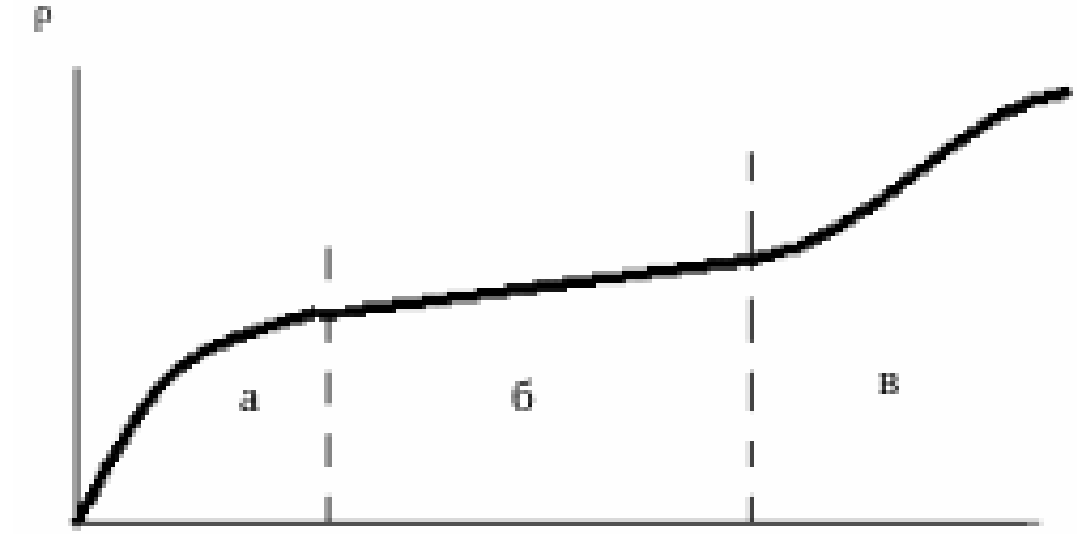
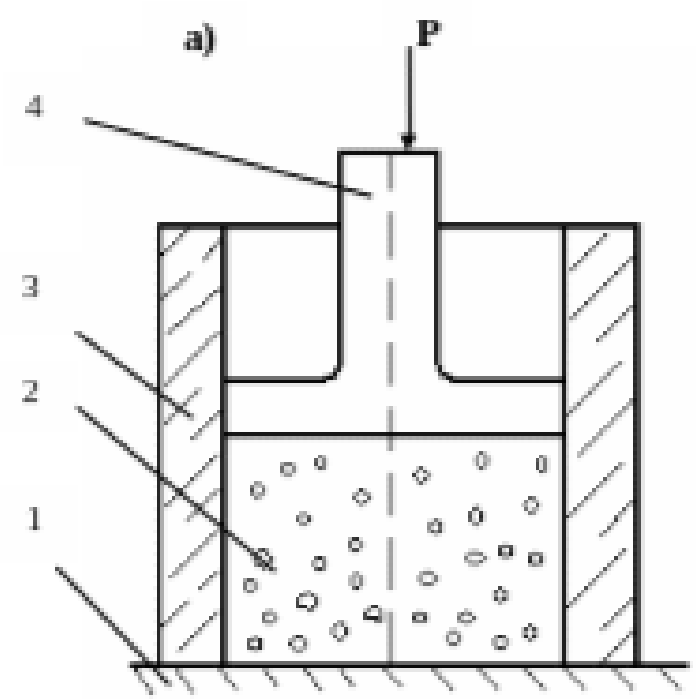
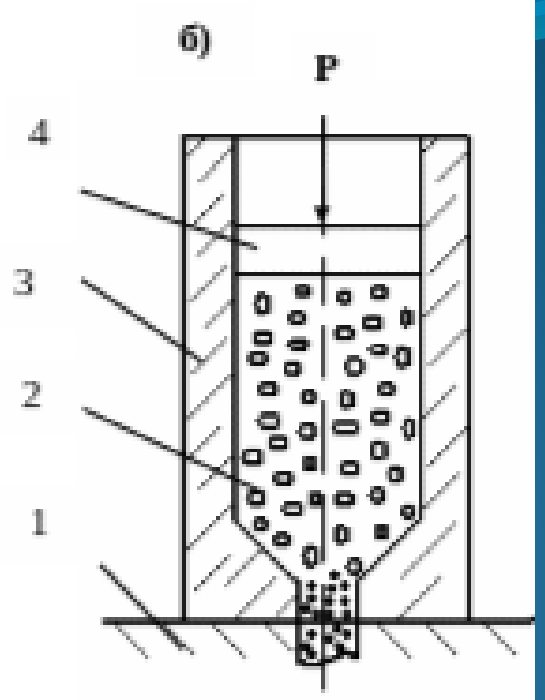


Рис.6.2. Изменение плотности порошка ρ в зависимости от усилия прессования Руд





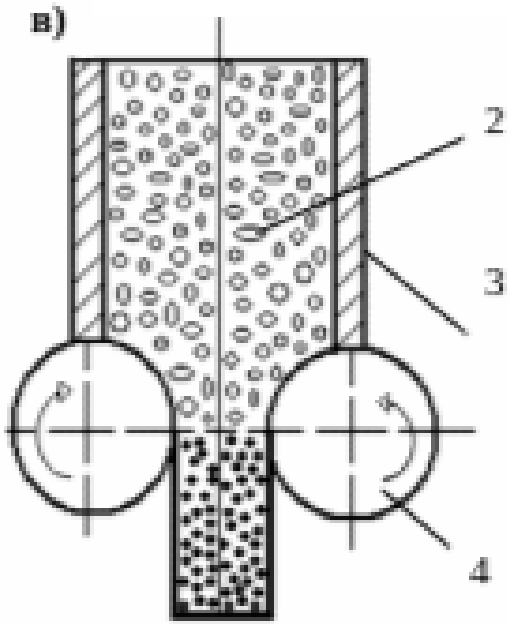


Рис. 6.3. Схемы изготовления деталей из порошков: **а** - прессованием; **б**- экструзией; **в** – прокаткой. Обозначения: 1- поддон; 2-порошок; 3- пресс-форма (бункер при прокатке); 4- пуансон (поршень); 5- прокатные валки

Спекание

необходимо для повышения прочности заготовки, полученной прессованием. Процесс спекания заключается в нагреве и выдержке материала в газовых средах в течение 30…90 минут при температуре 0,6..0,8 Тпл

Необходимость спекания вызвана тем, что после прессования **невозможно получить высокие механические характеристики**, т.к. **поверхность частиц порошка покрыта окислами и загрязнениями**, а также **из-за наличия упругих деформаций**, которые после снятия нагрузки прессования уменьшают размеры контактных участков между частицами

Спекание порошков обеспечивает прочность материала равной прочности компактных металлов.

В процессе спекания происходят восстановление поверхностных окислов, диффузия, рекристаллизация и образование новых контактных поверхностей и прочных связей между частицами.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Материаловедение»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Брестский государственный технический университет

Кафедра машиноведения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению **ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ №1-6**
по дисциплине **“Материаловедение”** для
студентов специальностей Т.03.01 “Технология,
оборудование и автоматизация машиностроения”
и Т.04.02. “Эксплуатация транспортных средств”

Утверждены на заседании
методического Совета
электронно-механического факультета,
протокол № от “___”_____ 2001 г.

БРЕСТ 2001

УДК 620. 172/178.2 (07)

В методических указаниях изложена методика определения характеристик механических свойств металлов и сплавов, твердости, макро и микроанализов сталей и чугунов. Приведена также диаграмма состояния “железо – цементит” и дан подбор режимов закалки и отпуска углеродистых и легированных сталей. Методические указания предназначены для студентов специальностей Т.03.01 “Технология, оборудование и автоматизация машиностроения” и Т.04.02 “Эксплуатация транспортных средств”.

Составители: Машинский В.В., доцент, канд. техн. наук
Голуб М.В., профессор, докт. техн. наук

Рецензенты: Ю.И.Плющев – заместитель главного инженера Брестского машиностроительного завода (БМЗ) и Л.В.Куксюк – начальник центральной заводской лабораторией БМЗ.

© Брестский государственный технический университет, 2001

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

“Методы измерения твердости конструкционных и инструментальных материалов” (работа рассчитана на 4 часа)

Цель работы: Определение твердости материалов различными методами в зависимости от механических свойств.

Оборудование и материалы: твердомеры БРИНЕЛЛЯ (ТШ, ТБ), РОКВЕЛЛА (ТК-2), ВИККЕРСА, отсчетный микроскоп типа МПБ-2(3), образцы для исследований.

Сведения из теории

Существует несколько методов измерения твердости материалов: путем вдавливания специального наконечника (Бринелля, Роквелла, Виккерса), царапания (Мооса), упругого отскока шора, ударного отпечатка (ГОСТ 18661-73). Наибольшее распространение получили методы вдавливания в поверхность исследуемого материала другого, более твердого тела (индентора) определенной формы. О твердости материала судят по величине отпечатка: чем мягче материал, тем больше отпечаток.

Различают измерение твердости (макротвердости) и микротвердости.

При измерении макротвердости в испытуемый материал вдавливается тело, проникающее на сравнительно большую глубину, зависящую от величин прилагаемой нагрузки.

При измерении микротвердости определяется твердость отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплавов, а не “интегральная” твердость, как при макротвердости, поэтому прилагаемая нагрузка должна быть небольшой.

Измерение твердости по БРИНЕЛЛЮ (ГОСТ 9012-59). Метод предложен в 1900 г. Бринеллем.

Сущность метода состоит в том, что в шлифованную (желательно с двух сторон) поверхность испытуемого материала вдавливается стальной закаленный шарик в течение определенного времени. Испытания проводятся на стационарных твердомерах (прессах Бринелля) типа ТБ, ТШ. За твердость по Бринеллю (НВ, МПа) принято отношение нагрузки Р (Н) к площади боковой поверхности F ($м^2$), получившегося отпечатка (лунки):

$$HB = \frac{P(н)}{F(м^2)} * 10^{-6}, МПа. \qquad (1)$$

или

$$HB = \frac{2P}{\pi Д\left(Д - \sqrt{Д^2 - d^2}\right)} * 10^{-6}, МПа, \qquad (2)$$

где Д – диаметр шарика, м;

d – среднее арифметическое значение двух взаимно перпендикулярных измерений диаметра отпечатка, отсчитанное с помощью отсчетного микроскопа, м.

Нагрузку и диаметр шарика выбирают в зависимости от твердости материала.

При испытании стали и чугуна выбирают Д = 0,01м. и Р = 30000(Н) ($Р = 300Д^2$); при испытании очень мягких материалов (алюминия, баббитов и т.п.) Д = 0,01м. и Р = 2500(Н) ($Р = 25Д^2$).

При испытании образцов толщиной менее 6 мм выбирают шарики диаметром 5 мм или 2,5 мм.

Обозначение твердости по БРИНЕЛЛЮ.

Если нагрузка при испытании была Р = 30000 Н, диаметр шарика Д = 10 мм и время выдержки t = 10 сек, то твердость обозначают: НВ = 200, во всех остальных случаях в обозначении обязательно указываются диаметр шарика, нагрузка и время выдержки. Например, НВ 5/750/10 – 200,

где 5 – диаметр шарика, мм;

750 – нагрузка, кгс;

10 – время выдержки, сек;

200 – значение твердости (кгс/мм^2), причем размерность твердости (кгс/мм^2) не указывалась.

Твердость материала можно и не рассчитывать по вышеприведенным формулам. Чаще для этой цели на практике используют специальные таблицы, например, таблицу №1, приведенную в Приложении (ГОСТ 9012-59).

Метод БРИНЕЛЛЯ не рекомендуется применять для металлов твердостью более 4500 МПа, так как шарик может деформироваться, что исказит результаты испытания.

Для перевода чисел твердости из системы СГС в систему СИ, т.к. в литературе часто применяют устаревшую систему СГС, пользуются коэффициентом К = $9{,}81*10^6$.

$НВ_{СИ} = НВ*К$, (Па) = $НВ*К*10^{-6}$, (МПа) = $НВ*9{,}81*10^6*10^{-6} \cong 10*НВ_{СГС}$.

Испытание считается действительным, если диаметр отпечатка лежит в пределах 0,2Д<d<0,6Д. Выход за пределы этого неравенства указывает на то, что условия испытания не соответствуют твердости материала. Между твердостью по БРИНЕЛЛЮ и значением временного сопротивления $\sigma_в$ для сталей, у которых $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ больше 0,65[3], существует приближенная зависимость: $\sigma_в \cong К*НВ$,

где К – эмпирический коэффициент;

К = 0,34…0,36 – для сталей, дуралюмина;

К = 0,4 – для бронзы, меди, латуни наклепанной;

К = 0,55 – для бронзы, меди, латуни отожженной [2].

Измерение твердости по РОКВЕЛЛУ (ГОСТ 9013-59). Метод предложен в 1920 г. Роквеллом.

Сущность данного метода несколько отличается от метода БРИНЕЛЛЯ. Общим является то, что в поверхность испытуемого материала вдавливается более твердое тело (либо алмазный конус с углом при вершине 120^0, либо стальной закаленный шарик Д = 1,588 мм). Однако твердость по РОКВЕЛЛУ определяется не отношением нагрузки к площади отпечатка, а тем расстоянием, которое кончик индентора (конуса или шарика) не дошел при испытании до условного уровня в глубине испытуемого материала, выраженным в единицах твердости. За единицу твердости по РОКВЕЛЛУ принято перемещение индентора по вертикали на 0,002 мм.

В зависимости от примерной твердости испытуемого образца, вида индентора и величины нагрузки различают три варианта (А, В, и С) обозначения твердости по которым считаются на соответствующих шкалах прибора – А (С), и В. Подробная характеристика их приведена ниже.

Выбор нагрузки и индентора для испытания приведен в следующей таблице.

Примерная твердость по Виккерсу HV, МПа	Обозначение шкалы	Вид индентора	Нагрузка общая, Р,Н	Обозначение твердости
3900-9000	А	Алмазный конус	600	HRA
600-2400	В	Стальной шарик	1000	HRB
2400-9000	С	Алмазный конус	1500	HRC

Испытание по РОКВЕЛЛУ проводится следующим образом (рассмотрим на примере определения твердости по HRC).

Вначале к индентору прикладывается предварительная нагрузка P_0 = 100 Н. путем подъема столика с образцом и установки малой стрелки напротив красной точки прибора. Индентор при этом внедряется на расстоянии h_0 от поверхности материала. Затем прикладывается основная нагрузка P_1, которая для различных вариантов также различна.

Для варианта А: P_1 = 500 Н;

В: P_1 = 900 Н;

С: P_1 = 1400 Н.

При общей нагрузке ($P = P_0 + P_1$) индентор внедрится в материал на расстояние h_1, затем P_1 снимается. Индентор при этом из-за упругости испытуемого материала переместится вверх и остановится на расстоянии h от поверхности образца.

Все перемещения индентора непрерывно фиксируются индикатором часового типа. При приложении предварительной нагрузки P_0 маленькая стрелка индикатора должна находиться на красной точке циферблата, а большая при этом устанавливается исследователем на нулевую отметку соответствующей шкалы А, В или С (нулевые отметки шкал А и С совпадают). Шкала индикатора устроена таким образом, что по ней сразу же после снятия нагрузки P_1 определяем твердость HRC в безразмерных единицах:

$$HRC = \frac{0{,}2 - (h - h_0)}{0{,}002}, \qquad (3)$$

где 0,2 – условный уровень (мм), достигнув которого прибор покажет твердость равную нулю (по шкале В для стального шарика этот уровень лежит на расстоянии 0,26 мм, начиная отчет от h_0; 0.002 – единица твердости по РОКВЕЛЛУ, мм. В соответствии с ГОСТ 8064-79 твердость по Роквеллу по шкале С общепринято обозначать $HRC_Э$ – твердость, воспроизводимую государственным специальным эталоном - ,имеется таблица 2, Приложения.

Измерение твердости по ВИККЕРСУ (ГОСТ 2999-75). Метод предложен в 1925 г. Виккерсом.

Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, например, покрытий, имеющих высокую твердость [1]. Твердость определяется вдавливанием в испытуемую поверхность (полированную с двух сторон) четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине в 136^0. Твердость по ВИККЕРСУ (HV, МПа) определяют как отношение действующей на индентор силы к площади боковой поверхности отпечатка по формуле:

$$HV = 1{,}8544\frac{P}{d^2} * 10^{-6}, МПа, \qquad (4)$$

где P – нагрузка, Н;

d – среднее арифметическое значение длин двух диагоналей отпечатка, измеренных после снятия нагрузки, М (рис.2).

Рис.2. Вид отпечатка от пирамиды.

При измерении твердости применяют следующие нагрузки: 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500 Н. Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка. Число твердости по ВИККЕРСУ определяют по специальным таблицам по измеренной величине d (мм). Перевод чисел твердости HV из системы СГС в систему СИ аналогичен переводу чисел НВ.

Контрольные вопросы

1. Когда применяется метод Бринелля, Роквелла, Виккерса при исследовании твердости металлических материалов?

2. Каково предельное значение твердости по Бринеллю и в каком диапазоне лежит достоверный диаметр отпечатка?
3. Чем определяется выбор шкалы по Роквеллу?
4. Дайте определение твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу.
5. Какова форма инденторов по названным выше методам измерения твердости?
6. Какова связь между твердостью по Бринеллю и прочностью материала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

“Определение строения металлов и сплавов методами макроскопического и микроскопического анализов” (работа рассчитана на 4 часа)

Цель работы: Установление закономерностей изменения структуры и некоторых механических свойств сталей от содержания углерода. Приобретение практических навыков при макроскопическом и микроскопическом анализе и в определении твердости металлов и сплавов.

Содержание работы: Лабораторная работа включает в себя определение твердости не менее трех марок сталей с различным содержанием углерода, приготовление микрошлифов и изучение микроструктуры сталей в равновесном состоянии. Исследуется также макроструктура 2-3 образцов с явно выраженными пороками.

Оборудование и материалы: твердомеры, шлифовально-полировальный станок, металлографический и отсчетный микроскопы, реактивы для травления шлифов, атлас макро и микроструктур, образцы отожженных углеродистых сталей.

Сведения из теории

Макроскопический анализ (макроанализ) – заключается в определении строения металлов невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз). Макростроение можно изучать не только непосредственно на поверхности металла (например, отливок, поковок), но и в изломе заготовки, а также после предварительной подготовки исследуемой поверхности, заключающейся в ее шлифовании и травлении специальными реактивами. Шлифованный и протравленный образец называют макрошлифом.

Методом макроанализа определяют:

- вид излома: вязкий, хрупкий, нафталинистый, камневидный;
- нарушения сплошности металла: усадочная рыхлость, пористость, свищи, подкорковые пузыри, трещины, непровары при сварке, флокены, дендритное строение;
- химическую неоднородность литого металла (ликвацию);
- структурную и химическую неоднородность металла, созданную термической, термомеханической или химико-термической обработкой [6].

Для травления поверхности макрошлифа применяют реактивы [6]:

- для сталей всех составов, кроме коррозионностойких и жаропрочных:
  50% р-р соляной кислоты;
  $T = 60…80^0C$;
  $\tau = 5…45$ мин.
- для коррозионно-стойких и жаропрочных сталей:
  соляная кислота 100 мл;
  азотная кислота 100 мл;
  $T = 60…70^0C$;
  $\tau = 5…10$ мин.
- для алюминиевых сплавов:
  соляная кислота 40 мл;
  азотная кислота 40 мл;
  $T = 20^0C$;
  $\tau = 1…10$ мин.
- для никелевых сплавов:
  хлорное железо 10 г;

соляная кислота 30 мл;
вода – 120 мл;
$T = 20^0C$.

Для получения светлой поверхности после травления шлифы промывают водой и просушивают.

Микроскопический анализ (микроанализ) заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа. Наблюдаемая структура называется микроструктурой. Применение белого света позволяет наблюдать структуру металла в оптических микроскопах при увеличении от нескольких десятков до 2000/3000 раз. Электронные микроскопы позволяют получить увеличение более чем в 800000 раз (модели ПЭМ-100, РЭМ-100). Для микроанализа металлов и сплавов применяются отечественные оптические микроскопы типа МИМ-6, МИМ-7, МИМ-8М, МИМ-9, ММР-4, Метам РВ-23, и "Неофот-21" (К.Цейсс, ФРГ). Перед микроанализом образцы шлифуют вручную на абразивной шкурке или на шлифовальном станке для удаления грубых рисок, а затем полируют на вращающемся круге с натянутым на него полировальным материалом (фетр, сукно и т.п.). Полировальный материал периодически смачивают растворенной в керосине полировальной пастой ГОИ, или водной суспензией оксидов алюминия, хрома. Полирование считается законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск и под микроскопом не видны риски и царапины. Шлиф промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой или тканью, протирают спиртом и протравливают. Травление шлифов необходимо для выявления структуры металла. Нетравленный полированный шлиф металла под микроскопом имеет вид светлого круга. При травлении отдельные части зерна, различные структурные составляющие травятся неодинаково. Те мягкие составляющие, которые протравятся сильнее, образуют на поверхности шлифа впадины. При попадании светового луча в такую впадину он отразится в сторону и не попадет в объектив и в глаз наблюдателя. Это место будет казаться исследователю темной полоской.

Для травления низколегированных и углеродистых сталей и чугунов рекомендуется [6] 2-4% раствор азотной кислоты в спирте.

Для травления высоколегированных сталей рекомендуется следующие реактивы: 1. Раствор азотной кислоты (10 мл) и соляной (20…30 мл) кислот в глицерине (30 мл); 2. "Царская водка" – соляная кислота 3ч, азотная кислота 1ч; 3. Солянокислый раствор хлорного железа – хлорное железо 5 г, соляная кислота 50 мл, вода 100 мл.

Для травления меди и медных сплавов: хлорное железо 10г, соляная кислота 25 мл, вода 100 мл.

Для травления алюминиевых сплавов: плавиковая кислота (48%) – 0,5 мл, вода 99,5 мл; едкий натрий (1-10 г), вода (99-90 мл).

Травильный раствор подают медицинской пипеткой на полированный шлиф, выдерживают 6-8 секунд, промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой и просматривают под микроскопом. Микрошлиф устанавливают на предметный столик микроскопа к объективу полированной поверхностью и наводят на фокус для получения четкого изображения.

Основой для определения фаз и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии является диаграмма "железо – цементит".

На диаграмме точка А (1539^0C) соответствует температуре плавления железа, а точка Д (1250^0C) – температуре плавления цементита (Fe_3C).

Точка N (1392^0C) и G (910^0C) – соответствуют полиморфному превращению железа $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$.

Концентрация углерода и температура в остальных характерных точках следующая:

% углерода	температура ^{0}C
B – 0,51	1490
C – 4,3	1147
H – 0,1	1490
J – 0,16	1490
E – 2,14	1147
P – 0,02	727
S – 0,8	727
Q – 0,006	20

Линии диаграммы состояния, определяющие процесс кристаллизации, имеют следующие обозначения и физический смысл:

AB – (линия ликвидус) показывает температуру начала кристаллизации δ – феррита ($Ф_\delta$) из жидкого сплава (Ж) при охлаждении.

BC – (ликвидус) соответствует температуре начала кристаллизации аустенита (А) из жидкого сплава.

СД – (ликвидус) соответствует температуре начала кристаллизации первичного цементита ($Ц_1$) из жидкого сплава.

AH – (солидус) является температурной границей области жидкого сплава и кристаллов δ – феррита ($Ф_\delta$). Ниже этой линии существует только δ – феррит.

HJB – линия перитектического равновесия – жидкий сплав состава точки B взаимодействует с кристаллами δ – феррита состава точки H с образованием аустенита состава точки J.

Линия JE – (солидус) – конец кристаллизации аустенита из жидкого сплава.

Линия эвтектического равновесия ECF (солидус) соответствует кристаллизации эвтектики (самого легкоплавкого сплава) с содержанием углерода 4,3% - ледебурита (по имени немецкого ученого металлурга Ледебура).

Линия GS – (Ac_3 при нагреве или Ar_3 при охлаждении) соответствует началу выделения α – феррита ($Ф_\alpha$) из аустенита.

Линия GP – конец перехода аустенита в α – феррит при охлаждении. Эти фазовые превращения – перекристаллизация – происходит в твердом состоянии и сопровождается полиморфным превращением $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$.

Линия MO (768^0C) – точки Кюри (линия A_2) – соответствует границе ферромагнитного железа (ниже 768^0C) и парамагнитного (выше 768^0C).

Линия SE (линия Аст) соответствует предельной растворимости углерода в аустените.

Линия QP соответствует предельной растворимости углерода а α – феррите.

Линия эвтектоидного (Ac_1 при нагреве или Ar_1 при охлаждении) превращения PSK соответствует распаду аустенита (0,8%C) при медленном (< 50%C) охлаждении с образованием эвтектоида – ферритоцементитной структуры – перлита (П) (в изломе имеет перламутровый цвет, отсюда и название).

Сплавы с содержанием углерода до 2,14% принято называть сталями, свыше 2,14% - чугунами.

Сталь с содержанием углерода равным 0,8% называют перлитной или эвтектоидной.

Сталь с содержанием углерода менее 0,8% называют доэвтектоидной, свыше 0,8% - заэвтектоидной.

Чугун с содержанием углерода равным 4,3% называют эвтектическим, с содержанием углерода менее 4,3% - доэвтектическим, свыше 4,3% - заэвтектическим.

Структурными составляющими углеродистой стали после ее полного отжига являются следующие структуры:

Феррит- α ($Ф_α$) – твердый раствор внедрения углерода и других примесей в α-железе, имеющего объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК) с периодом а=2,86 $\overset{0}{A}$ ($\overset{0}{A}=10^{-8}$ см.-Ангстрем). Феррит при 0,06%С имеет следующие механические свойства: $σ_в$=250 МПа, $σ_{0,2}$=120 МПа, δ=50%, ψ=80%, НВ=800-900 МПа. При рассмотрении в микроскоп феррит наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости. Максимальная растворимость углерода в α – феррите равна 0,02% при 727^0С.

Феррит – δ ($Ф_δ$) - высокотемпературный феррит – твердый раствор внедрения углерода и других примесей в δ-железе, имеющий ОЦК – решетку с периодом а=2,93 $\overset{0}{A}$. Максимальная растворимость углерода в δ – феррите равна 0,1% при 1490^0С.

Цементит (Ц) – химическое соединение углерода с железом (карбид железа – Fe_3C). Содержание углерода в цементите – 6,67%. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Цементит обладает высокой твердостью (HV=10000 МПа) и очень малой пластичностью. Поэтому с возрастанием содержания цементита в структуре стали, твердость ее повышается, а пластичность уменьшается. Цементит травится реактивами медленнее, чем феррит. Поэтому он как бы возвышается над последним и под микроскопом кажется более светлым.

Перлит (П) – механическая смесь феррита и цементита. Перлит бывает пластинчатым (цементит в виде пластинок) и зернистым (цементит в виде зернышек). Твердость перлита выше, чем у феррита, но меньше чем у цементита. Граница зерен и пластин наблюдается под микроскопом в виде темных линий, которые образуются только от выступающих цементитных частиц. Перлит имеет следующие механические свойства: $σ_в$=1000 МПа, $σ_{0,2}$=600 МПа, δ=16%, ψ=40%, НВ=1800…2500 МПа.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода и других примесей в γ-железе. Атом углерода в решетке γ-железа располагается в центре элементарной ячейки (γ-железо - $Fe_γ$ имеет гранецентрированную кубическую решетку с периодом а=3,65 $\overset{0}{A}$). Предельная растворимость углерода в аустените равна 2,14% при 1147^0С. Аустенит обладает высокой пластичностью, низкими пределами текучести и прочности. Микроструктура аустенита – полиэдрические зерна. Сочетание рассмотренных структурных составляющих и их соотношение в стали при

определенных температурах обусловливается содержанием в ней углерода, который определяет ее строение и свойства.

Порядок выполнения работы

1. Определить твердость и прочность образцов из углеродистых сталей.
2. Провести макро и микроанализы стальных образцов, зарисовать структуры.
3. Ознакомиться с конструкцией оптического микроскопа и зарисовать его принципиальную схему. Указать тип микроскопа.
4. По известным механическим свойствам и микроструктуре определить примерное содержание углерода в стали и ее марку.
5. Вычертить всю диаграмму и отдельно “стальную” часть диаграммы “железо-цементит” для возможности дальнейшего ее использования. Исследовать процесс охлаждения сплавов из расплавленного состояния до комнатной температуры.

Контрольные вопросы

1. Назвать все характерные линии диаграммы “Fe-Fe_3C”.
2. Назвать температуры плавления железа, ледебурита, цементита.
3. Дать название точек S, E, C диаграммы.
4. Дать определение всех структурных составляющих диаграммы.
5. Дать характеристики полиморфных превращений железа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

“Определение температур критических точек конструкционной стали”
(работа рассчитана на 4 часа)

Оборудование и материалы: твердомеры Бринелля и Роквелла, нагревательная печь, шлифовально-полировальный станок, закалочная емкость, образцы конструкционной стали.

Знание критических точек необходимо не только для характеристики превращений стали, но и для выполнения термической обработки (отжига, закалки, нормализации). На диаграмме “железо-цементит” критическим точкам Ac_1 отвечает линия PSK (727°C), критическим точкам Ac_3 – линия GS. Однако, диаграмма “железо-цементит” характеризует состояние чистых сплавов, тогда как промышленные сплавы содержат еще и марганец, кремний, фосфор, серу, хром, никель и др. В углеродистых сталях влияние этих примесей на положение критических точек не столь значительно, что и позволяет с некоторым приближением определять температуры для термообработки по диаграмме “железо-цементит”. При увеличении содержания марганца (свыше 0,8%) или кремния (свыше 0,6%) и некоторых других легирующих элементов (никеля, хрома) положение критических точек значительно изменяется и определение их даже по тройной диаграмме “железо-цементит-легирующий элемент” становится невозможным. Для широко применяемых сталей критические точки определены и указаны в справочниках, а для новых сталей и особенно для сложнолегированных, критические точки определяются методом пробных закалок, дилатометрическим, термическим, дифференциальным и методом измерения электросопротивления. Метод пробных закалок является более простым, но менее точным; он заключается в следующем: из исследуемой стали изготавливают образцы диаметром около 20 мм и длиной 12…15 мм. Один образец нагревают несколько ниже предполагаемой температуры Ac_1, быстро охлаждают в воде и измеряют твердость по методу Роквелла (HRC); второй образец нагревают на 10…15° выше, также охлаждают и измеряют твердость. Таким же образом нагревают до все более высокой температуры каждый следующий образец, доведя нагрев последнего образца до температуры на 10..15° выше предполагаемой критической точки Ac_3. Известно [6], что нагрев ниже точки Ac_1 (точка 1, рис.1) не может изменить структуру стали и повысить твердость (твердость может даже несколько понизиться, если сталь была предварительно недостаточно отпущена или недостаточно отожжена).

Рис.2. “Стальной” угол диаграммы “$Fe\text{-}Fe_3C$”

Рис.3. Диаграмма для определения критических точек

Твердость образца возрастает, если сталь нагреть несколько выше Ac_1, например, до температуры, соответствующей точке 2, а затем охладить в воде. Структура в этом случае изменится; сталь получит структуру феррит + аустенит. В результате быстрого охлаждения сталь получит структуру феррит + мартенсит, так как аустенит при охлаждении со скоростью

выше критической превращается в мартенсит. Феррит, сохранившийся при нагреве до точки 2 остается при охлаждении без структурных изменений, так как скорость охлаждения для него не является критической. Образование твердой составляющей (мартенсита) повышает твердость стали. После более высокого нагрева, например, до точки 3, твердость еще больше увеличится (рис.2). Поскольку с повышением температуры в интервале от Ac_1 до Ac_3 количество аустенита возрастает, а количество феррита уменьшается, то в закаленной стали должно увеличиваться количество твердой составляющей – мартенсита. Повышение твердости должно продолжаться до тех пор, пока не будет достигнута температура Ac_3. Тогда сталь при нагреве получит полностью аустенитную структуру, а при охлаждении – структуру одного мартенсита. Очевидно, что дальнейшее повышение температуры нагрева (например, выше точки 4, рис.2) не изменит структуру стали и ее твердость в закаленном состоянии. Результаты измерения твердости при соответствующих температурах нагрева заносятся в журнал наблюдений, а по ним строят диаграмму в координатах: “Температура нагрева - твердость”. Температуре начала повышения твердости отвечает критическая точка Ac_1, а конце подъема твердости – точка Ac_3.

Кривые для эвтектоидной и заэвтектоидной стали имеют несколько иной вид. При нагреве ниже линии Ac_1 эти стали, как и доэвтектоидные, не изменяют структуры, но при нагреве выше точки Ac_1 эвтектоидная сталь получает структуру аустенита, а заэвтектоидная – структуру аустенита и цементита. После закалки эвтектоидная сталь имеет структуру мартенсита; заэвтектоидная – мартенсита и цементита. Эти структурные состояния определяют высокую твердость (> 60 HRC). Еще более высокий нагрев мало изменяет твердость, кривая твердости на диаграмме имеет, в связи с этим, резкий перелом, соответствующий температуре Ac_1. Точность способа пробных закалок зависит от величины интервала температур нагрева каждого следующего образца. В промышленности достаточно надежным считается интервал в 10^0C.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить 8-10 образцов одной марки стали и отшлифовать их с 2-х сторон.
2. Произвести нумерацию образцов путем клеймения.
3. Замерить твердость всех образцов по методу Бринелля и занести данные в таблицу.
4. Перевести твердость по Бринеллю в единицы твердости по Роквеллу (по таблице ГОСТа 9012-59) и занести в таблицу.
5. Поместить все образцы в муфельную электрическую печь, разместив их в порядке очередности для закалки.
6. Нагреть электропечь до температуры 700^0C и, взяв образец №1, закалить его в воде с температурой 20^0C.
7. Довести температуру в печи до 710^0C и закалить образец №2 (температура воды должна поддерживаться на одном уровне).
8. Довести температуру в печи до 720^0C и закалить образец №3 и так далее с интервалом в 10^0C произвести нагрев остальных образцов и их закалку.
9. Все образцы отполировать на полировальном станке.
10. Замерить твердости по Роквеллу в трех точках каждого образца и найти среднее арифметическое значение твердости по каждому образцу.
11. Все замеры твердости занести в таблицу.
12. По данным измерений твердости построить кривую в координатах: “температура ^{0}C – твердость HRC”.
13. По данным диаграммы твердости определить критические точки Ac_1 и Ac_3.
14. Сравнить для данной марки стали значения найденных значений критических точек с данными справочника (например, Марочник сталей и сплавов, М.: “Машиностроение”, 1989).
15. Определить погрешность в определении критических точек.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

“Закалка и отпуск углеродистой и легированной стали”

(работа рассчитана на 6 часов)

Цель работы: Опытная проверка закономерностей изменения твердости, вязкости и структуры сталей при закалке и отпуске углеродистых и легированных сталей.

Содержание работы: Лабораторная работа включает в себя проведение закалки и отпуска углеродистых и легированных сталей (не менее двух марок). При этом определяется твердость, вязкость и структура сталей до и после каждого вида термической обработки. На основании полученных результатов строятся графики зависимости твердости и вязкости стали от температуры отпуска. Режим закалки выбирается по диаграмме “железо-цементит” в зависимости от содержания в стали углерода.

Оборудование и материалы: Лабораторная муфельная печь с термопарой и потенциометром, твердомеры, шлифовально-полировальный станок, маятниковый копер, емкость с охлаждающей жидкостью, металлографический микроскоп, атлас микроструктур, образцы углеродистой и легированной сталей.

Сведения из теории

Термическая обработка – процесс, состоящий из нагрева стали до определенных температур, выдержке до полного фазового превращения и последующего охлаждения с целью изменения структуры и свойств металла. Структурные превращения, которые происходят в сталях при нагреве и медленном охлаждении, изучаются по диаграмме состояния “железо-цементит“. Температуры, при которых начинаются или завершаются структурные превращения в твердом состоянии для конкретной марки стали называются критическими точками. Для больших групп сталей, близких по содержанию углерода, геометрическое место критических точек превращается в линию. Эти линии при нагревании принято обозначать Ac_1 (линия PSK, см. диаграмму Fe – Fe_3C), Ac_3 (линия GS) и Аст (линия SE). Нагрев стали до температуры Ac_1, как установлено экспериментами, не приводит к изменению исходной структуры. Дальнейший нагрев доэвтектоидных сталей выше линии Ac_1 приводит к постепенному растворению феррита в аустените, а в заэвтектоидных – цементита в аустените. Выше линий GS и SE стали имеют однородную стабильную структуру – аустенит.

Скорость охлаждения стали, нагретой выше этих линий, определяет структуру стали, рассматриваемой при комнатной температуре. Для изучения изотермического превращения аустенита берут небольшие образцы, например, эвтектоидной стали, нагревают до температур, соответствующих существованию стабильного аустенита, а затем быстро охлаждают (переохлаждают) до температур ниже Ar_1, например, до 700^0, 600^0, 500^0, 400^0, 300^0C и т.д. и выдерживают при этой температуре до полного распада аустенита. Экспериментально установлено [1], что при охлаждении аустенита до температур 700-550^0C и изотермической выдержке происходит диффузионный распад аустенита с образованием феррито-цементитной структуры, которую условно по степени дисперсности делят на три:

структура:	перлит	сорбит	троостит
Δ_0, МКМ	0,6 – 1,0	0,25 – 0,3	0,1 – 0,15
НВ, МПа	1800 – 2500	2500 – 3500	3500 – 4500

где Δ_0 – суммарная толщина пластинок феррита и цементита.

Таким образом, продуктами распада переохлажденного аустенита эвтектоидной стали в области перлитного превращения (до 550^0C) является перлит, сорбит, троостит или,

соответственно, грубо-, средне- и тонкодифференцированный перлит. Под микроскопом структура наблюдается в виде чередующихся темных (феррит) и светлых (цементит) полосок.

При охлаждении аустенита до температур 550^0 – 200^0С с изотермической выдержкой образуется так называемая промежуточная структура. (В странах СНГ и во Франции она называется игольчатый троостит, в США – бейнит, в Германии – промежуточная структура). Это превращение обладает рядом особенностей, присущих как перлитному (диффузионному), так и мартенситному – бездиффузионному.

При охлаждении аустенита до температуры ~ 200^0С диффузионные процессы полностью подавляются и образование феррито-цементитной структуры становится невозможным. В этом случае протекает бездиффузионное превращение аустенита в структуру закаленной стали – мартенсит. Таким образом, мартенсит является пересыщенным твердым раствором внедрения углерода в α-железе концентрации аустенита. Мартенсит имеет тетрагональную пространственную решетку. Под микроскопом виден в виде игл, хаотически расположенных по всему полю микроструктуры, особенно хорошо виден при увеличении в 500-800 раз. Мартенсит обладает высокой твердостью (HRC ~ 65) и прочностью. Временное сопротивление его $\sigma_в$=2000…2300 МПа для стали с содержанием углерода ~ 0,8%.

Существенное влияние на структуру стали оказывает скорость охлаждения. При скорости охлаждения до 50^0С в 1 сек. распавшийся аустенит образует структуру сорбита. Она встречается в конструкционных сталях после закалки с охлаждением в масле или после закалки и высокотемпературного отпуска.

При скорости охлаждения 80-100^0С в 1 сек. образуется структура троостита. Структуру троостита могут иметь конструкционные стали, закаленные, а затем отпущенные при температуре 350-450^0С (среднетемпературный отпуск).

При скоростях охлаждения 150-180^0С в 1 сек. и выше образуется мартенсит.

Минимальная скорость охлаждения, при которой по всему сечению детали образуется мартенситная структура, называется критической скоростью закалки.

Структура стали, получающаяся после термообработки, зависит не только от скорости охлаждения, но и от температуры нагрева.

При нагреве доэвтектоидной стали до температуры несколько выше Ac_1 с последующим охлаждением со скоростью выше критической в структуре стали наряду с мартенситом будет присутствовать часть феррита и такую закалку называют неполной. Для осуществления полной закалки нагрев доэвтектоидных сталей ведут до температур на 30-50^0С выше линии Ac_3. Структура стали после такой закалки будет состоять из одного мартенсита.

Нагрев заэвтектоидной стали до температуры выше линии Аст с последующим быстрым охлаждением, приведет к образованию структуры, состоящей из крупнокристаллического мартенсита и значительного количества остаточного аустенита. Такая структура будет обладать более низкой твердостью из-за растворения избыточного цементита и присутствия остаточного аустенита. Кроме того, нагрев стали выше линии Аст опасен, так как способствует увеличению зерна, возникновению больших закалочных напряжений и обезуглероживанию. По этой причине нагрев заэвтектоидной стали под закалку ведут до температур на 30-50^0С выше линии

Ac_1. Структура такой стали будет состоять из мартенсита, избыточного цементита и некоторого количества остаточного аустенита. Присутствие избыточного цементита повышает твердость и износостойкость, при этом важно, чтобы цементит находился не в виде цементитной сетки, а в виде зернистой структуры.

Время выдержки образцов в печи должно быть таким, чтобы завершился процесс превращения феррито-цементитной смеси в аустенит. Рекомендуется время нагрева в электрической печи принимать равным 50-80 секундам на 1 мм. диаметра образца. Время выдержки в печи можно принять равным 25% от времени нагрева.

Для успешного проведения термической обработки большое значение имеет выбор закалочной среды. Закалку среднеуглеродистых сталей обычно проводят в воде при 18-20^{0}С, а большинство остальных сталей в минеральном масле. Твердость металла, закаленного в масле, составляет 1/2 - 1/5 твердости, получаемой при закалке в холодной воде. Закаливаемый образец нужно энергично перемещать в закалочной жидкости для разрушения паровой рубашки, мешающей закалке.

Для устранения внутренних напряжений в металле, образовавшихся при закалке, получения стабильной структуры и требуемых механических свойств (повышенной вязкости, пониженной твердости) применяется отпуск.

Низкотемпературный (низкий) отпуск выполняют при температурах 170-200^{0}С для уменьшения закалочных напряжений. Твердость стали почти не изменяется, а несколько увеличивается вязкость. Структура – отпущенный мартенсит. Этот вид отпуска применяется для режущего и измерительного инструмента, штампов холодной штамповки, деталей подшипников качения.

Среднетемпературный (средний) отпуск выполняют при температуре 350-450^{0}С, что приводит к значительному понижению твердости, прочности и повышению вязкости. Структура стали – троостит. Применяется в основном для пружин, рессор, торсонов, камертонов, штампов.

Высокотемпературный (высокий) отпуск выполняется при температуре 500-650^{0}С. При этом понижается твердость, прочность и возрастает пластичность и вязкость. Структура стали – сорбит, обладающая наилучшим сочетанием прочности и вязкости. Закалку и высокий отпуск называют улучшением. Этому виду отпуска подвергаются большинство конструкционных сталей. Нагретые для отпуска образцы охлаждаются любым способом: на воздухе, масле или воде, так как скорость охлаждения при отпуске на механические свойства не влияет.

Для определения зависимости механических свойств сталей от температуры отпуска закаленные образцы подвергают отпуску при различных температурах – 200, 400, 600^{0}С. Время нагрева при этом берется из расчета 2-3 минуты на 1 мм диаметра образца.

Очищенные от окалины образцы шлифованием и полированием испытываются на твердость по Роквеллу после закалки и отпуска, переводят в твердость по Бринеллю по таблицам (см. Приложение, таблица 1) и по соотношению $\sigma_в$ = К*НВ (см. работу №1) вычисляют $\sigma_в$ – временное сопротивление. На маятниковом копре определяют ударную вязкость. По полученным данным строят график зависимости твердости и вязкости стали от температуры отпуска.

Порядок выполнения работы

1. Получив образцы различных сталей, по содержанию в них углерода и диаметру назначить режим закалки и отпуска (температуру нагрева, время нагрева и выдержки при закалке и отпуске, охлаждающую среду).
2. Нагреть образцы в муфельной электропечи и закалить их в охлаждающей среде, предварительно изучив структуру и твердость.
3. Определить твердость образцов и микроструктуру после закалки и после отпуска. Зарисовать структуры.
4. Провести три вида отпуска для образцов одной марки.
5. Определить ударную вязкость трех образцов одной марки после различных видов отпуска.

6. Построить график зависимости твердости и вязкости от температуры отпуска.
7. Данные внести в таблицу.

№ п/п	Марка стали	Нагрев для закалки ^{0}C	Механические свойства после закалки			Микроструктура (после закалки зарисовать и описать)	Механические свойства после отпуска		
			HRC	HB, МПа	$\sigma_в$, МПа		200^0C HRC, $a_н$	400^0C HRC, $a_н$	600^0C HRC, $a_н$

Содержание отчета

В отчете указать цель работы и дать краткие сведения из теории. Описать структуры сталей после закалки и отпуска. Проанализировать влияние температуры нагрева сталей на их структуры и свойства после закалки. Проанализировать влияние температуры нагрева стали при отпуске на твердость и вязкость. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение структурных составляющих диаграммы “Fe-Fe_3C”: феррита α(δ), аустенита, перлита, ледебурита.
2. Укажите на диаграмме критические линии A_1, A_2, A_3, Аст и какие структурные изменения происходят на них при нагреве и охлаждении образца.
3. Каковы должны быть скорости охлаждения образцов для полученбия структур перлита, сорбита, троостита, бейнита, мартенсита?
4. Дайте определение критической скорости закалки.
5. В чем сходство и в чем различие структур перлита, сорбита и троостита?
6. Какова структура стали после высокого, среднего и низкого отпусков и для каких изделий они применяются?
7. Что называется улучшением стали?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

“Микроструктурный анализ чугунов”

(работа рассчитана на 2 часа)

Цель работы: Ознакомиться с разновидностями структур различных марок чугунов.

Оборудование и материалы: Металлографический микроскоп, атлас микроструктур, образцы различных марок чугунов, травильный раствор, шлифовально-полировальный станок.

Сведения из теории

Сплав железа с углеродом, содержащим более 2,14%, называют чугуном. Присутствие легкоплавкой эвтектики в структуре чугуна обусловливает его использование исключительно в качестве литейного сплава. Углерод в чугуне может находиться в виде цементита или графита или одновременно в виде цементита и графита.

Цементит придает излому специфический светлый блеск. Поэтому чугун, в котором весь углерод находится в виде цементита, называют белым.

Основой структуры белого чугуна является ледебурит (по имени немецкого ученого Ледебура).

Ледебуритом называется механическая смесь цементита (Ц) и аустенита (А) при температурах от 727^0 до 1147^0С или смесь цементита и перлита (П) при температурах ниже 727^0С.

Ледебурит содержит 4,3% углерода. Микроструктура ледебурита приведена на рис 1.

Если затвердевающие сплавы железа с углеродом концентрации > 2,14% охлаждаются медленно, то углерод в них кристаллизуется в свободном виде, то есть в виде графита (Г). По форме графитных включений, образующихся при его кристаллизации, чугуны подразделяются на серые, ковкие, высокопрочные.

Чугуны, в которых графит выделяется в пластинчатой форме, называются серыми (по цвету излома образца).

Охлаждение чугуна в реальных условиях может существенно отличаться от условий равновесия. Поэтому по равновесной диаграмме “железо-графит”, несколько отличающейся от диаграммы “железо-цементит”, нельзя судить о процессе затвердевания и получающихся при этом фазах и структурах в производственных условиях.

Структура чугуна в отливках зависит в первую очередь от химического состава (содержания углерода и кремния) и скорости кристаллизации. Изменяя с одной стороны содержание в чугуне углерода и кремния и, с другой – скорость охлаждения, можно получить различную структуру металлической основы чугуна: ферритную (Ф), перлитную (П) или ферритно-перлитную. На рис. 2 приведены микроструктуры таких чугунов.

Рис.2. Микроструктура серого чугуна с ферритной, перлитной и ферритно-перлитной основой.

Ковкими называют чугуны, графит в которых кристаллизируется в хлопьевидной форме. Получают их путем длительного отжига отливок из белого чугуна по специальному режиму. Ковкие чугуны могут иметь ферритную или перлитную (рис.3) металлическую основу.

Рис.3. Микроструктура ковкого чугуна с ферритной и перлитной основой.

Высокопрочными называют чугуны, графит в которых кристаллизуется в шаровидной форме. Это достигается присадкой в жидкий серый чугун щелочных или щелочноземельных металлов. Часто для этой цели применяют магний в количестве 0,03…0,07%. Они могут иметь ферритную, перлитную или ферритно-перлитную металлическую основу (рис.4).

Рис.4. Микроструктура ковкого чугуна с перлитной, ферритно-перлитной и ферритной основой.

Содержание отчета

В отчете следует привести зарисовки микроструктуры исследованных марок чугунов и описать их. Дать краткие сведения из теории.

Контрольные вопросы

1. В какой форме присутствует углерод в белом, сером, ковком и высокопрочном чугуне?
2. Какова может быть металлическая основа серого, ковкого и высокопрочного чугунов?
3. Как получить чугун с определенной металлической основой и для каких изделий он применяется?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

“Структура и свойства инструментальной металло- и минералокерамики”
(работа рассчитана на 4 часа)

Цель работы: изучение микроструктуры, состава, свойств и областей применения минерало- и металлокерамических твердых инструментальных материалов.

Оборудование и материалы: металлографические микроскопы, коллекция микрошлифов основных групп твердых сплавов, атлас микроструктур.

Порошковые материалы из железа, углеродистой, легированной и нержавеющей стали, бронзы, латуни, кобальта, меди, хрома, алюминия, бериллия, окислов, карбидов, боридов, нитридов находят широкое применение в качестве конструкционных материалов для изготовления деталей машин и получения изделий с особыми и специальными свойствами (фрикционные, антифрикционные, пористые, магнитные, жаропрочные и др.), а также для различного рода инструмента с высокой износо- и теплостойкостью.

Металлокерамические твердые сплавы для режущего инструмента представляют собой композиции из особо твердых тугоплавких соединений в сочетании с вязким связывающим металлом (кобальтом, никелем, ниобием, молибденом). В качестве тугоплавких и износостойких применяют химические соединения углерода, азота с металлами: титаном, вольфрамом, ванадием, хромом, цирконием, молибденом, танталом. Размеры частиц связующей и тугоплавкой фаз для большинства сплавов составляют 0,5…10 мкм.

В зависимости от состава карбидной фазы вольфрамовых (наиболее распространенных) металлокерамических твердых сплавов они подразделяются на 3 группы:

- однокарбидные (ВК), состоящие из карбидов вольфрама (WC) и кобальтовой связки;
- двухкарбидные (ВТК), состоящие из карбидов титана и вольфрама (TiC и WC) с кобальтовой связкой;
- трехкарбидные (ВТТК), состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала (WC, TiC, TaC) с кобальтовой связкой.

Для получения спеченных твердых сплавов применяют следующую технологию. В качестве исходных материалов используют трехокись вольфрама, двуокись титана, окись-закись кобальта, порошок тантала и сажу. Порошки вольфрама и кобальта получают восстановлением окислов водородом. Насыпная плотность их составляет 1,5...5 г/см^3. Порошок карбида вольфрама (WC) образуется в результате карбидизации из смеси порошка вольфрама с сажей в атмосфере водорода при температуре около 1600^{0}С с последующим размолом в шаровых мельницах шарами диаметром 6...18 мм в течение 24...120 часов, сушкой и просеиванием. В связи с низкой пластичностью в смесь добавляют пластификаторы: каучук, парафин, глицерин. Отпрессованные при давлении около 150 МПа изделия сушат при температуре около 200^{0}С, а затем спекают при температуре 1350...1480^{0}С (сплавы ВК) и при 1450...1550^{0}С (сплавы ВТК и ВТТК) в среде водорода или в вакууме. Спекание протекает с образованием жидкой фазы – эвтектики из карбида вольфрама и его твердого раствора в кобальте. Конечная структура твердого сплава ВК – это правильной формы кристаллы карбида вольфрама, связанные металлическим кобальтом. Структура сплава ВТК при содержании кобальта около 20% характеризуется наличием округлых зерен титановольфрамового карбида (из-за растворения карбида вольфрама в карбиде титана), также связанные твердым раствором карбидов вольфрама и титана в кобальте.

Твердые сплавы вольфрамовых групп применяются для изготовления режущего инструмента, фильер для волочения, бурильного, а также для деталей, подвергаемых интенсивному износу.

Необходимые свойства обеспечиваются варьированием дисперсности компонентов твердых сплавов и их соотношением. Чем больше в сплаве карбидов тугоплавких элементов,

тем выше его твердость, плотность, но ниже прочность. Состав и свойства некоторых твердых вольфрамовых сплавов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Состав и свойства сплавов.

Марка сплава	Состав, %			Плотность, кг/м^3	Твердость, HRA	σ_U, МПа
	WC	TiC	C_0			
ВК2	98	-	2	15000	90	1000
ВК3М*	97	-	3	15000	61	1100
ВК6М*	94	-	6	14800	90	1300
ВК6	94	-	6	14000	88,5	1400
ВК6В*	94	-	6	14600	87,5	1500
ВК8	92	-	8	14300	86	1700
ВК15	85	-	15	13900	86	1800
ВК20	80	-	20	13700	84,5	1900
ВК25	75	-	25	13300	83	1950
ВК30	70	-	30	12500	82,5	2000
Т5К12В	83	5	12	12800	87	1500
Т5К10	85	5	10	12300	88,5	1300
Т15К6	79	15	6	11000	90	1100
Т30К4	66	30	4	9500	92	900
ТТ7К12	81	4%TiC +3%TaC	12	13000	87	1660

Примечание: М* - мелкозернистые сплавы (зерна карбида вольфрама ≈ 1,6 МКМ); В* - крупнозернистые сплавы (зерна ≈ 3,4 МКМ).

Сплавы первой группы (ВК) различаются по содержанию кобальта и зернистости карбидов вольфрама. С увеличением содержания кобальта растет вязкость, но снижается твердость и износостойкость сплава. Укрупнение зерен карбида вольфрама до 5 мкм повышает вязкость сплава, но снижает твердость, а мелкозернистая карбидная фаза обеспечивает высокую износостойкость. Так, сплав ВК6М можно применять для отработки резанием стальных и чугунных отливок с поверхностной коркой повышенной твердости или с отбелом. Сплав ВК6В пригоден для обработки чугуна и цветных сплавов. Наиболее вязкие сплавы, содержащие 20...30% кобальта, применяются для штампового инструмента, работающего при больших динамических нагрузках. Из сплавов первой группы изготавливают также различные волоки, плашки, буровые коронки для бурения минеральных пород, нефтяные буры для глубин более 2 км, долота и коронки для ударного бурения и др.

Сплавы второй группы (ВТК) отличаются более высокой твердостью, износостойкостью, малой вязкостью и применяют их в основном для обработки цветных сплавов, сталей и других материалов с повышенной вязкостью. С увеличением содержания карбида титана повышается износостойкость сплава и уменьшается его прочность. Сплавы типа ВТК обладают повышенными режущими свойствами благодаря наличию в структуре, кроме карбидов вольфрама, еще более твердого и износостойкого титановольфрамового карбида, представляющего собой твердый раствор карбидов вольфрама в карбиде титана. Фаза TiC-WC снижает коэффициент трения и склонность привариваемости стружки обрабатываемого материала к режущей кромке инструмента. Это позволяет применить сплавы ВТК для высокоскоростного резания стали, когда образуется непрерывная сливная стружка, затрудняющая отвод тепла от резца и снижающая стойкость инструмента.

Сплавы третьей группы типа ВТТК наряду с карбидами вольфрама содержат карбиды титана, тантала или ниобия, которые оказывают положительное влияние на прочность и режущие свойства сплавов. Они применяются при черновом точении стальных поковок и отливок с грубой твердой коркой на поверхности.

В связи с высокой стоимостью и дефицитностью вольфрамовых твердых сплавов находят применение безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) на основе карбидов титана, ванадия, молибдена, хрома, а также на основе боридов циркония и силицида молибдена. Они имеют меньшую прочность на изгиб, но отличаются повышенной теплостойкостью (до 1000°С) и низкой схватываемостью с обрабатываемым материалом. То есть эти сплавы работают практически без наростообразования, поэтому нашли применение при чистовом и получистовом точении и фрезеровании. Сплавы БВТС обеспечивают меньшую шероховатость поверхности по сравнению с вольфрамовыми, что дает возможность заменить шлифование точением, повышая производительность обработки более чем в 2 раза. Износостойкость БВТС раза в 1,5 выше износостойкости сплавов группы ВТК. Физико-механические свойства некоторых БВТС приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состав и свойства ВБТС.

Сплав	Состав	Плотность, р кг/м^3	Твердость HRA	σ_U, МПа
ТМ1	TiC+NвC	5800	91,5	800
ТМ3	TiC+NвC	5900	89,0	1200
ТН20	(Ni+M_0)-20% ост.TiC	6000	90,0	1050
ТН40	(Ni+M_0)-40% ост.TiC	6000	87,0	1150
КНТ16	(Ni+M_0)-16% ост.TiC+TiN	6000	89	1200
КНТ30	(Ni+M_0)-30% +ост.TiC+TiN	6400	88,5	1700
КТС1	(Ni+M_0)-25% ост.TiC	5500	88	1700
Р6М5-КТ20	TiC-20%+ ост.Р6М5	7100	87,5	2500
КТС-2М	50%TiC+50% жаропрочного сплава на Ni основе	5800	92	1200
КХН15-70	Cr_3C_2-85%+15%Ni	7000	92	1400

Минералокерамические твердые сплавы делятся на 2 вида: оксидную белую керамику, содержащую до 99,7% Al_2O_3 и черную оксидно-карбидную керамику с добавлением к Al_2O_3 карбидов титана (TiC) и молибдена (M_0C).

Оксидные материалы – это ЦМ332 (микролит), содержащие 99,5% Al_2O_3 (ρ=3900кг/м^3 HRA93), ТВ48 (термокорунд), содержащий 94% Al_2O_3.

На основе алюмооксидной керамики разработан новый материал ОНТ-20 (картинит), (ρ=4200кг/м^3 HRA93, σ_u=750МПа), имеющий мелкодисперсную структуру. Он предназначен для чистового, получистового точения и фрезерования сталей, закаленных до HRC 55.

Оксидно-карбидные минералокерамические материалы обладают повышенной износостойкостью (раз в 10 по сравнению со сплавами групп ВК и ВТК). Наиболее распространенные материалы этого вида это В3 (ρ=4700кг/м^3 HRA93, σ_u=637МПа), ВОК60 (ρ=4300кг/м^3, HRA93, σ_u=637МПа). Их применяют для чистовой и получистовой обработки сталей, закаленных до HRC50, со скоростями резания около 200м/мин.

Контрольные вопросы

1. Назовите классификацию вольфрамовых твердых сплавов.
2. Приведите примеры твердых сплавов всех 3-х вольфрамовых групп.
3. Поясните значение букв, стоящих в конце марок вольфрамовых сплавов.
4. Дайте примеры безвольфрамовых твердых сплавов на основе карбидов титана, хрома и области их применения.
5. Назовите марки минералокерамических твердых сплавов.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Таблица 1. Соответствие между числами твердости, определяемыми различными методами (ГОСТ 9012-59).

Твердость по Бринеллю Р=30000 (Н), Д=10 мм		Твердость по Роквеллу HR		
Диаметр отпечатка d, мм	НВ, МПа	шкалы		
		С	А	В
1	2	3	4	5
2,20	7800	72	87,5	-
2,25	7450	70	86,5	-
2,30	7120	68	85,5	-
2,35	6820	66	84,5	-
2,40	6530	64	83,5	-
2,45	6270	62	82,5	-
2,50	6070	60	81,0	-
2,55	5780	58	80,0	-
2,60	5550	56	79,0	-
2,65	5340	54	78,0	-
2,70	5140	52	77,0	-
2,75	4950	50	76,0	-
2,80	4770	49	75,5	-
2,85	4610	48	74,5	-
2,90	4440	46	73,5	
2,95	4290	45	73,0	
3,00	4150	44	72,5	
3,02	4090	43	72,0	
3,05	4010	42	71,5	
3,10	3880	41	71,0	
3,15	3750	40	70,5	
3,20	3630	39	70,0	
3,25	3520	38	69,5	
3,30	3410	37	69,0	
3,35	3310	36	68,5	
3,40	3210	35	68,0	
3,45	3110	34	67,5	
3,50	3020	33	67,0	
3,55	2930	31	66,0	
3,60	2860	30	65,5	
3,65	2770	29	65,0	
3,70	2690	28	64,5	

1	2	3	4	5
3,75	2620	27	64,0	
3,80	2550	26	63,5	
3,85	2480	25	63,0	
3,90	2410	24	62,5	100
3,95	2350	23	62,0	99
4,00	2280	22	61,5	97
4,10	2170	20	60,5	97
4,15	2120	19	60,0	96
4,20	2070	18	59,5	95
4,25	2020	16	-	94
4,30	1960	15	-	93
4,35	1920	-	-	92
4,40	1870	-	-	91
4,45	1830	-	-	89
4,50	1790	-	-	88
4,55	1740	-	-	87
4,60	1700	-	-	86
4,65	1660	-	-	85
4,70	1630	-	-	84
4,75	1590	-	-	83
4,80	1560	-	-	82
4,85	1530	-	-	81
4,90	1490	-	-	80
4,95	1460	-	-	78
5,00	1430	-	-	76
5,05	1400	-	-	76
5,10	1370		-	75
5,15	1340	-	-	74
5,20	1310	-	-	72
5,25	1280	-	-	71
5,30	1260	-	-	69
5,35	1240	-	-	69
5,40	1210	-	-	67
5,45	1180	-	-	66
5,50	1160	-	-	65
5,55	1140	-	-	64
5,60	1120	-	-	62
5,65	1090	-	-	61
5,70	1070	-	-	59
5,75	1050	-	-	58
5,80	1030	-	-	57
5,85	1010	-	-	56
5,90	990	-	-	54

1	2	3	4	5
5,95	970	-	-	53
6,00	960	-	-	52
6,10	920	-	-	49,5
6,20	880	-	-	47
6,36	840	-	-	43,5
6,48	800	-	-	40,5
6,56	780	-	-	38,5

Таблица 2. Перевод чисел твердости $HRC_э$ шкалы С, воспроизводимой государственным специальным эталоном, в числа HRC (ГОСТ 8.064-79)

$HRC_э$	**HRC**	**$HRC_э$**	**HRC**	**$HRC_э$**	**HRC**	**$HRC_э$**	**HRC**
20	17,8	32	30,2	44	42,5	56	54,9
20,5	18,3	32,5	30,7	44,5	43	56,5	55,4
21	18,8	33	31,2	45	43,5	57	55,9
21,5	19,3	33,5	31,7	45,5	44,1	57,5	56,4
22	19,9	34	32,2	46	44,6	58	56,9
22,5	20,4	34,5	32,7	46,5	45,1	58,5	57,4
23	20,9	35	33,2	47	45,6	59	58
23,5	21,4	35,5	33,8	47,5	46,1	59,5	58,5
24	21,9	36	34,3	48	46,6	60	59
24,5	22,4	36,5	34,8	48,5	47,1	60,5	59,5
25	23	37	35,3	49	47,7	61	60
25,5	23,5	37,5	35,8	49,5	48,2	61,5	60,5
26	24	38	36,3	50	48,7	62	61
26,5	24,5	38,5	36,8	50,5	49,2	62,5	61,6
27	25	39	37,4	51	49,7	63	62,1
27,5	25,5	39,5	37,9	51,5	50,2	63,5	62,6
28	26	40	38,4	52	50,7	64	63,1
28,5	26,6	40,5	38,9	52,5	51,3	64,5	63,6
29	27,1	41	39,4	53	51,8	65	64,1
29.5	27,6	41,5	39,9	53,5	52,3	65,5	64,6
30	28,1	42	40,5	54	52,8	66	65,2
30,5	28,6	42,5	41	54,5	53,3	66,5	65,7
31	29,1	43	41,5	55	53,8	67	66,2
31,5	29,6	43,5	42	55,5	54,3	67,5	66,7

Примечание: 1. Промежуточные значения твердости находятся методом линейной интерполяции; 2. Числа твердости в колонках HRC допускается округлять до значений кратных 0,5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.М.Лахтин. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: “Металлургия”, 1984.
2. И.И.Жуковец. Механические испытания металлов. М.: Высшая школа, 1986/
3. П.И.Логинов, Р.Л.Рыжкович. Механические свойства металлов. Лабораторная работа по курсу “Технология конструкционных материалов”, Мн., БПИ, 1979.
4. Л.Т.Тимошук. Механические испытания металлов. М.:”Металлургия”, 1971.
5. В.И.Кирносов. Измерение механических характеристик материалов. М., Издательство стандартов, 1976.
6. Ю.А.Геллер, А.Г.Рахштадт. Материаловедение. М.:”Металлургия”, 1984.

Составители: Виктор Васильевич Машинский
Михаил Владимирович Голуб

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по дисциплине “Материаловедение” для студентов специальности Т.03.01 “Технология, оборудование и автоматизация машиностроения”
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания утверждены Советом института в качестве официального материала.

Ответственный за выпуск В.В.Машинский
Главный редактор Т.В.Строкач

Подписано к печати Бумага писч.№1. Офсетная печать. Формат 60*84/16. Уч.изд. л.2,0. Усл.печ.л. Заказ Тир. Бесплатно. Отпечатано на ротапринте БГТУ. 224017. Брест, ул.Московская, 267.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

″БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ″

Кафедра машиноведения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

для студентов заочной формы обучения
специальностей 36 01 01 -"Технология машиностроения"
и 37 01 06-"Техническая эксплуатация автомобилей"

Брест-2005

УДК 620.22 (075.8)

Методические указания и контрольные задания по предмету "материаловедение" для студентов заочной формы обучения, содержат руководство по изучению данного курса, контрольную работу, перечень лабораторных работ и другую информацию, необходимую при самостоятельной проработке материала.

Методические указания одобрены на заседании кафедры машиноведения и рекомендованы к изданию.

Составили: Мартиновская О.В. ст. преподаватель,
Мирошниченко И.А. ст. преподаватель

Рецензент: Е.Н.Тромза – директор Брестского радиотехнического завода.

Учреждение образования
©"Брестский государственный университет" 2005

Цели и задачи дисциплины «материаловедение»

Материаловедение - наука, изучающая металлические и неметаллические материалы, применяемые в технике, объективные закономерности зависимости их свойств от химического состава, структуры, способов обработки и условий эксплуатации.

Учебная дисциплина "Материаловедение" – одна из основных в общем цикле технических дисциплин при подготовке инженера-конструктора, механика и технолога.

Цель изучения - познание природы и свойств материалов, а также методов их упрочнения для наиболее эффективного использования в технике.

Основные задачи дисциплины. Раскрыть физическую сущность явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации и показать их влияние на свойства материалов. Установить зависимость между составом, строением и свойствами материалов. Изучить теорию и практику различных способов упрочнения материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин, инструмента и других изделий. Изучить основные группы современных металлических и неметаллических материалов, их свойства и области применения.

В результате изучения дисциплины студент должен знать физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации; их взаимосвязь со свойствами современных металлических и неметаллических материалов; уметь оценить поведение материала и причины отказов деталей машин при воздействии на них различных эксплуатационных факторов; в результате анализа условий эксплуатации и различных напряжений правильно выбирать материал, назначить его обработку в целях получения заданной структуры и свойств, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин; иметь представление о перспективах развития материаловедения как науки.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Программа курса

1 МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

1.1 Строение материалов. Металлические материалы. Металлический тип связи, металлическое состояние. Атомно-кристаллическое строение металлов (типы кристаллических решеток, индексы плоскостей и направлений, анизотропия).

Строение реальных кристаллов. Дефекты кристаллического строения – точечные, линейные (дислокации) и поверхностные (границы зерен и субзерен). Влияние дефектов на физико-механические свойства.

1.2 Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации.

Структура металлических материалов. Понятия фазы, макро- и микро-структуры. Методы исследования структуры и возможности современной техники. Фрактография.

Термодинамичеокие основы, механизм и кинетика кристаллизации металлов. Модифицирование жидкого металла. Строение металлического слитка. Полиморфные превращения в металлах. Самопроизвольное (спонтанное) и гетерогенное образование и рост зародышей.

Диаграммы фазового равновесия. Тип фаз, образующихся в металлических сплавах (твердые растворы, химические соединения, промежуточные фазы, гетерогенные структуры). Формирование структуры сплавов при кристаллизации.

Диаграммы состояния двойных сплавов. Методы построения диаграмм состояния экспериментальным путем. Диаграммы состояния системы с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Эвтектическая кристаллизация. Превращения в твердом состоянии. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Возможность применения термической обработки к сплавам с ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Эвтектоидное превращение в сплавах. Связь между структурой и свойствами.

1.3 Пластическая деформация.

Напряжение и деформации. Упругая деформация. Пластическая деформация моно- и поликристаллов. Механизмы пластической деформации. Влияние пластической деформации на структуру металлов. Текстура деформации. Влияние пластической деформации на свойства металла (явление наклепа).

1.4 Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла.

Возврат и полигонизация. Первичная рекристаллизация. Собирательная и вторичная рекристаллизация. Факторы, влияющие на размер зерна после рекристаллизации. Холодная и горячая деформация. Влияние нагрева на свойства деформированного металла.

1.5 Механические свойства и конструктивная прочность металлов и сплавов.

Стандартные механические свойства: твердость, свойства, определяемые при статическом растяжении; ударная вязкость; сопротивление усталости. Явление хладноломкости. Теоретическая и реальная прочность металлов. Свойства, обусловливающие сопротивление металла хрупкому внезапному разрушению (работа зарождения и распространения трещин, вязкость разрушения, живучесть). Свойства металлов, определяющие долговечность изделий (износостойкость, сопротивление усталости, контактная выносливость). Влияние остаточных напряжений на свойства металлов и сплавов. Пути повышения прочности металлов. Сверхпластичность металлов и сплавов.

1.6 Железо и его сплавы

Метастабильная диаграмма состояния железа-цементит. Компоненты, фазы и структурные составляющие сталей и белых чугунов, их характеристики, условия образования и свойства. Стабильная диаграмма состояния железо–глерод.

Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали. Дефекты стали. Классификация и маркировка углеродистых сталей. Государственные стандарты (ГОСТы) на металлы и сплавы.

Фазы, образуемые легирующими элементами в сплавах железа (твердые растворы, карбиды, интерметаллиды). Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа. Влияние легирующих элементов на свойства феррита и аустенита. Структурные классы легированных сталей в условиях равновесия и охлаждения на воздухе.

Свойства и назначение чугунов. Диаграмма состояния железо-углерод-кремний. Белый и отбеленный чугуны. Влияние углерода, кремния и скорости охлаждения на структуру серого чугуна. Влияние постоянных примесей на свойства чугунов. Маркировка чугунов. Серый чугун. Модифицированный серый чугун. Ковкий чугун. Высокопрочный чугун. Легированный чугун.

1.7 Теория термической обработки стали.

Превращение при нагреве феррито-карбидной структуры в аустенит. Рост зерна аустенита. Влияние размера зерна на механические и технологические свойства стали. Влияние легирующих элементов на рост зерна аустенита. Методы определения размера зерна аустенита.

Превращения переохлажденного аустенита. Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита. Перлитное превращение. Продукты перлитного распада аустенита и их свойства.

Мартенсит, его строение и свойства. Пластинчатый и реечный (массивный) мартенсит. Мартенситное превращение и его особенности. Влияние лигирующих элементов на мартенситное превращение.

Промежуточное превращение. Строение и свойства продуктов промежуточного превращения аустенита. Влияние лигирующих элементов на изотермический распад переохлажденного аустенита. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении. Критическая скорость охлаждения и факторы, влияющие на нее.

Термокинетические диаграммы превращения переохлажденного аустенита. Превращения при нагреве закаленной стали (отпуск стали). Влияние температуры и продолжительности нагрева на строение и свойства закаленной стали. Влияние легирующих элементов на превращение при отпуске. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость. Старение стали.

1.8 Технология термической обработки стали.

Отжиг первого рода. Отжиг второго рода (с фазовой перекристаллизацией). Назначение отжига. Полный и неполный отжиг. Изотермический отжиг. Сфероидизация.

Нормализация стали. Выбор температуры закалки. Контролируемые атмосферы. Закалочные среды и требования, предъявляемые к ним. Закалочные напряжения. Методы закалки. Закаливаемость стали и факторы, влияющие на нее. Прокаливаемость стали. Методы определения прокаливаемости. Обработка стали холодом.

Отпуск стали. Виды и назначение отпуска.

Влияние закалки и отпуска на механические свойства стали. Термомеханическая обработка стали.

Поверхностная закалка, ее виды и области применения. Закалка при индукционном нагреве. Поверхностная закалка при глубинном индукционном нагреве. Закалка при газопламенном нагреве. Поверхностная закалка при нагреве лазером.

1.9 Химико-термическая обработка стали.

Физические основы химико-термической обработки.

Назначение и виды цементации. Механизм образования и строение цементного слоя. Цементация в твердом карбюризаторе. Газовая цементация. Термическая обработка после цементации и свойства цементованных деталей. Области применения цементации. Нитроцементация стали.

Ционирование стали. Механизм образования и строение азотированного слоя. Стали для азотирования. Технология газового азотирования. Технология газового азотирования стали. Газовое азотирование с добавкой углеродосодержащих газов. Свойства азотированного слоя. Области применения азотирования.

Цианирование стали. Сульфоцианирование стали.Силицирование. Борирование. Диффузионная металлизация (алитирование, хромирование).

1.10 Поверхностное деформированное упрочнение. Методы поверхностного упрочнения (дробеструйная обработка, обработка роликами и др.). Влияние поверхностного наклепа на предел выносливости. Применение поверхностного наклепа в машиностроении.

1.11 Металлические материалы.

1.11.1 Конструкционные стали общего назначения. Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Маркировка легированных конструкционных сталей. Основы рационального легирования сталей и роль отдельных легирующих элементов. Стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием. Низколегированные стали. Цементуемые стали, их термическая обработка. Улучшаемые стали. Мартенситостареюшие стали. Шарикоподшипниковые стали и их термическая обработка.

Инструментальные стали и сплавы. Классификация и маркировка инструментальных сталей. Стали для режущего инструмента. Стали для измерительного инструмента. Стали для инструмента холодного деформирования. Стали для штампов горячего деформирования.

1.11.2 Цветные металлы и их сплавы.

Титан, его свойства и сплавы. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титана. Конструкционные сплавы титана, их свойства и области применения. Термическая обработка титана и его сплавов.

Алюминий и его сплавы. Применение алюминия. Деформируемые алюминиевые сплавы. Дюралюмин. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Деформируемые сплавы алюминия, неупрочняемые термической обработкой. Литейные алюминиевые сплавы.

Магний и его сплавы. Литейные сплавы магния. Деформируемые сплавы магния. Термическая обработка магниевых сплавов.

Медь, ее свойства и сплавы. Применение меди. Латуни, их свойства, маркировка и применение. Бронзы. Деформируемые и литейные бронзы. Бронзы оловянистые, алюминиевые, кремнистые, марганцовистые, свинцовистые и бериллиевые. Состав и свойства бронз, их марки и области применения.

1.11.3. Поведение материалов в особых условиях.

Жаростойкие материалы. Жаростойкость и методы ее повышения. Явление ползучести. Термическая усталость. Влияние температуры испытания.

Коррозионно-стойкие материалы. Виды коррозии.

Износостойкие материалы. Виды изнашивания. Закономерности изнашивания детали, образующих пары трения, пути уменьшения их износа. Материалы с высокой твердостью поверхности. Антифрикционные материалы. Фрикционные материалы.

Материалы с высокими упругими свойствами. Рессорно-пружинные стали.

2 КОМПОЗИЦИОННЫЕ И ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1 Виды композиционных материалов, классификация, свойства, преимущества и недостатки.

Волокнистые композиционные материалы. Армирующие материалы. Композиционные материалы с неметаллической матрицей.

2.2 Порошковые материалы, их свойства, преимущества и недостатки, способы получения. Конструкционные, инструментальные и специальные порошковые материалы. Области применения в машиностроении.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольная работа включает 5 заданий. При выполнении контрольной работы необходимо изучить методику выбора и назначения сталей для изготовления конкретных деталей машин и различного вида инструментов, а также ознакомиться с особенностями строения, технологией получения и областью применения наиболее распространенных металлических материалов. Студент должен научиться пользоваться рекомендуемым материалом, с тем, чтобы уметь в дальнейшем правильно выбрать материал при курсовом и дипломном проектировании.

Задание на контрольную работу выдаётся преподавателем каждому студенту индивидуально. Задание включает вопросы и задачи по основным разделам курса.

Диаграммы состояния различных систем, а также диаграмма изотермического аустенита эвтектоидной стали У8, необходимые для выполнения контрольной работы, приведены в приложении.

З А Д А Н И Я Н А К О Н Т Р О Л Ь Н У Ю Р А Б О Т У

Вариант 1

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-олово. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,6% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. В чем отличие процесса цементации в твердом карбюризаторе от процесса газовой цементации? Как можно исправить крупнозернистую структуру перегрева цементированных изделий?

4. Для изготовления прошивочных пуансонов выбрана сталь Р18. Укажите состав стали и определите, к какой группе по назначению относится данная сталь. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей самолета выбран сплав АМгЗ. Укажите состав сплава, опишите, каким способом производится упрочнение этого сплава, и объясните природу упрочнения. Укажите характеристики механических свойств сплава.

Вариант 2

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,6% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1350°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Сталь 40 подвергалась закалке от температур 760 и 840°С, опишите превращения, происходящие при данных режимах закалки. Укажите, какие образуются структуры и объясните причины получения разных структур. Какой режим закалки следует рекомендовать?

4. В результате термической обработки червяки должны получить твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для их изготовления выбрана сталь 20ХГР. Укажите состав стали и определите к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для деталей арматуры выбрана бронза БрОФЮ-1. Укажите состав и опишите структуру сплава. Объясните назначение легирующих элементов и приведите механические свойства сплава.

Вариант 3

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-кремний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,7% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру

между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Требуется произвести поверхностное упрочнение изделий из стали 20. Назначьте вид обработки, опишите технологию, происходящие в стали превращения, структуру и свойства.

4. В результате термической и химико-термической обработки шестерни должны получить твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для изготовления их выбрана сталь 18ХГТ. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической, химико-термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства поверхности и сердцевины шестерни после термической обработки.

5. Для деталей арматуры выбрана бронза БрОЦС4-4-2,5. Расшифруйте состав и опишите структуру сплава. Объясните назначение легирующих элементов. Приведите характеристики механических свойств сплава.

Вариант 4

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-серебро. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,7% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1400°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Углеродистые стали У8 и 35 имеют после закалки и отпуска структуру мартенсит отпуска и твердость: первая - HRC60, вторая - HRC50. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа и учитывая превращения, происходящие при отпуске, укажите температуру отпуска для каждой стали. Опишите все превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска, объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 35.

4. Для изготовления фрез выбрана сталь 9ХС. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей самолета выбран сплав Д1. Расшифруйте состав, опишите способ упрочнения сплава и объясните природу упрочнения. Укажите характеристики механических свойств сплава.

Вариант 5

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-кремний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные

составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте для углеродистой стали 45 температуру закалки и температуру отпуска, необходимые для обеспечения твердости НВ250. Опишите превращения, которые совершились в стали в процессе закалки и отпуска, полученную после термообработки структуру.

4. Для изготовления фрез выбрана сталь Р6М5. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей в авиастроении применяется сплав МЛ5. Расшифруйте состав сплава, укажите способ изготовления деталей из данного сплава и опишите характеристики механических свойств этого сплава.

Вариант 6

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-кальций. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1300°С определите процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. После закалки углеродистой стали У7 со скоростью охлаждения выше критической, была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита. Проведите на диаграмме состояния железо-карбид железа ординату соответствующую составу заданной стали, укажите принятую в данном случае температуру нагрева под закалку и опишите превращения, которые совершились в стали при нагреве и охлаждении. Как называется такой вид закалки?

4. Кулачки должны иметь минимальную деформацию и высокую износоустойчивость (твердость поверхностного слоя HV750-1000). Для их изготовления выбрана сталь 35ХМЮА. Расшифруйте состав стали, определите к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической и химико-термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления ряда деталей в авиастроении применяется сплав МА2. Расшифруйте состав, приведите характеристики механических свойств и укажите способ изготовления деталей из этого сплава.

Вариант 7

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-магний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с применением правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. В чем заключается отрицательное влияние цементитной сетки на свойства инструментальной стали У10 и У12? Какой термической обработкой можно ее уничтожить? Обоснуйте выбранный режим термической обработки.

4. Для изготовления разверток выбрана сталь 9ХС. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей путем глубокой вытяжки применяют латунь Л68. Укажите состав и опишите структуру сплава. Назначьте режим термической обработки, применяемый между отдельными операциями вытяжки, и обоснуйте его выбор. Приведите общие характеристики механических свойств сплава.

Вариант 8

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-серебро, опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1250°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали и нанесите на нее кривую режима изотермического отжига. Опишите превращения и получаемую после такой обработки структуру.

4. В результате термической обработки пружины должны получить высокую упругость. Для изготовления их выбрана сталь 60С2ХФА. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для отливок сложной формы используют бронзу БрОФ7-0,2. Расшифруйте состав, опишите структуру, укажите термическую обработку, применяемую для снятия внутренних напряжений, возникающих в результате литья и опишите механические свойства этой бронзы.

Вариант 9

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. В структуре углеродистой стали 30 после закалки не обнаруживается остаточного аустенита. В структуре углеродистой стали У12 после закалки наблюдается до 30% остаточного аустенита. Объясните причину этого явления в связи с мартенситными кривыми для данных сталей. Какой обработкой можно устранить остаточный аустенит?

4. Для изготовления молотовых штампов выбрана сталь 5ХНВ. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и главные свойства стали после термической обработки.

5. В качестве материала для вкладышей ответственных подшипников скольжения выбран сплав Б83. Укажите состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению. Зарисуйте и опишите микроструктуру сплава. Приведите остальные требования предъявляемые к баббитам.

Вариант 10

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-кальций. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 900°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. С помощью диаграммы железо-карбид железа определите температуры нормализации, отжига и закалки для стали У10. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и кратко опишите микроструктуру и свойства стали после каждого вида обработки.

4. Копиры должны иметь минимальную деформацию и высокую износоустойчивость (твердость поверхностного слоя HV750-1000). Для их

изготовления выбрана сталь 38ХМФА. Укажите состав и определите, к какой группе по назначению относится данная сталь. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической и химико-термической обработки.

5. Кратко изложите основы теории термической обработки алюминиевых сплавов в применении к промышленному сплаву дуралюмин. Укажите состав упрочняющих фаз, образующихся при старении дуралюмина.

Вариант 11

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-серебро. Опишите взаимодействие компонентов в твердом и жидком состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости НВ150. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

4. В результате термической обработки пружины должны получать высокую упругость. Для их изготовления выбрана сталь 60С2ХФА. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей двигателей внутреннего сгорания выбран сплав АК4. Расшифруйте состав, укажите способ изготовления деталей из данного сплава и приведите характеристики механических свойств сплава при повышенных температурах.

Вариант 12

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-медь. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях**,** структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1500°С определите процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. Причины возникновения внутренних напряжений при закалке. Каким способом можно предохранить изделие от образования закалочных трещин?

4. Для изготовления прошивочных пуансонов выбрана сталь Р18. Укажите состав стали, определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. В качестве материала для заливки вкладышей подшипников скольжения выбран сплав Б89. Укажите состав и определите группу, к которой относится этот сплав по назначению. Зарисуйте микроструктуру и укажите основные требования, предъявляемые к сплавам данной группы.

Вариант 13

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-магний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1500°С определите процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. В чем отличие обычной закалки от ступенчатой и изотермической? Каковы преимущества и недостатки каждого из этих видов закалки?

4. В результате термической обработки тяги должны получить повышенную прочность по всему сечению (твердость НВ250-280). Для их изготовления выбрана сталь 30ХМ. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей в авиастроении применяется сплав МЛ5. Расшифруйте состав, укажите способ изготовления деталей из этого сплава и опишите характеристики механических свойств.

Вариант 14

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-никель. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Покажите графически режим отжига для получения перлитного ковкого чугуна. Опишите структурные превращения, происходящие в процессе отжига, и механические свойства чугуна после термической обработки.

4. Для изготовления шаберов выбрана сталь Х05. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления ряда деталей самолета выбран сплав Д16. Укажите состав и характеристики механических свойств сплава после термической обработки. Опишите способ упрочнения этого сплава и объясните природу упрочнения.

Вариант 15

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит-мартенсит. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита кривую охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. Укажите интервал температур превращений и опишите характер превращения в каждом из них.

4. Для изготовления штампов, обрабатывающих металл в горячем состоянии, выбрана сталь 5ХНТ. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей двигателя внутреннего сгорания выбран сплав АК2. Укажите состав, способ изготовления деталей из этого сплава и опишите характеристики механических свойств.

Вариант 16

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-олово. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава выберите любую температуру

между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости НВ450. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

4. Для изготовления машинных метчиков выбрана сталь Р10К5Ф5. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей самолета выбран сплав Д16. Укажите состав сплава, опишите способ его упрочнения, объяснив природу упрочнения и укажите характеристики механических свойств сплава.

Вариант 17

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-мышьяк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,4% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте для углеродистой стали 40 температуру закалки и температуру отпуска, необходимые для обеспечения твердости НВ400. Опишите превращения, которые совершились в стали в процессе закалки и отпуска, полученную после термической обработки структуру.

4. В результате термической обработки шестерни должны получить твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для их изготовления выбрана сталь 12ХН3А. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической и химико-термической обработки, приведите его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей самолета выбран сплав В95Т1. Укажите состав и характеристики механических свойств сплава после термической обработки. Опишите, каким способом производится упрочнение этого сплава, объясните природу упрочнения.

Вариант 18

1. Вычертите диаграмму состояния системы олово-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости HRC35. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

4. В результате термической обработки пружины должны получить высокую упругость. Для их изготовления выбрана сталь 70С3А. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей самолета выбран сплав АМг. Расшифруйте состав, опишите способ упрочнения этого сплава, объяснив природу упрочнения. Приведите характеристики механических свойств сплава.

Вариант 19

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-кальций. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 750°С определите процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте режим термической обработки для углеродистой стали 45, необходимый для обеспечения твердости НВ300. Опишите превращения, которые совершились в стали в процессе закалки и отпуска и полученную после термообработки структуру.

4. Для изготовления пресс-форм выбрана сталь 3Х2В8. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения,

происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Назначьте марку латуни, коррозионно-устойчивой в морской воде. Расшифруйте ее состав и опишите структуру, используя диаграмму состояния медь-цинк. Укажите способ упрочнения латуни и основные свойства.

Вариант 20

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-кремний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,4% С на основании диаграммы состояния железо-карбид железа, постройте кривую нагревания в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Два изделия из чугуна имеют примерно одинаковые механические свойства ($\sigma_в \approx$400 МПа и δ = 3-4%), но разную форму графита: хлопьевидную - в одном изделии, шаровидную - в другом. Укажите названия, способы получения и процессы, которые привели к получению различной формы графита в этих чугунах.

4. В результате термической обработки полуоси должны получить повышенную прочность по всему сечению (твердость НВ230-280). Для изготовления их выбрана сталь 40ХНР. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки данной стали, приведите его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Металлокерамические жаропрочные сплавы. Состав, свойства и область применения их в машиностроении.

Вариант 21

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-серебро. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. После закалки углеродистой стали У7 со скоростью охлаждения выше критической, была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита. Проведите на диаграмме состояния железо-карбид железа ординату,

соответствующую составу заданной стали, укажите принятую в данном случае температуру нагрева под закалку и опишите превращения, которые совершились в стали при нагреве и охлаждении. Как называется такой вид закалки?

4. Для изготовления деталей штампов, обрабатывающих металл в горячем состоянии, выбрана сталь 5ХНМА. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после ее обработки.

5. Для обшивки летательных аппаратов использован сплав ВТ6. Приведите химический состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке. Какими преимуществами обладает сплав ВТ6 по сравнению с ВТ5?

Вариант 22

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-свинец. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1250°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Почему для изготовления инструмента применяется сталь с исходной структурой зернистого перлита? В результате какой термической обработки можно получить эту структуру?

4. Для изготовления деталей штампов, обрабатывающих металл в холодном состоянии, выбрана сталь ХГ3СВ. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки стали, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для поршней двигателя внутреннего сгорания, работающих при температурах 200-250°С, используется сплав АЛ1. Расшифруйте состав и укажите способ изготовления деталей из данного сплава. Опишите режим упрочняющей термической обработки и кратко объясните природу упрочнения.

Вариант 23

1. Вычертите диаграмму состояния системы сурьма-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния, объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 3,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру

между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. С помощью диаграммы состояния железо-карбид железа определите температуру полного, неполного отжига и нормализации для стали 40. Кратко опишите микроструктуру и свойства стали после каждого вида термической обработки.

4. Для изготовления матриц холодной штамповки выбрана сталь Х12Ф1. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей самолета выбран сплав Д18П. Расшифруйте состав сплава и укажите характеристики механических свойств. Опишите, каким способом производится упрочнение этого сплава, объясните природу упрочнения.

Вариант 24

1. Вычертите диаграмму состояния системы висмут-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов, в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с применением правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 4,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 850°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. После термической обработки углеродистой стали У13 получена структура цементит-мартенсит отпуска. Нанесите на диаграмму состояния железо-карбид железа ординату заданной стали (примерно) и укажите температуру нагрева этой стали под закалку. Назначьте температуру отпуска, обеспечивающую получение заданной структуры, опишите все превращения, которые совершились в стали в процессе закалки и отпуска.

4. В результате термической обработки рычаги должны получить повышенную прочность по всему сечению (твердость HRC28-35). Для изготовления их выбрана сталь 35ХМА. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей самолета выбран сплав АМг. Укажите состав и приведите механические свойства сплава. Опишите, каким способом производится упрочнение этого сплава и объясните природу упрочнения.

Вариант 25

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-магний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 5,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Опишите, в чем заключается низкотемпературная термомеханическая обработка конструкционной стали. Объясните с позиций теории дислокаций, почему этот процесс приводит к получению высокой прочности стали. Какими преимуществами и недостатками обладает низкотемпературная термомеханическая обработка по сравнению с высокотемпературной термомеханической обработкой?

4. Для изготовления машинных метчиков и плашек выбрана сталь Р9Ф5. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирующих элементов на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей применяется латунь Л070-1. Укажите состав и опишите структуру сплава. Назначьте режим термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки. Обоснуйте выбранный режим и приведите общую характеристику механических свойств сплава.

Вариант 26

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-германий, опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 5,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. С помощью диаграммы состояния железо-карбид железа определите температуру полной и неполной закалки для стали 45 и дайте краткое описание микроструктуры и свойств стали после каждого вида термической обработки.

4. Для изготовления деталей штампов выбрана сталь 6ХС. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления токопроводящих упругих элементов выбрана бронза БрБНТ-1,7. Приведите химический состав сплава, режим термической обработки и получаемые механические свойства материала. Опишите процессы, происходящие при термической обработке и объясните природу упрочнения в связи с диаграммой состояния медь-бериллий.

Вариант 27

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-никель. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 5,4% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Углеродистые стали 35 и У8 после закалки и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска и твердость: первая HRC50, вторая - HRC60. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа и учитывая превращения, происходящие в этих сталях при отпуске, укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска, и объясните, почему сталь марки У8 имеет большую твердость, чем сталь 35.

4. Для изготовления обрезных штампов выбрана сталь Х12М. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на все превращения, происходящие при термической обработке стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей путем глубокой вытяжки применяется латунь Л70. Укажите состав и опишите структуру сплава. Назначьте режим промежуточной термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки, обоснуйте выбранный режим и приведите общую характеристику механических свойств сплава.

Вариант 28

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-серебро. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 5,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1300°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Как изменяются структура и свойства стали 45 и У10 в результате закалки от температуры 750 и 850°С. Объясните с применением диаграммы состояния железо-карбид железа.

4. В результате термической обработки пружины должны получить высокую упругость. Для изготовления их выбрана сталь 63С2А. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. В качестве материала для ответственных подшипников скольжения выбран сплав БрС30. Укажите состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению. Опишите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

Вариант 29

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-кремний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 5,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1250°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. В чем заключается обработка стали холодом и в каких случаях она применяется?

4. Для изготовления резцов выбрана сталь Р18К5Ф2. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей путем глубокой вытяжки применяется латунь Л80. Укажите состав и опишите структуру сплава. Назначьте режим промежуточной термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки и обоснуйте его.

Вариант 30

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-кальций. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния, объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 3,4% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1200°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Каковы причины возникновения внутренних напряжений при закалке. Каким способом можно предохранить изделие от образования закалочных трещин.

4. В результате термической и химико-термической обработки червяки должны получить твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для их изготовления выбрана сталь 12Х2Н4ВА. Укажите состав стали и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической и химико-термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах

обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства червяков в готовом виде.

5. Назначьте марку алюминиевой бронзы для изготовления мелких ответственных деталей (втулок, фланцев и т.п.). Укажите ее состав, опишите структуру, используя диаграмму состояния медь-алюминий, и основные свойства бронзы.

Вариант 31

1. Вычертите диаграмму состояния системы кадмий-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,6% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус и определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима термической обработки, обеспечивающей получение твердости HRC60-63. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений, какая структура при этом получается.

4. В результате термической обработки втулки должны получить повышенную прочность по всему сечению (твердость НВ250-280). Для изготовления их выбрана сталь 40ХГР. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления токопроводящих упругих элементов выбран сплав БрБНТ-1,9. Приведите химический состав, режим термической обработки и получаемые механические свойства материала. Опишите процессы, происходящие при термической обработке, объясните природу упрочнения в связи с диаграммой состояния медь-бериллий.

Вариант 32

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств данной системы с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,6% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1450°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. С помощью диаграммы состояния железо-карбид железа определите температуру полного и неполного отжига и нормализации для стали 20. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и приведите краткое описание микроструктуры и свойств стали после каждого вида обработки.

4. Для изготовления молотовых штампов выбрана сталь 5ХНСВ. Укажите состав и группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали. Укажите структуру, свойства и требования, предъявляемые к штампам горячей штамповки.

5. Для обшивки летательных аппаратов использован сплав ВТ6. Приведите состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке, и преимущества сплава ВТ6 по сравнению с ВТ5.

Вариант 33

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-германий. Опишите взаимодействие компонентов в твердом и жидком состояниях, характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,7% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Сталь 45 подвергалась отжигу при температурах 830 и 1000°С. Опишите превращения, происходящие при данных режимах отжига, укажите, какие образуются структуры, и объясните причины получения различных структур и свойств. Рекомендуйте оптимальную температуру отжига.

4. Для изготовления плит высокого класса точности выбрана сталь 12Х1. Определите состав и группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей двигателей внутреннего сгорания выбран сплав АК8. Расшифруйте состав, укажите способ изготовления деталей из данного сплава и приведите характеристики механических свойств сплава при повышенных температурах.

Вариант 34

1. Вычертите диаграмму состояния системы сурьма-германий. Опишите взаимодействие компонентов в твердом и жидком состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с применением правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,7% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие,

опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1450°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Режущий инструмент из стали У10 был перегрет при закалке. Чем вреден перегрев, и как можно исправить этот дефект?

4. Кулачки должны иметь минимальную деформацию и высокую твердость и износоустойчивость поверхностного слоя (HV750-1000). Для изготовления их выбрана сталь 30ХМА. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической и химико-термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения в стали при ее термической обработке. Опишите структуру и свойства поверхностного слоя и сердцевины кулачка.

5. Укажите марки, состав и свойства металлокерамических твердых сплавов для изготовления режущего инструмента.

Вариант 35

1. Вычертите диаграмму состояния системы висмут-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, и определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Используя диаграмму изотермического превращения аустенита, объясните, почему нельзя получить в стали чисто мартенситную структуру при охлаждении ее со скоростью, меньшей критической скорости закалки.

4. Для изготовления матриц штампов холодной штамповки выбрана сталь Х12Ф. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Назначьте марку алюминиевой бронзы для изготовления мелких ответственных деталей (втулки, фланцы и т. п.). Расшифруйте состав, укажите ее механические свойства и опишите структуру, используя диаграмму состояния медь-алюминий.

Вариант 36

1. Вычертите диаграмму состояния системы кадмий-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,8% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0

до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1450°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Изделия после правильно выполненной закалки и последующего отпуска имеют твердость более низкую, чем предусмотрено техническими условиями. Чем вызван этот дефект и как можно его исправить?

4. Для изготовления плит высокого класса точности выбрана сталь ХВГ. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления токопроводящих упругих элементов выбрана бронза БрБНТ-1,7. Приведите химический состав, режим термической обработки и получаемые механические свойства материала. Опишите процессы, происходящие при термической обработке, и объясните природу упрочнения в связи с диаграммой состояния медь-бериллий.

Вариант 37

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-серебро. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,9% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости НВ200. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

4. Копиры должны иметь минимальную деформацию и высокую износоустойчивость поверхностного слоя при твердости HV750-1000. Для их изготовления выбрана сталь 38ХВФЮА. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической и химико-термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после обработки.

5. В качестве материала для заливки вкладышей подшипников скольжения выбран сплав Б16. Укажите состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению. Опишите микроструктуру сплава и основные требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

Вариант 38

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-магний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,9% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1350°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима термической обработки, обеспечивающей получение твердости НВ550. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

4. В результате термической обработки оправки должны получить повышенную прочность по всему сечению (твердость НВ250-280). Для изготовления их выбрана сталь 40ХФА. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Опишите металлокерамические твердые сплавы группы ТТК. Укажите их состав, свойства и область применения в машиностроении.

Вариант 39

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-никель. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с применением правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,0% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте для углеродистой стали 45 температуру закалки и температуру отпуска, необходимые для обеспечения твердости НВ400. Опишите превращения, которые совершились в стали в процессе закалки и отпуска, и полученную после термической обработки структуру.

4. Для изготовления машинных метчиков выбрана сталь Р18Ф2. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование, объяснив

влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей двигателя внутреннего сгорания выбран сплав АК4-1. Укажите состав и способ изготовления деталей из этого сплава. Приведите характеристики механических свойств АК4-1 при повышенных температурах и объясните, за счет чего они достигаются.

Вариант 40

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-мышьяк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,0% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 650°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. С помощью диаграммы состояния системы железо-карбид железа определите температуру нормализации, отжига и закалки стали 45 и кратко опишите микроструктуру и свойства после каждого вида термической обработки.

4. В результате термической обработки рессоры должны получить высокую упругость. Для изготовления их выбрана сталь 70С3А. Укажите состав, назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления деталей путем глубокой вытяжки применяется латунь Л96. Укажите состав, опишите структуру сплава и назначьте режим промежуточной термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки, обоснуйте выбранный режим. Приведите общую характеристику механических свойств сплава.

Вариант 41

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-олово. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 3,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Покажите графически режим отжига для получения ферритного ковкого чугуна. Опишите структурные превращения, происходящие в процессе отжига, укажите, каковы механические свойства чугуна после термической обработки.

4. Для изготовления обрезных штампов выбрана сталь Х6ВФ. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для отливок сложной конфигурации используется бронза БрОФ4-0,2. Укажите состав сплава, его структуру и назначьте режим термической обработки для снятия внутренних напряжений, возникающих после литья.

Вариант 42

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-медь. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1400°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Опишите структуру и свойства стали 45 и У12 после закалки от температур 760 и 840°С (объясните с применением диаграммы состояния железо - карбид железа).

4. Для изготовления штампов горячей штамповки выбрана сталь 5ХНВ. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали. Укажите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Укажите состав, свойства и способ изготовления режущего инструмента из металлокерамических твердых сплавов.

Вариант 43

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-кремний. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе о помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 3,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости HRC50. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращения и какая структура получается в данном случае.

4. В результате термической обработки детали машин должны получить повышенную прочность по всему сечению (твердость НВ250-280). Для изготовления их выбрана сталь 40ХН. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления ряда деталей в авиастроении применяется сплав МЛ5. Укажите состав и способ изготовления деталей из этого сплава. Опишите характеристики механических свойств и приведите режим термической обработки, применяемой для данного сплава.

Вариант 44

1. Вычертите диаграмму состояния системы олово-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 800°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. После закалки углеродистой стали У7 со скоростью охлаждения выше критической, была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита. Проведите на диаграмме состояния железо-карбид железа ординату, соответствующую составу заданной стали, укажите принятую в данном случае температуру нагрева под закалку и опишите превращения, которые совершились в стали при нагреве и охлаждении. Как называется такой вид закалки?

4. В результате термической обработки полуоси должны получить по всему сечению повышенную прочность (твердость HRC28-35). Для их изготовления выбрана сталь 40ХНМА. Укажите состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для изготовления некоторых деталей самолета выбран сплав АЛ2. Приведите химический состав и укажите способ изготовления деталей из данного сплава. Опишите методы повышения механических свойств сплава и сущность этого явления.

Вариант 45

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 0,9% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие,

опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 750°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Объясните, почему пластическую деформацию олова при комнатной температуре называют горячей деформацией, а вольфрама и при температуре 1000° С называют холодной пластической деформацией?

4. Для изготовления калибров выбрана сталь 9Х18. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки, дайте его обоснование и укажите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Назначьте нержавеющую сталь для изготовления деталей, работающих в среде уксусной кислоты при температуре не выше 40° С.Приведите химический состав стали, необходимую термическую обработку, получаемую структуру. Объясните физическую природу коррозионной устойчивости материала и роль каждого легирующего элемента.

Вариант 46

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Объясните природу хрупкого разрушения металлов и факторы, способствующие переходу металла в хрупкое состояние.

4. Выберите углеродистую сталь для изготовления метчиков. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства инструмента.

5. Назначьте режим термической обработки (температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска) зенкеров из стали У12А. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и твердость инструмента после термической обработки

Вариант 47

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 750°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Как изменяются эксплуатационные характеристики деталей после поверхностного наклепа (дробеструйной обработки) и почему?

4. Пружины из стали 65 после правильно выполненной закалки и последующего отпуска имеют твердость значительно ниже, чем это требуется по техническим условиям. Чем вызван этот дефект и как можно его исправить? Укажите, какая твердость и структура обеспечивают упругие свойства пружин.

5. Для изготовления деталей подшипников качения выбрана сталь ШХ15СГ. Укажите состав стали, назначьте режим термической обработки и приведите свойства стали после термической обработки.

Вариант 48

1. Вычертите диаграмму состояния системы кадмий-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграмма состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 4,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Полосы свинца были прокатаны на различную степень деформации. Объясните, можно ли создать значительное упрочнение свинца, если его деформировать при комнатной температуре.

4. Для нагревательных элементов сопротивления выбран сплав нихром. Укажите состав и требования, предъявляемые к сплавам этого типа. Приведите температурные границы применимости сплава.

5. Изделия из стали 40Х требуется подвергнуть улучшению. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений структуру и свойства стали.

Вариант 49

1. Вычертите диаграмму состояния системы сурьма-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 3,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1200°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Волочение проволоки проводят в несколько переходов. Если волочение выполняют без промежуточных операций отжига, то проволока на последних переходах даст разрыв. Объяснить причины разрывов и указать меры для предупреждения этого.

4. Назначьте режим термической обработки (температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска) деталей из стали 30ХГСА, которые должны иметь твердость НВ230-250. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Для обшивки скоростных самолетов применяются сплавы на основе титана. Обоснуйте причины применения этих сплавов взамен алюминиевых. Приведите примеры титановых сплавов и сравните их механические характеристики с характеристиками алюминиевых сплавов при температуре 200-500° С.

Вариант 50

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-никель. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,4% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Для чего применяется отжиг после наклепа холоднокатаных прутков стали МСтЗ? Выберите режим отжига.

4. Требуется произвести поверхностное упрочнение изделий из стали 15Х. Назначьте вид обработки, опишите его технологию, происходящие в стали превращения, структуру и свойства поверхности и сердцевины.

5. Выберите углеродистую сталь для изготовления сверл. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства инструмента.

Вариант 51

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-кальций. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 5,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1250°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Как влияет степень пластической деформации на процесс рекристаллизации и величину зерна?

4. Выберите марку чугуна для изготовления ответственных деталей машин (коленчатые валы, шатуны и т. п.). Укажите состав, обработку, структуру и основные механические свойства деталей из этого чугуна.

5. Для изготовления деталей, работающих в активных коррозионных средах, выбрана сталь 08Х18Н12Т. Укажите состав и объясните причины введения легирующих элементов в эту сталь. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки и опишите микроструктуру данной стали после термической обработки.

Вариант 52

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-медь. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях**,** структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 4,6% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Укажите, какой вид термической обработки необходимо применять к сплавам, имеющим структуру твердого раствора для устранения ликвации.

4. Детали машин из стали 45 закалены: одни - от температуры 760°С, а другие - от температуры 830°С. Используя диаграмму состояния железо-карбид железа, объясните, какие из этих деталей имеют более высокую твердость и лучшие эксплуатационные свойства.

5. Для изготовления деталей, работающих в окислительной атмосфере при 800°С, выбрана сталь 08Х17Т. Укажите состав, обоснуйте выбор стали для данных условий работы и объясните, для чего вводится хром в эту сталь.

Вариант 53

1. Вычертите диаграмму состояния системы магний-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 3,0% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1200°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. В котельных установках в местах, где имеются заклепочные швы, часто наблюдается значительная коррозия в участках металла, прилегающих к заклепкам. Объясните причины, вызывающие это явление.

4. Назначьте режим термической обработки рессор из стали 65 и приведите его обоснование. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

5. Режущий инструмент требуется обработать на максимальную твердость. Для его изготовления выбрана сталь У13А. Назначьте режим термической

обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства данной стали.

Вариант 54

1. Вычертите диаграмму состояния системы висмут-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,2% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Каким способом можно восстановить пластичность холоднокатаных медных лент? Назначьте режим термической обработки и опишите физическую сущность происходящих процессов.

4. Для деталей, работающих в слабых агрессивных средах, применяется сталь 30Х13. Укажите состав и определите группу стали по структуре. Объясните назначение хрома в данной стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки.

5. Назначьте режим термической обработки штампов холодной штамповки из стали У10. Приведите его обоснование и опишите структуру и свойства штампов. Объясните, почему из данной стали изготовляют штампы небольшого сечения.

Вариант 55

1. Вычертите диаграмму состояния системы кадмий-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в твердом и жидком состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 4,1% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1250°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Поковки из стали 40 имеют крупнозернистое строение. Назначьте режим термической обработки для получения мелкого зерна и объясните, почему выбранный режим обеспечивает мелкозернистое строение стали.

4. Назначьте нержавеющую сталь для работы в среде средней агрессивности (растворы солей). Приведите состав стали, необходимую термическую обработку и получаемую структуру. Объясните физическую природу коррозионной устойчивости материала и роль каждого легирующего элемента.

5. В котлостроении используется сталь 12Х2МФСР. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки и приведите его обоснование. Объясните влияние легирующих элементов на превращения при термической обработке стали. Опишите влияние температуры на механические свойства стали.

Вариант 56

1. Вычертите диаграмму состояния системы сурьма-германий. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с применением правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,0% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. Детали из меди, штампованные в холодном состоянии, имели низкую пластичность. Объясните причину этого явления и укажите, каким способом можно повысить относительное удлинение. Рекомендуйте режим обработки и приведите характер изменения механических свойств.

4. Назначьте режим термической обработки (температуру закалки, охлаждающую среду, температуру отпуска) напильников из стали У13. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и твердость инструмента после термической обработки.

5. Назначьте марку жаропрочной стали (сильхром) для клапанов автомобильных двигателей небольшой мощности. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки стали. Опишите микроструктуру и основные свойства стали после термической обработки.

Вариант 57

1. Вычертите диаграмму состояния системы медь-мышьяк. Опишите взаимодействие компонентов во всех состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,3% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 1350°С определите процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. Назначьте режим отжига холоднокатаного профиля из магния. Как такой отжиг называется? Опишите сущность происходящих процессов.

4. Укажите температуры, при которых производится процесс прочностного азотирования. Объясните, почему азотирование не производится при температурах ниже 500 и выше 700°С (используя диаграмму состояния железо-

азот). Назовите марки сталей, применяемых для азотирования, и опишите полный цикл их термической и химико-термической обработки.

5. Для изготовления силовых лопаток авиационных газовых турбин выбран сплав ХН77ТЮР (ЭИ437Б). Укажите состав и определите группу сплава по назначению. Назначьте режим термической обработки и опишите влияние температуры на характеристики жаропрочности этого сплава в сравнении с жаропрочными сталями.

Вариант 58

1. Вычертите диаграмму состояния системы олово-цинк. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 2,7% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах, количественное соотношение фаз.

3. Каким способом можно восстановить пластичность холоднокатаного алюминиевого прутка? Назначьте режим термической обработки и опишите физическую сущность происходящих процессов.

4. Пружина из стали 75 после правильно выполненной закалки и последующего отпуска имеет твердость значительно выше, чем это предусматривается техническими условиями. Чем вызван этот дефект и как можно его исправить? Укажите структуру и твердость, которые обеспечивают высокие упругие свойства пружин.

5. Для изготовления деталей подшипников качения (роликов, шариков и др.) выбрана сталь ШХ9. Укажите состав, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирующих элементов на все превращения, происходящие при термической обработке. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

Вариант 59

1. Вычертите диаграмму состояния системы алюминий-медь. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния, объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую нагревания в интервале температур от 0 до 1600°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения. Для заданного сплава при температуре 850°С определите процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Прутки олова были деформированы при температуре 20°С. Объясните, почему эти прутки не упрочнились при деформировании и опишите процессы, протекающие при этом.

4. Назначьте режим термической обработки (температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска) зубил из стали У7. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и твердость инструмента после термической обработки.

5. Для реостатных элементов сопротивления выбран сплав константан. Расшифруйте состав и укажите, к какой группе относится данный сплав по назначению.

Вариант 60

1. Вычертите диаграмму состояния системы свинец-сурьма. Опишите взаимодействие компонентов в твердом и жидком состояниях, структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов в данной системе с помощью правил Курнакова.

2. Для сплава, содержащего 1,5% С, на основании диаграммы состояния железо-карбид железа постройте кривую охлаждения в интервале температур от 1600 до 0°С (с применением правила фаз), укажите структурные составляющие, опишите превращения; выберите для заданного сплава любую температуру между линиями ликвидус и солидус, определите: состав фаз, т. е. процентное содержание углерода в фазах; количественное соотношение фаз.

3. Полосы свинца были прокатаны при комнатной температуре на различную степень деформации: 10; 20; 40 и 60%. После прокатки твердость (НВ) всех полос свинца оказалась практически одинаковой. Объясните, почему свинец не упрочнился.

4. Выберите углеродистую сталь для изготовления пил. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства инструмента.

5. Для некоторых приборов точной механики выбран сплав инвар Н36. Укажите состав и определите, к какой группе сплавов относится инвар по назначению. Опишите влияние легирующих элементов на основную характеристику сплава и причины выбора данного состава (в связи с аномалией изменения коэффициента термического расширения).

ТЕМЫ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Методы измерения твердости конструкционных материалов – 4 часа.
2. Изучение структуры стали после термической обработки (закалка, отпуск) – 4 часа.
3. Определение строения металлов и сплавов методами макроскопического и микроскопического анализов – 4 часа.

Всего лабораторных занятий: 12 часов.

Экзаменационные вопросы по дисциплине «Материаловедение»

1. Три уровня строения материалов, их характеристики и особенности.
2. Виды химических связей, их признаки.
3. Фазовые переходы I и II рода, особенности и отличия.
4. Агрегатные состояния вещества, их характеристики.
5. Кристаллы и их свойства.

6. Механизм процесса кристаллизации.
7. Дефекты в кристаллах.
8. Основные свойства и классификация металлов.
9. Атомно-кристаллическое строение металлов, виды кристаллических решеток.
10. Полиморфные превращения в металлах.
11. Магнитные превращения в металлах.
12. Коррозия металлов, методы защиты.
13. Фазы металлических сплавов. Твердые растворы внедрения и замещения.
14. Химические соединения, особенности и типы связей.
15. Диаграмма состояния сплавов, правило фаз.
16. Диаграмма состояния сплавов с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии.
17. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов и эвтектическим превращением.
18. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов и перитектическим превращением.
19. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых практически не растворимых в твердом состоянии, с эвтектическим превращением.
20. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют устойчивое химическое соединение постоянного состава.
21. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют устойчивое химическое соединение переменного состава.
22. Диаграмма состояния сплавов с неустойчивым химическим соединением.
23. Связь между свойствами сплавов с типом диаграммы состояния.
24. Свойства железа и фаз в сплаве железо-углерод.
25. Диаграмма состояния системы железо-углерод. Характерные линии и точки диаграммы.
26. Зависимость свойств сплавов железо-углерод от содержания в них углерода.
27. Влияние примесей на свойства сталей и чугунов.
28. Влияние легирования на свойства сплавов на основе железа.
29. Напряжения и деформации в металлах и сплавах.
30. Схема деформации металла при сдвиге.
31. Деформационное упрочнение металлов и сплавов.
32. Процесс разрушения металлов и сплавов, методы механических испытаний.
33. Описать процесс возврата в металлах и сплавах.
34. Описать процесс рекристаллизации в металлах и сплавах.
35. Холодное и горячее деформирование металлов.
36. Возможные виды термообработки стали.
37. Описать превращения в стали при различных видах охлаждения.
38. Рассмотреть отжиг I рода.
39. Рассмотреть отжиг II рода , в чём заключается нормализация.
40. Закалка: режимы обработки, выбор закалочной среды.
41. Описать способы закалки.
42. Рассмотреть характеристики стали: закаливаемость и прокаливаемость.

43. Поверхностная закалка, методы её проведения.
44. Описать отпуск и искусственное старение.
45. Описать термомеханическую обработку стали (ТМО).
46. Электромеханическая пластическая обработка (ЭМПО) и упрочнение взрывом.
47. Химико-термическая обработка стали: сущность и достоинства метода.
48. Механизм модифицирования поверхностных слоев при химико-термической обработке.
49. Описать цементацию стали.
50. Описать азотирование стали.
51. Описать цианирование стали.
52. Описать борирование и силицирование стали.
53. Описать диффузионную металлизацию: алитирование и хромирование.
54. Высокоэнергетические методы химического модифицирования поверхностных слоев стальных изделий.
55. Классификация конструкционных сталей.
56. Углеродистые конструкционные стали: свойства, состав, применение, маркировка.
57. Цементируемые легированные стали: свойства, состав, применение, маркировка.
58. Улучшаемые легированные стали: свойства, состав, применение, маркировка.
59. Мартенситостареющие высокопрочные стали: свойства, состав, применение, маркировка.
60. Пружинные стали: свойства, состав, применение, маркировка.
61. Износостойкие стали: свойства, состав, применение, маркировка.
62. Коррозионно-стойкие стали: свойства, состав, применение, маркировка.
63. Жаропрочные и жаростойкие стали: свойства, состав, применение, маркировка.
64. Инструментальные стали: свойства, состав, применение, маркировка.
65. Структура и разновидности чугуна: свойства, состав, применение, маркировка.
66. Серый и белый чугуны: свойства, структура, применение, маркировка.
67. Высокопрочный чугун: свойства, структура, применение, маркировка.
68. Ковкий чугун: свойства, структура, применение, маркировка.
69. Легированные чугуны: свойства, структура, применение, маркировка.
70. Деформируемые сплавы на основе алюминия: свойства, состав, применение, маркировка.
71. Литейные алюминиевые сплавы: свойства, состав, применение, маркировка.
72. Подшипниковые алюминиевые сплавы: свойства, состав, применение, маркировка.
73. Спеченные алюминиевые сплавы: свойства, состав, применение, маркировка.
74. Сплавы на основе меди: латуни: свойства, состав, применение, маркировка.
75. Бронзы: свойства, состав, применение, маркировка.

76. Титан и его сплавы: свойства, состав, применение, маркировка.
77. Магний и его сплавы: свойства, состав, применение, маркировка.
78. Антифрикционные сплавы: свойства, состав, применение, маркировка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов Б.Н. и др. Материаловедение. - М.: Машиностроение, -1986.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. - М.: Металлургия, 1989.
3. Гелин Ф.Д., Крупицкий Э.И., Позняк И.П. Материаловедение. – Мн.:Выш. шк., 1977.
4. Гелин Ф.Д. Металлические материалы: справочник. - Мн.:Выш. шк., 1987.
5. Гольштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. - М.: Металлургия, 1985.
6. Гуляев А.П. Металловедение. - М. .-Металлургиздат, 1986.
7. Зуев В.М. Термическая обработка металлов, -М.1999.
8. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник. - М.: Машиностроение, 1981.
9. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение , 1980.
10. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. - М.: Металлургия, 1984.
11. Технология термической обработки в машиностроении: Справочник. - М.: Машиностроение, 1980.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

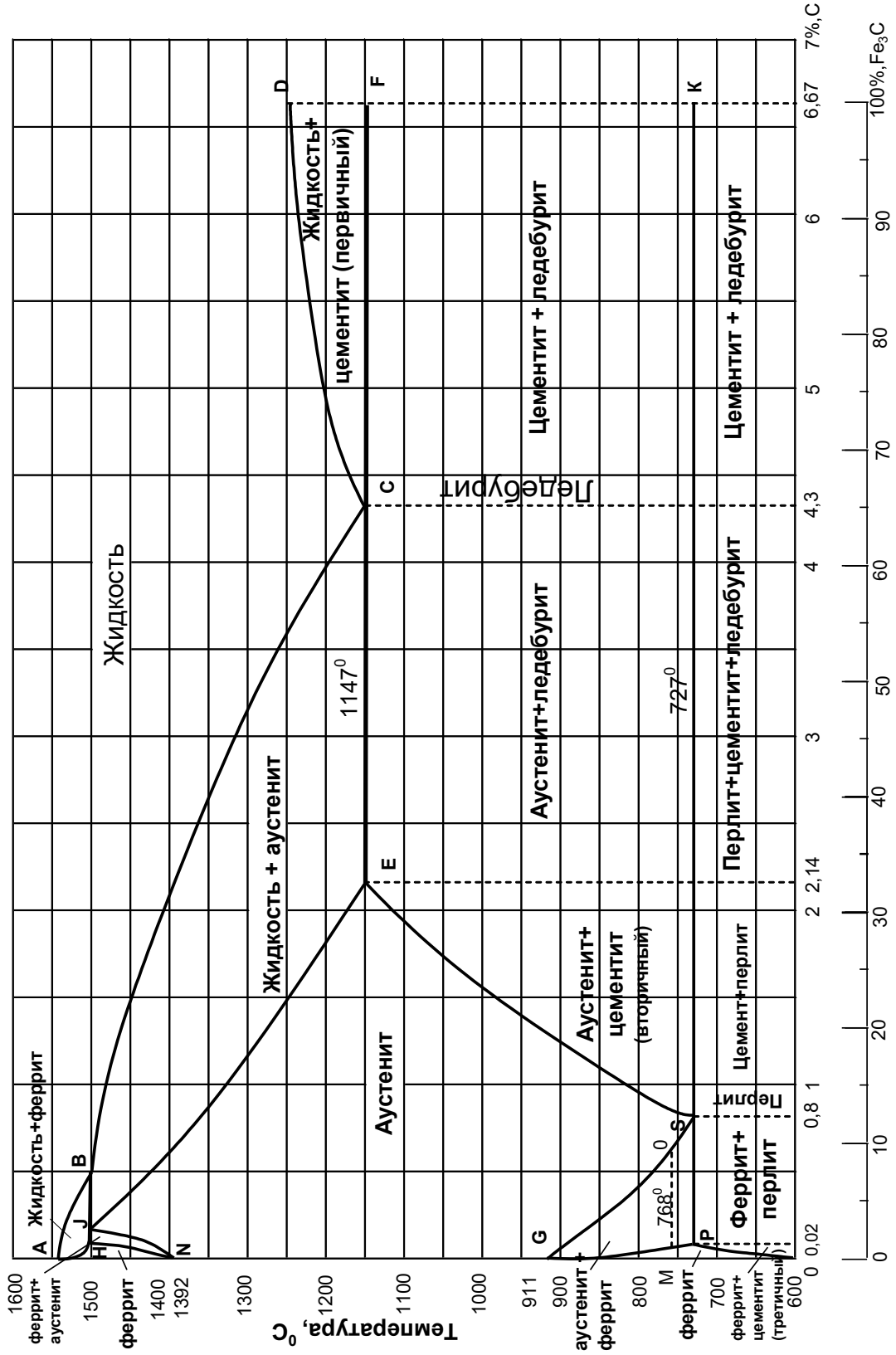


Рисунок 1 - Диаграмма состояния Fe - Fe_3C

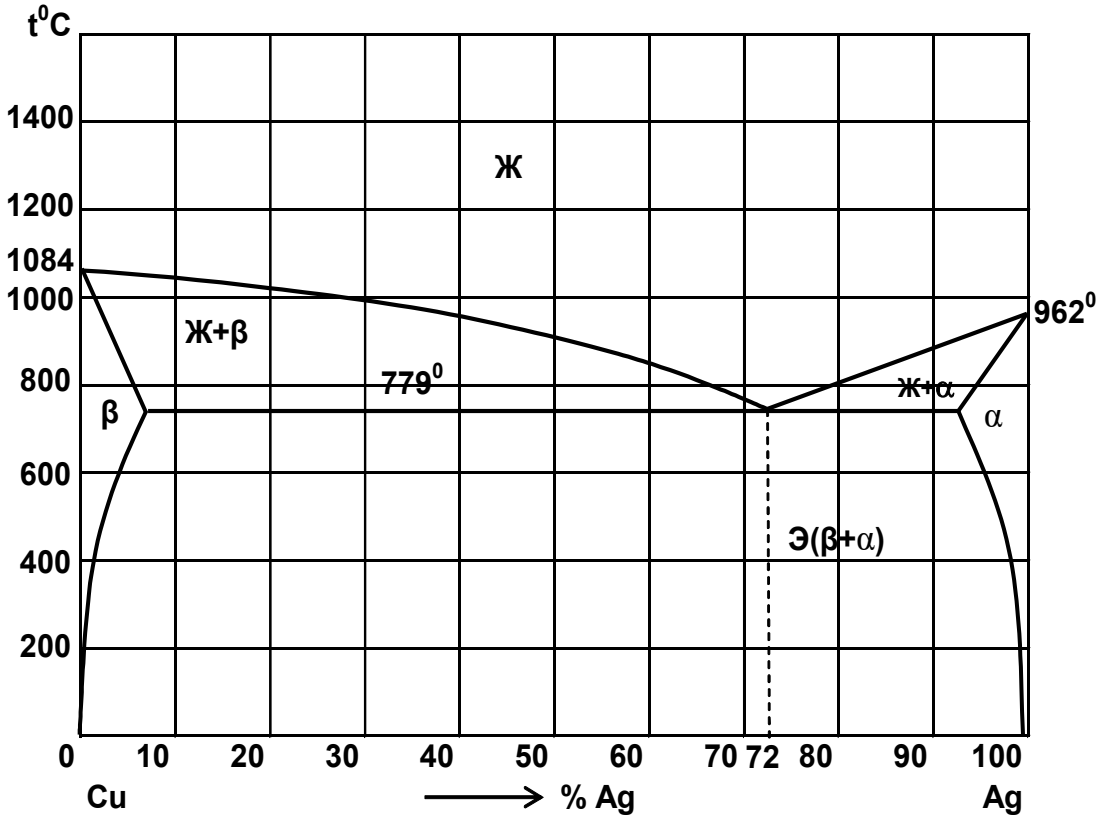


Рисунок 2 - Диаграмма состояния системы Cu - Ag

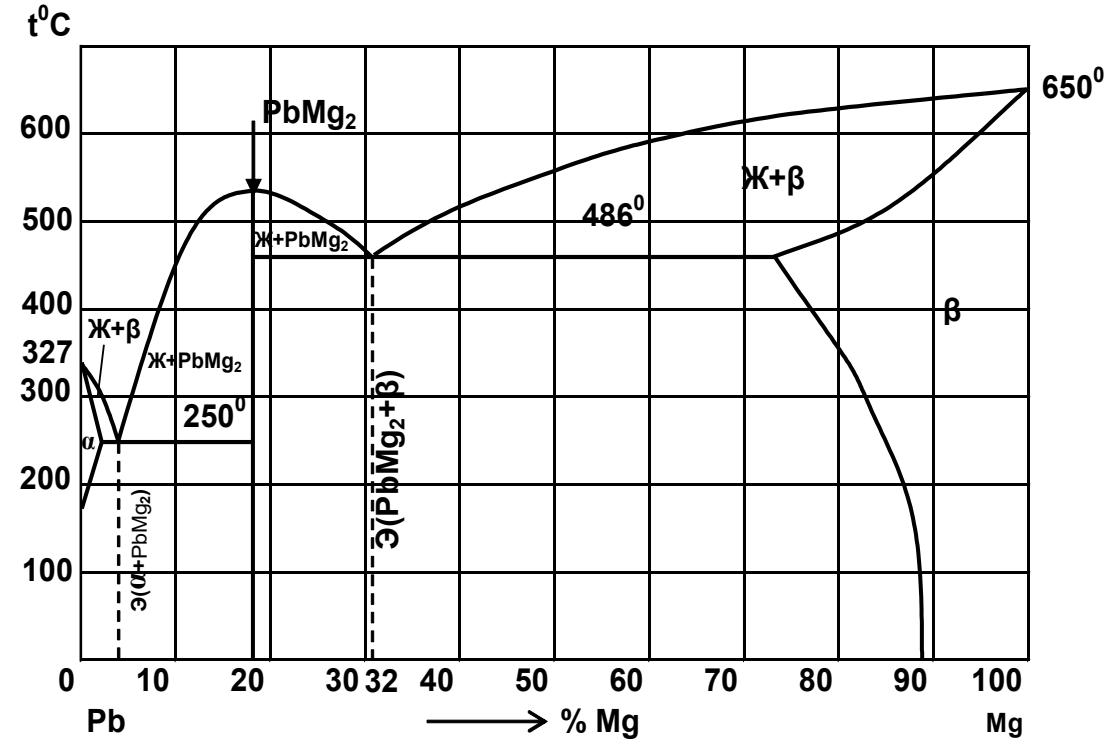


Рисунок 3 - Диаграмма состояния системы Pb - Mg

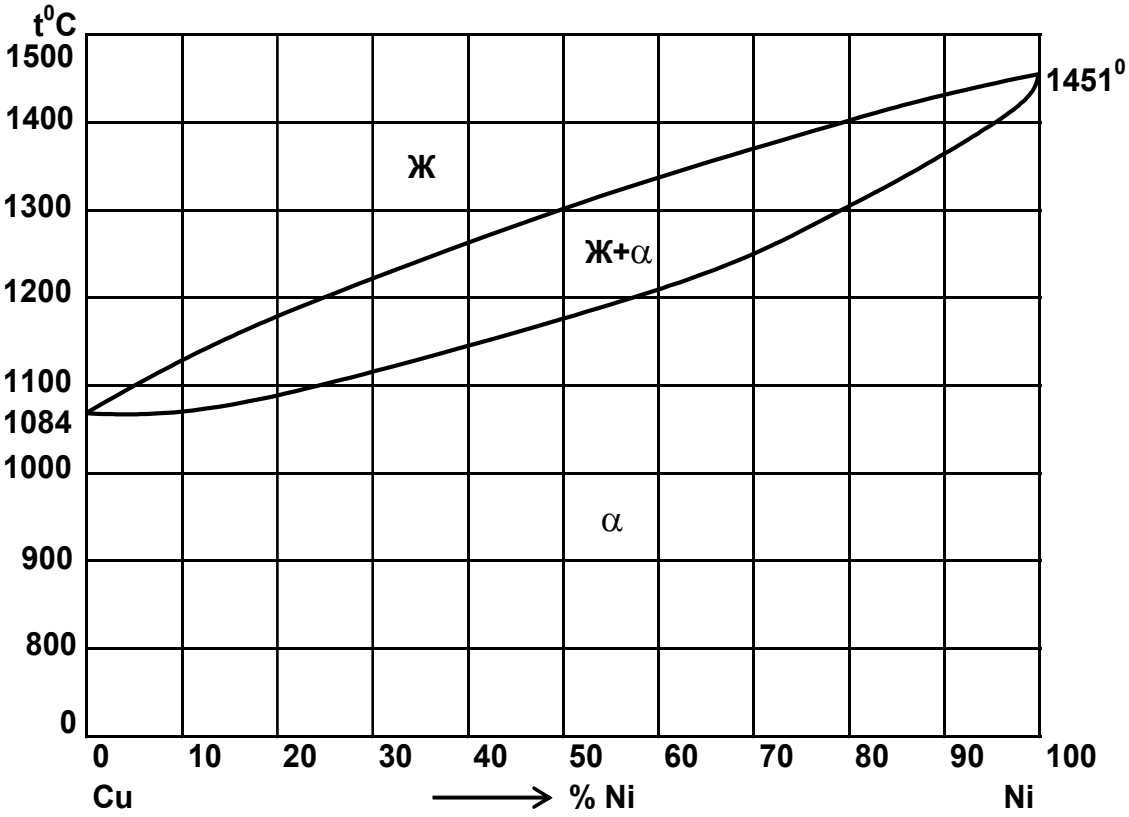


Рисунок 4 - Диаграмма состояния системы Cu - Ni

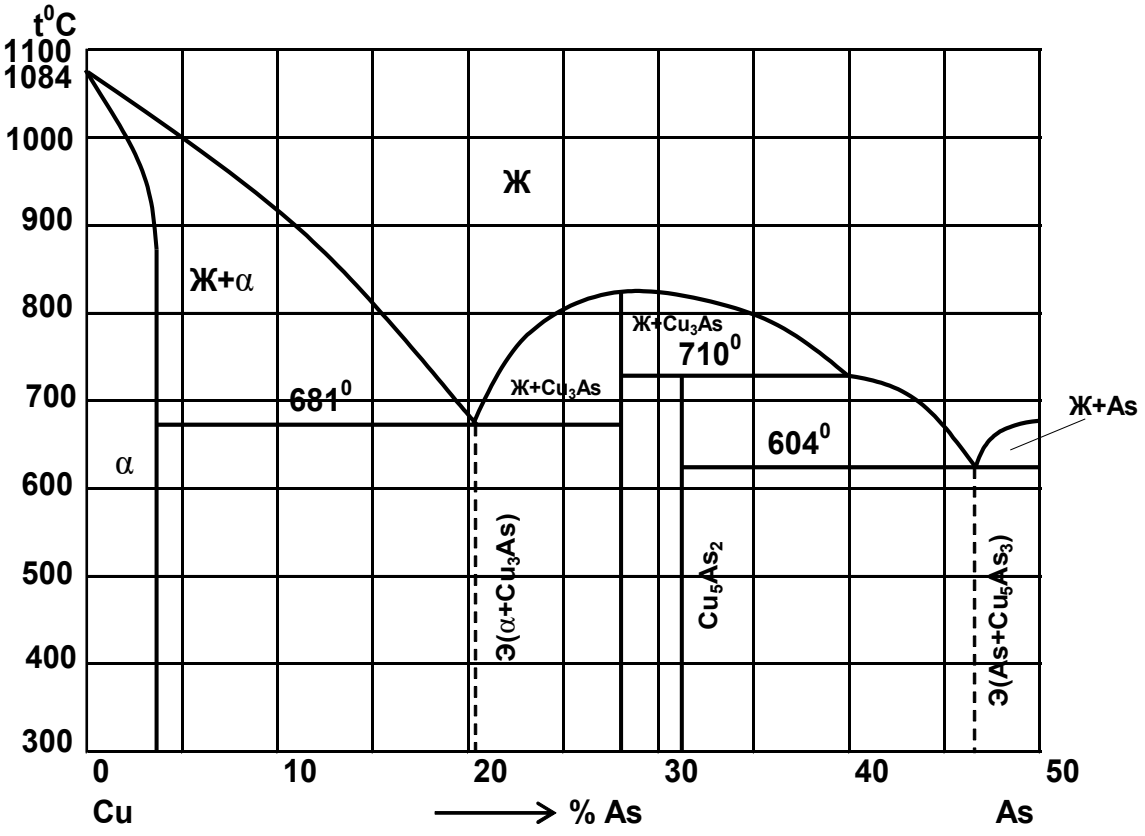


Рисунок 5 - Диаграмма состояния системы Cu - As

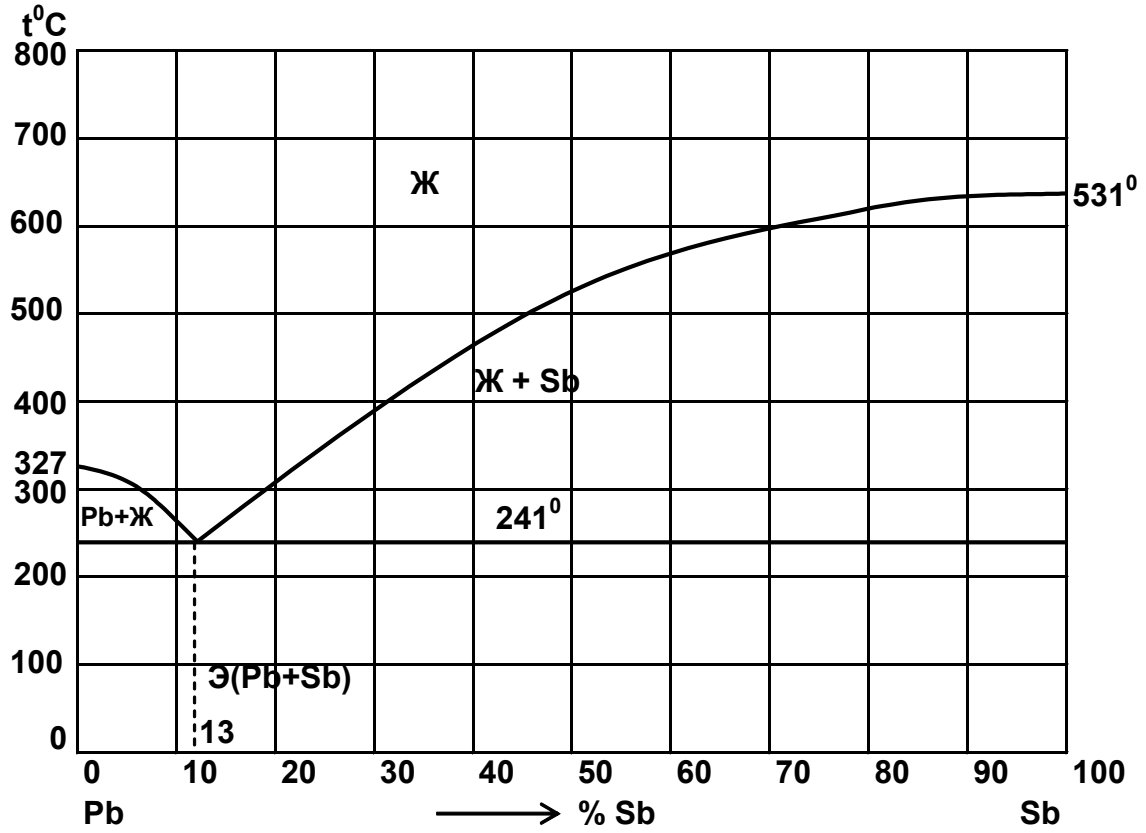


Рисунок 6 - Диаграмма состояния системы Pb - Sb

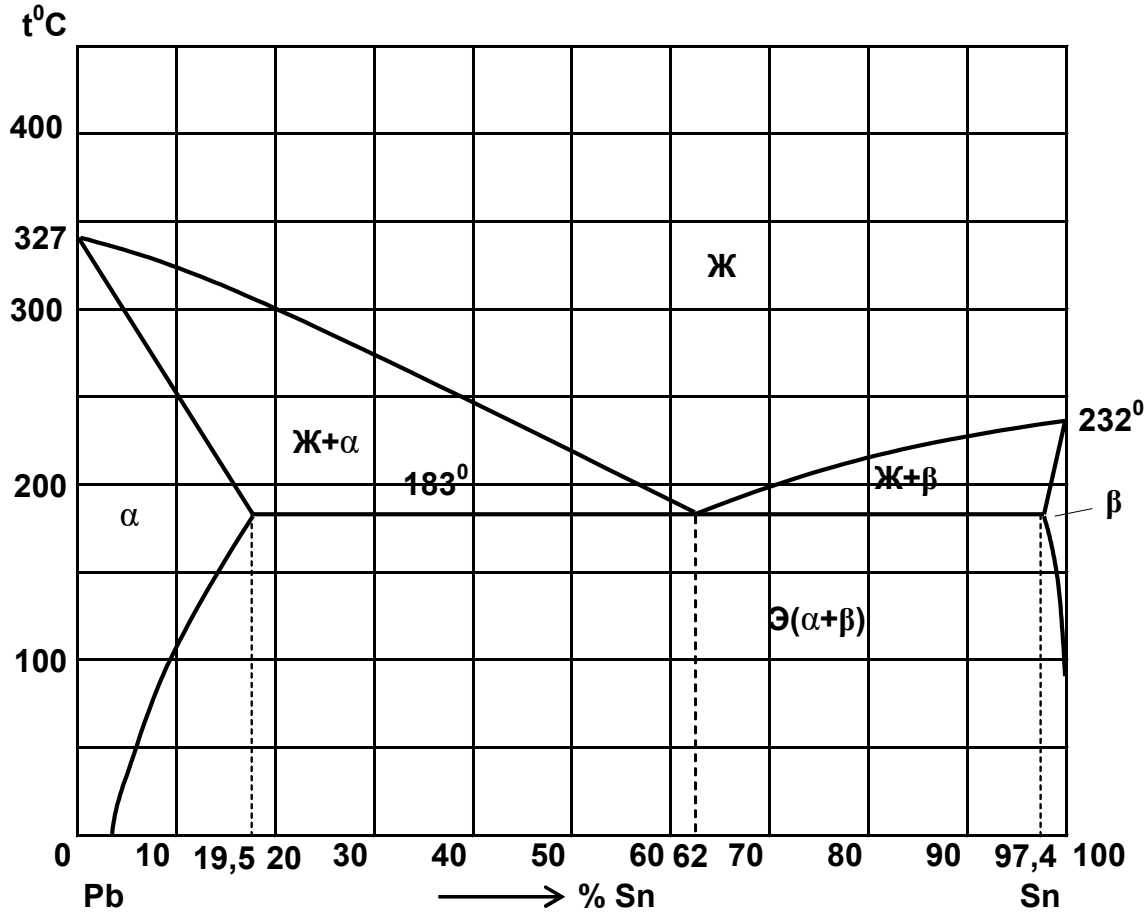


Рисунок 7- Диаграмма состояния системы Pb - Sn

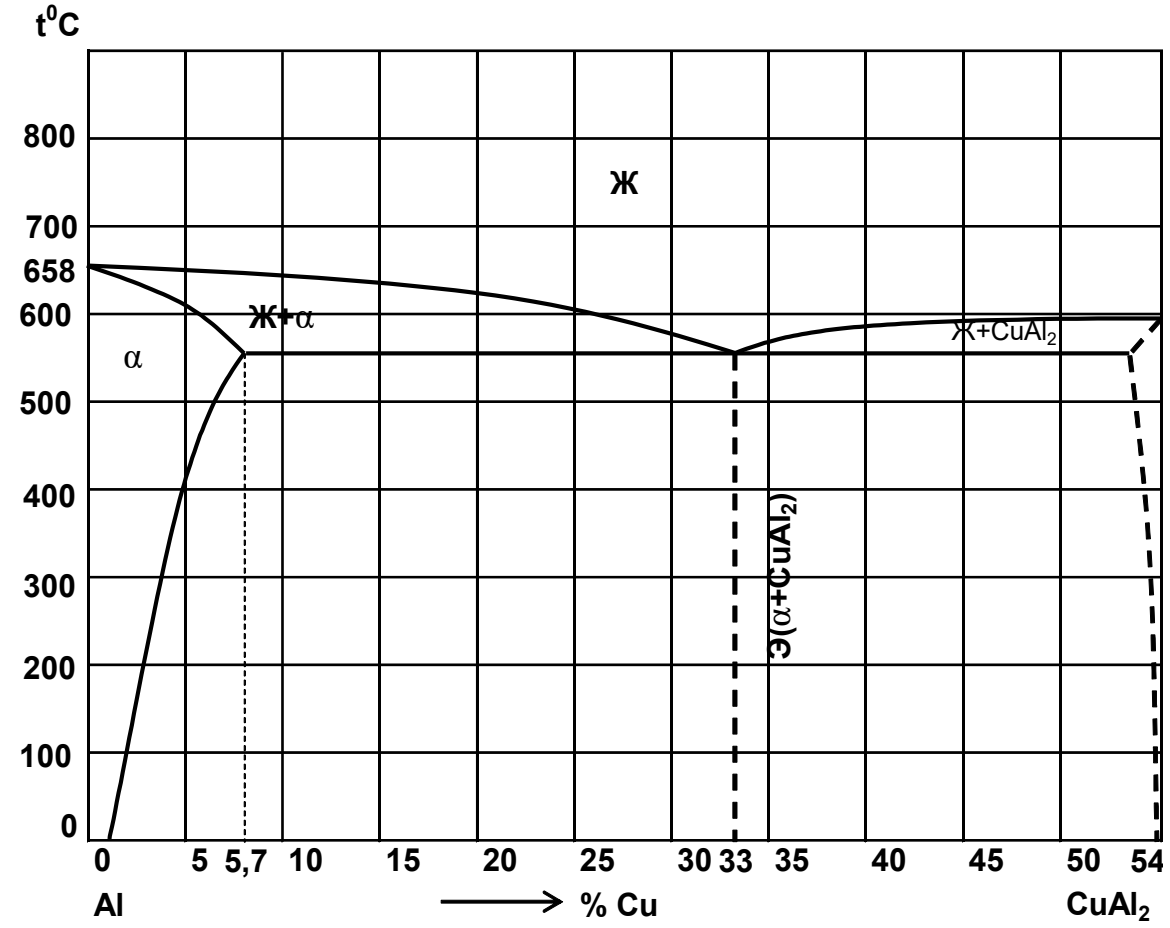


Рисунок 8 - Диаграмма состояния системы Al - Cu

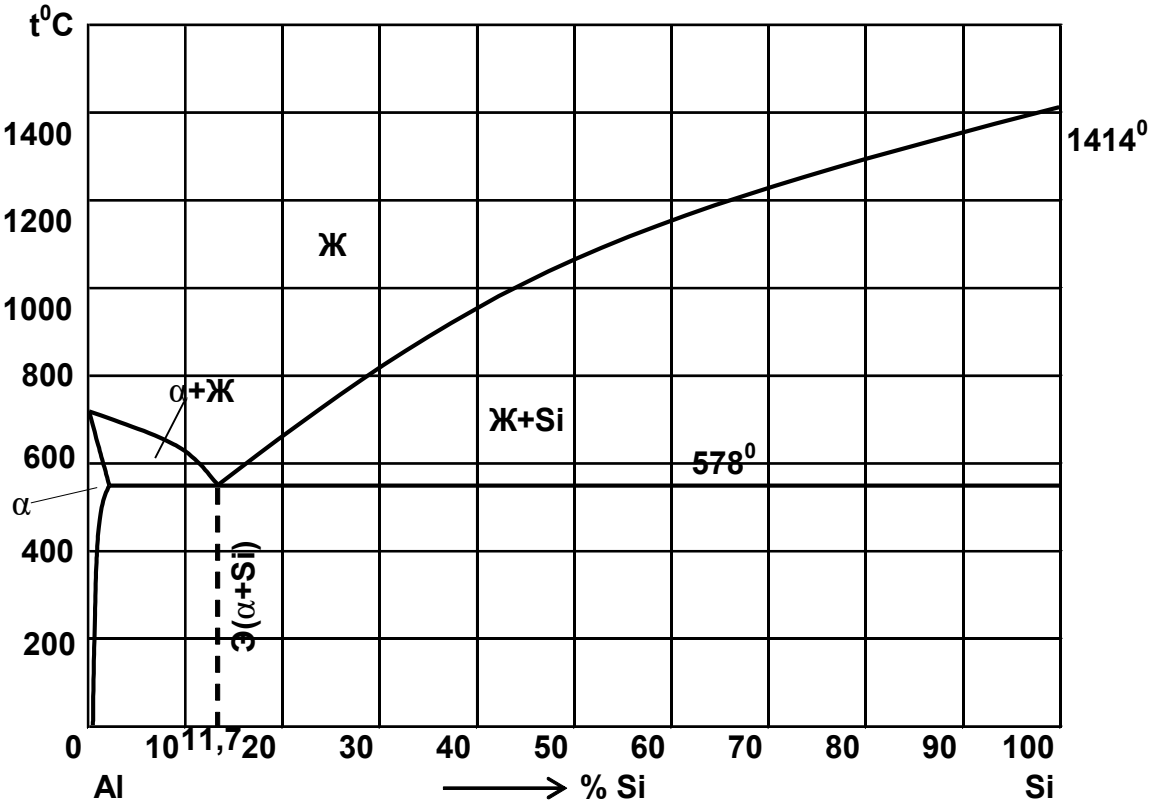


Рисунок 9 - Диаграмма состояния системы Al - Si

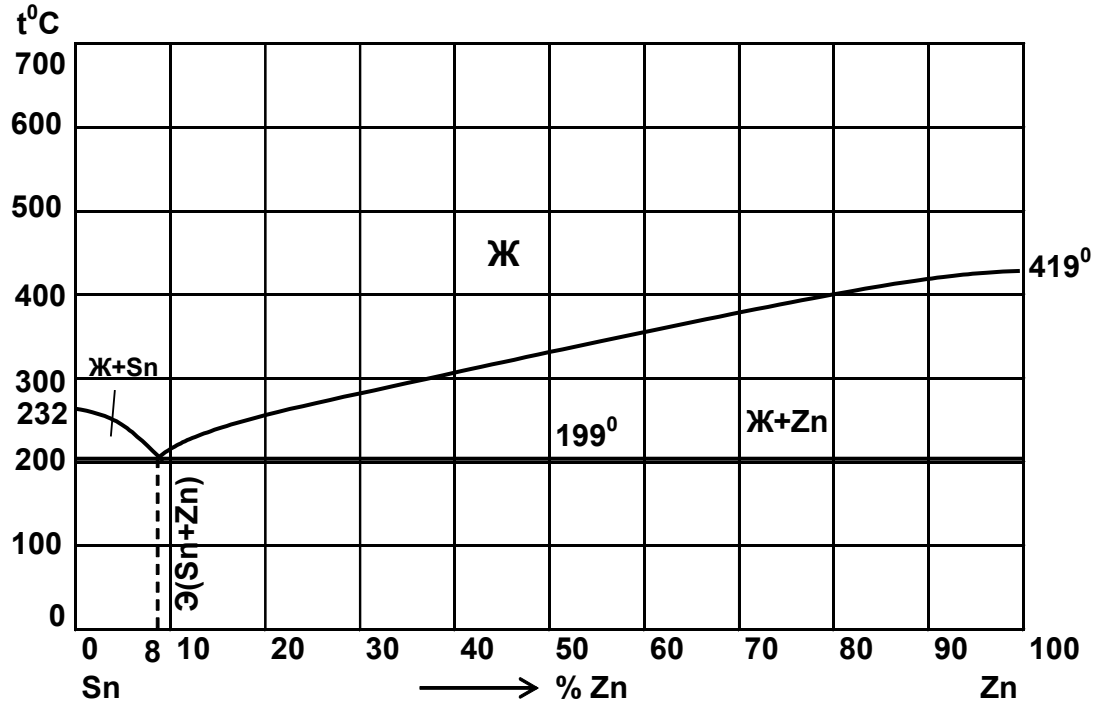


Рисунок 10 - Диаграмма состояния системы Sn - Zn

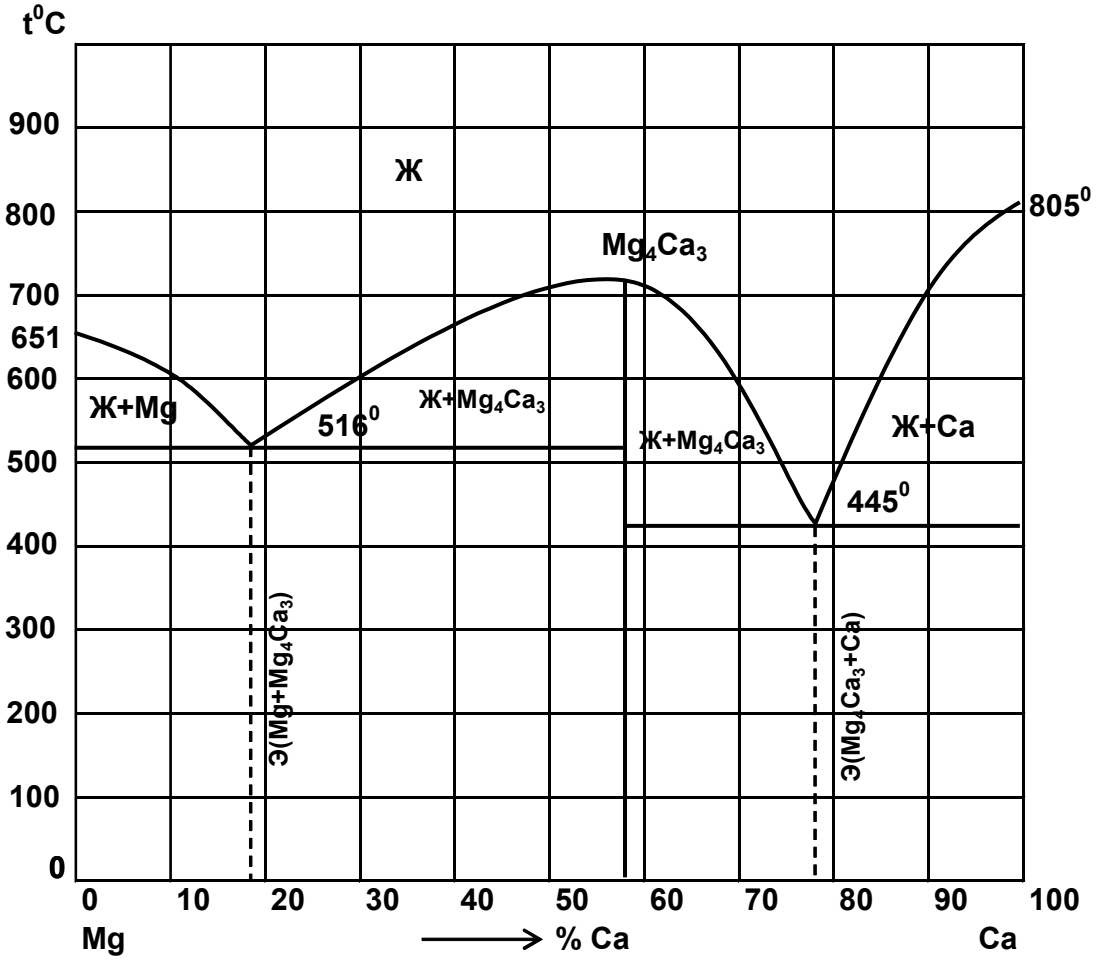


Рисунок 11- Диаграмма состояния системы Mg - Ca

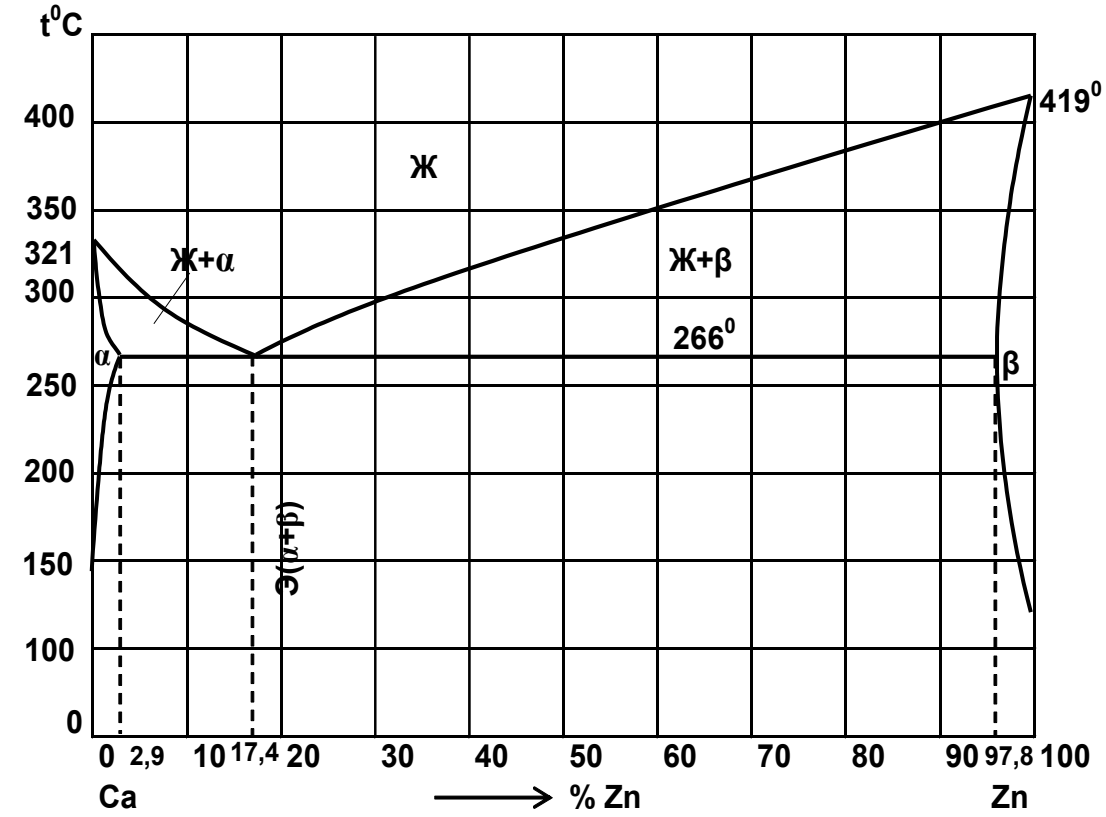


Рисунок 12 - Диаграмма состояния системы Ca - Zn

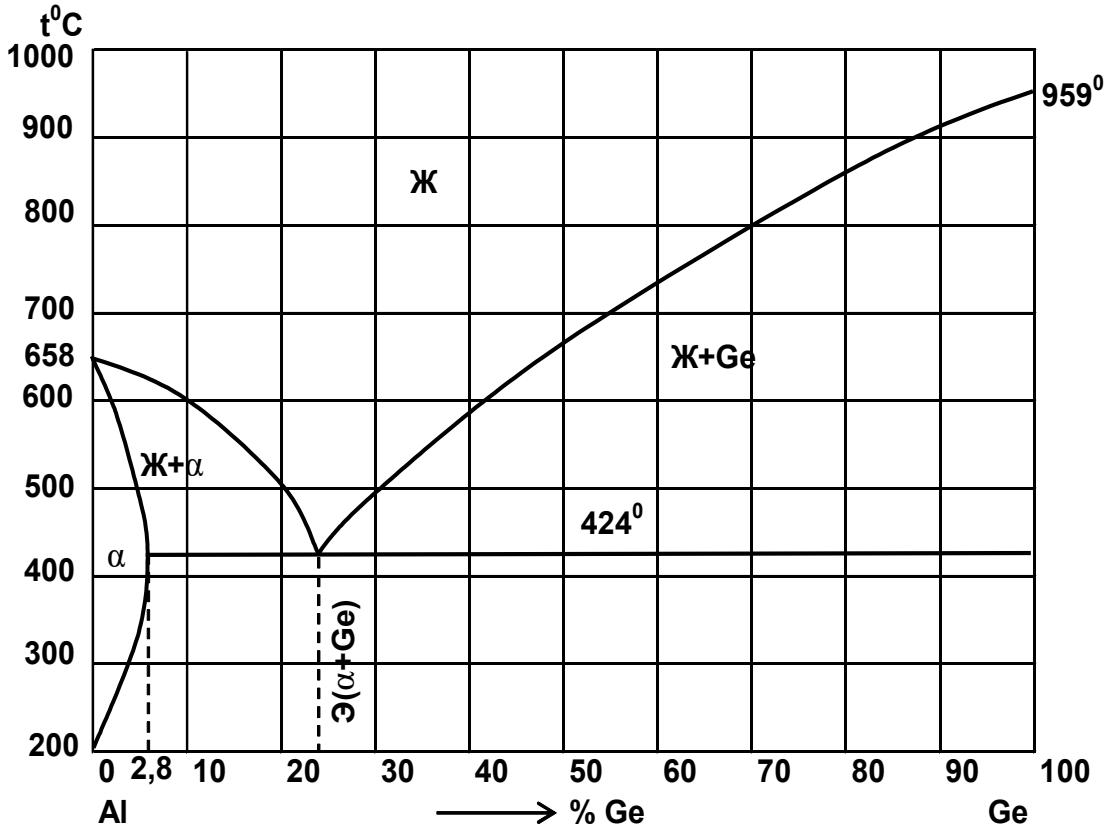


Рисунок 13- Диаграмма состояния системы Al - Ge

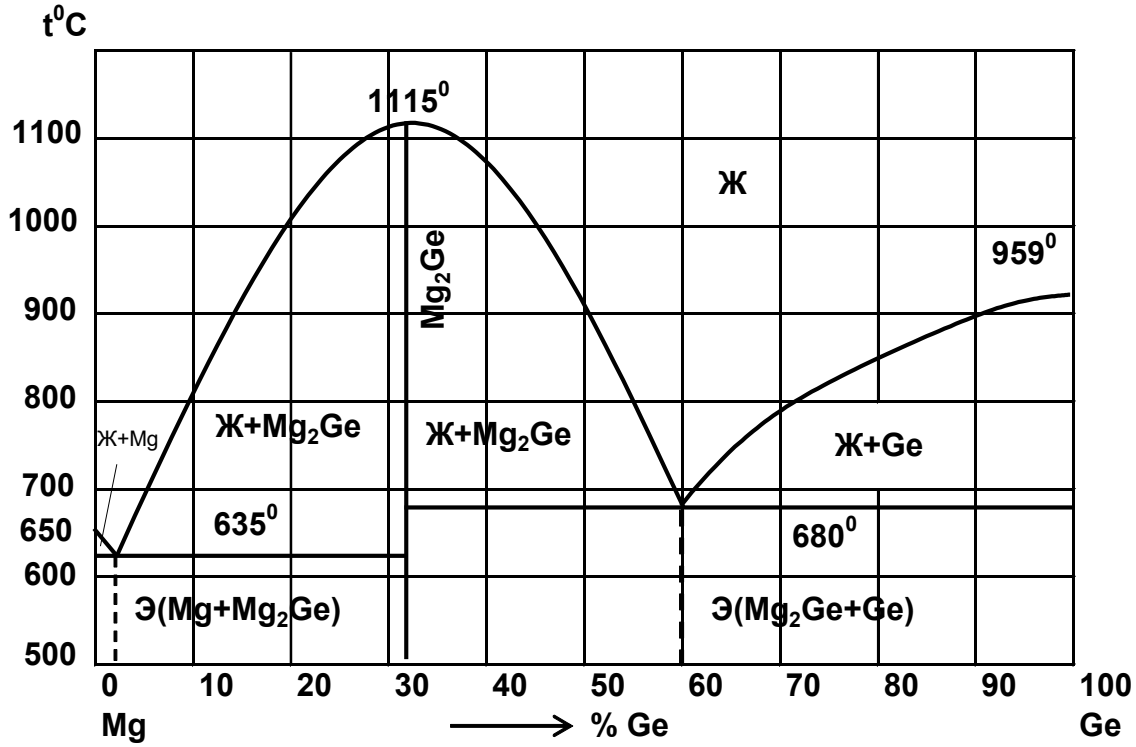


Рисунок 14 - Диаграмма состояния системы Mg - Ge

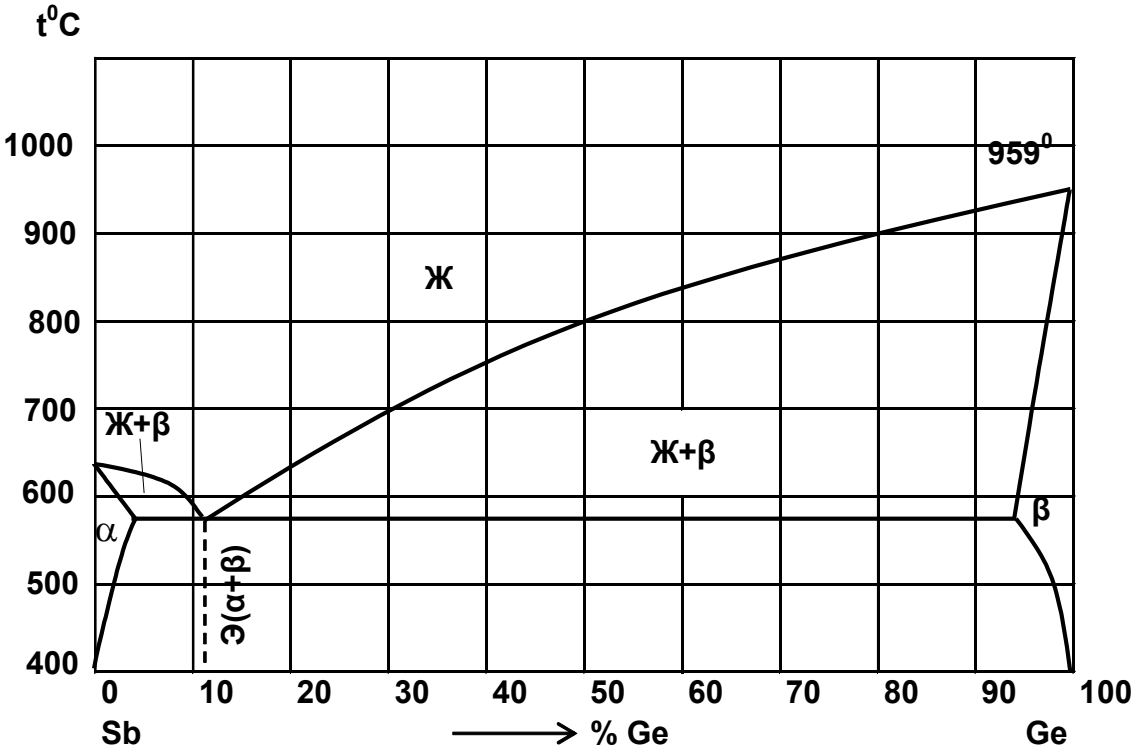


Рисунок 15- Диаграмма состояния системы Sb - Ge

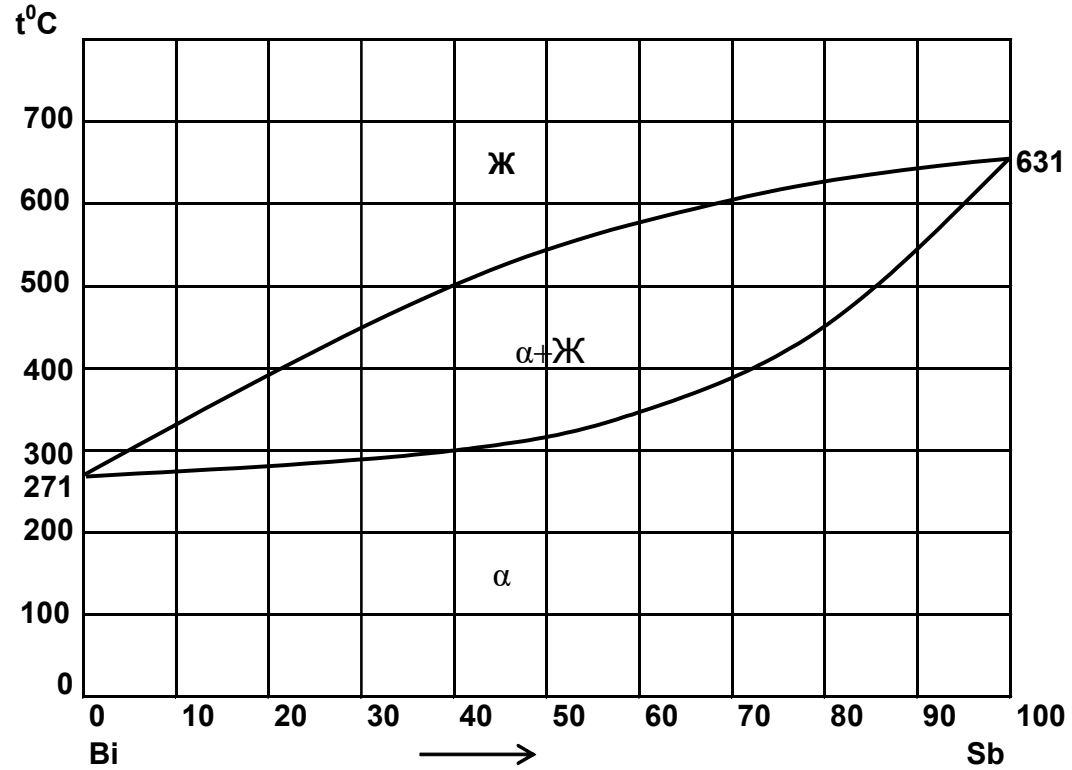


Рисунок 16 - Диаграмма состояния системы Bi - Sb

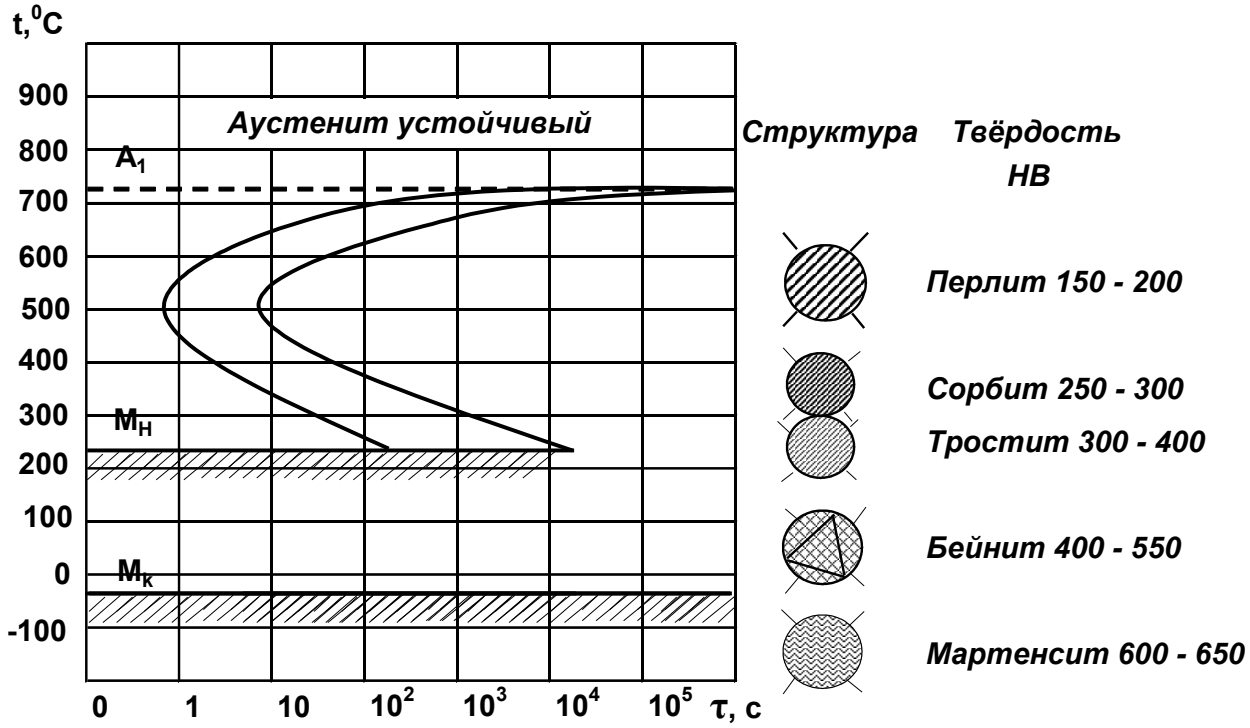


Рисунок 17 - Диаграмма изотермического превращения аустита эвтектоидной стали У8, схема структур и примерная их твёрдость

Учебное издание

Составили: Мартиновская О.В.
Мирошниченко И.А.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

для студентов заочной формы обучения
специальностей 36 01 01 -"Технология машиностроения"
и 37 01 06-"Техническая эксплуатация автомобилей"

Ответственный за выпуск: Мартиновская О.В.

Редактор Строкач Т.В.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Перечень вопросов к экзамену по дисциплине «Материаловедение»

1. Атомно-кристаллическое строение металлов. Виды кристаллических решеток.
2. Свойства кристаллов.
3. Процесс кристаллизации. Дефекты в кристаллах.
5. Основные характеристики прочности, определяемые при статическом нагружении.
4. Динамическая прочность, явление запаздывания текучести, ударная вязкость материалов.
5. Усталость материалов, характеристики.
6. Длительная прочность, явление ползучести материалов, характеристики.
7. Твердость материалов. Методы измерения твердости.
8. Износостойкость и прирабатываемость материалов, их характеристики.
9. Сопротивление материалов коррозии, виды коррозии, характеристики, методы защиты.
10. Температурные характеристики материалов.
11. Электрические и магнитные свойства материалов.
12. Классификация конструкционных сталей.
13. Углеродистые конструкционные стали.
14. Легированные цементируемые стали.
15. Легированные улучшаемые стали.
16. Высокопрочные стали и сплавы.
17. Пружинные стали.
18. Износостойкие и коррозионно-стойкие стали.
19. Жаростойкие и жаропрочные стали.
20. Инструментальные стали: для режущего, ОМД, мерительного инструмента.
21. Серый и белый чугуны. Химический состав, структура, маркировка и область применения.
22. Высокопрочный чугун. Химический состав, структура, маркировка и область применения.
23. Ковкий чугун. Химический состав, структура, маркировка и область применения.
24. Легированные чугуны. Разновидности, характеристики, маркировка и область применения.
25. Свойства железа и фаз в сплаве железо-углерод.
26. Зависимость свойств стали и чугуна от содержания в них углерода и постоянных примесей.
27. Влияние легирования на свойства сталей и чугунов.
28. Влияние термообработки на механические свойства стали, превращения в сталях при термообработке.
29. Термообработка сталей: отжиг I рода. Разновидности, цель и режимы обработки.
30. Отжиг II рода. Разновидности, цель и режимы обработки.
31. Закалка. Характеристики, цель и режимы обработки. Выбор закалочной среды.

32. Способы закалки. Характеристики: закаливаемость и прокаливаемость стали.

33. Поверхностная закалка. Характеристики, способы, область применения.

34. Отпуск и искусственное старение. Характеристики, режимы, область применения.

35. Термомеханическая обработка стали.

36. Химико-термическая обработка стали. Особенности обработки, механизм модифицирования поверхностного слоя детали.

37. Цементирование стали. Разновидности, цель и режимы обработки, характеристики, область применения.

38. Азотирование стали. Цель и режимы обработки, характеристики. Область применения.

39. Диффузионная металлизация стали. Методы и режимы обработки, характеристики, область применения.

40. Высокоэнергетические методы химического модифицирования поверхностных слоев детали.

41. Алюминиевые сплавы: деформируемые, литейные и подшипниковые. Характеристики, область применения, маркировка.

42. Медные сплавы: латуни, бронзы. Разновидности, характеристики, область применения, маркировка.

43. Магний и его сплавы. Характеристики, классификация сплавов, область применения, маркировка.

44. Титан и его сплавы. Характеристики, классификация сплавов, область применения, маркировка.

45. Антифрикционные сплавы. Разновидности, характеристики, область применения, маркировка.

46. Металлокерамические инструментальные твердые сплавы. Разновидности, характеристики, область применения, маркировка.

47. Порошковые материалы. Процесс изготовления деталей из порошков. Классификация и маркировка.

48. Композиционные материалы. Признаки, состав и классификация.

49. Пластмассы. Классификация, свойства, область применения.

50. Резина: молекулярная структура, свойства, изготовление и область применения.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Р-1 2023

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____М.В. Нерода
21. 12. 2023

Регистрационный № УД-23-2-137 /уч.

Материаловедение

Учебная программа для специальностей:

6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация -Технологическое оборудование машиностроительного производства*)

6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технология машиностроения*)

6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Техническая эксплуатация автомобилей)*

6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Автосервис)*

6-05-0714-04 Технологические машины и оборудование

2023

Учебная программа составлена на основе типовой учебной программы № ТД К.421/тип. - 2016г. и учебных планов № М-106-18/уч. и М-107-18/уч. от 30.10.2018г.

СОСТАВИТЕЛЬ:
И. А. Мирошниченко, старший преподаватель кафедры машиноведения

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машиноведения

(протокол № 3 от 10.11.2023г.);
Заведующий кафедрой В.М. Голуб

Методической комиссией машиностроительного факультета

(протокол № 4 от 4.12.2023);

Председатель В.П. Горбунов

Научно-методическим советом БрГТУ
(протокол № 2 от 21.12.2023);

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины.

Особое место в подготовке специалистов по специальностям 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация -Технологическое оборудование машиностроительного производства*), 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технология машиностроения*), 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Техническая эксплуатация автомобилей),* 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Автосервис),* 6-05-0714-04 Технологические машины и оборудование отводится дисциплине «Материаловедение».

Цель преподавания дисциплины – усвоение будущими специалистами знаний о материаловедении как науке, изучающей связи между структурой и свойствами материалов, а также методами их упрочнения для наиболее эффективного использования в технике.

Задачами изучения дисциплины является приобретение следующих теоретических знаний:

– основные группы современных металлических и неметаллических материалов, их свойства и области применения.

– физическая сущность явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации, их влияние на свойства материалов.

– зависимости между составом, строением и свойствами материалов.

– технология различных способов упрочнения материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин, инструмента и других изделий.

Освоение учебной дисциплины «Материаловедение» обеспечивает формирование следующих компетенций: СК1 – Обладать базовыми теоретическими знаниями и практическими навыками, позволяющими выбирать и применять материалы в зависимости от конкретных условий работы деталей машин и оборудования; БПК4 – Подбирать конструкционные материалы определенного состава и функциональных свойств при техническом обслуживании и ремонте автомобилей; БПК4.2 – Использовать знания о взаимосвязи строения и состава металлов с их механическими свойствами, методах термообработки металлов и сплавов, способах их исследований, области применения.

В результате освоения дисциплины студенты должны знать:

– методы изучения структуры и свойств материалов;

– основы теории и практики термической, химикотермической, термомеханической обработки металлических материалов;

– современные материалы и эффективные способы их термоупрочняющей обработки;

уметь:

– использовать справочную литературу по выбору материалов, технол… их обработки, обеспечивающей необходимые показатели свойств;

– правильно определять область применения того или иного материала;

– назначать методы и режимы структуроизменяющей обработки, обеспечивающие оптимальные свойства материалов при работе деталей в определенных условиях эксплуатации.

В образовательном процессе необходимо использовать технические средства обучения, различные наглядные пособия (схемы, макеты, приборы, электронные презентации, видеофильмы), действующие нормативные акты. В целях более глубокого усвоения студентами теоретического материала предусматривается выполнение ими лабораторных работ.

В качестве основных методов обучения рекомендуется: выполнение тестовых заданий по материалам лекционного курса, выполнение и защита лабораторных работ.

Связи с другими учебными дисциплинами.

Дисциплина «Материаловедение» опирается на предварительное изучение следующих дисциплин: физики, химии, сопротивления материалов, которые предусмотрены учебным планом специальности.

Из дисциплины «химия» в материаловедении используются: основные сведения о строении атомов; типы связей в твердых телах; энергетика химических процессов; правило фаз; общая характеристика химических элементов и их соединений; теория коррозии металлов.

Из дисциплины «физика» в материаловедении используются: основы молекулярной физики и термодинамики; законы диффузии, теплопроводности и внутреннего трения; элементы физики твердого тела; элементы физики атомного ядра и элементарных частиц.

Из дисциплины «сопротивление материалов» в материаловедении используются: понятия о напряжениях при различных способах нагружения; механические свойства материалов при основных видах нагружения.

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Акалемических часов на курсовой проект (работу)	Количество часов УСР	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары			
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технологическое оборудование машинострои-*	1	2	120	3	68	52	16	–	–	–	-	Экзамен

	тельного производства)												
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация – Технология машиностроения)*	1	2	120	3	68	52	16	-	–	–	–	Экзамен
6-05-0715-07	Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация – Техническая эксплуатация автомобилей)*	1	2	108	3	50	34	16	–	–	–	–	Зачет
6-05-0715-07	Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация – Автосервис)*	1	2	108	3	50	34	16	-	-	-	-	Зачет
6-05-0714-04	Технологические машины и оборудование	2	3	110	3	50	34	16	-	-	-	-	Экзамен

План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Количество часов УСР	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары			
6-05-0715-07	Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация – Автосервис)*	1	2	108	3	12	8	4	-	-	-	-	Зачет

План учебной дисциплины для заочной сокращенной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Количество часов УСР	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары			
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация – Технология машиностроения)*	1	2	120	3	16	12	4	–	–	–	–	Экзамен

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1. Наименование разделов, тем и содержание лекционных занятий

Введение. Дисциплина, ее предмет, цели и задачи.

Материаловедение в машиностроении как научная дисциплина. Роль материаловедения в обеспечении качества продукции и экономической эффективности в машиностроении. Цель, задачи и содержание курса, его значение в подготовке инженеров. Роль отечественных ученых в развитии науки о материаловедении.

Тема 1. Строение и кристаллизация металлов

Атомно-кристаллическое строение металлов. Основные типы кристаллических решеток. Дефекты кристаллического строения и их влияние на физико-механические свойства металлов. Энергетические условия, механизм и кинетика кристаллизации металлов.

Тема 2. Деформация и механические свойства металлов и сплавов

Напряжение и деформации. Упругая и пластическая деформации. Механизмы пластической деформации. Хрупкое и вязкое разрушение. Механические свойства и методы их определения. Теоретическая и реальная прочность металлов. Пути повышения прочности металлов и сплавов. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Наклеп, возврат и рекристаллизация.

Тема 3. Железо и его сплавы

Компоненты, фазы и структурные составляющие в сплавах железа с углеродом, их характеристики, условия образования и свойства. Диаграмма состояния железо - углерод. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали. Классификация и маркировка углеродистых сталей. Автоматные стали. Чугуны: виды, микроструктура, свойства и маркировка. Факторы, способствующие графитизации.

Тема 4. Теория и технология термической обработки стали

Превращения в стали при нагреве. Образование аустенита. Превращения в стали при охлаждении. Диаграмма изотермического превращения аустенита. Мартенсит, его строение и свойства. Мартенситное превращение и его особенности. Отжиг и нормализация. Закалка стали. Закаливаемость и прокаливаемость стали. Методы определения прокаливаемости. Отпуск закаленной стали. Обработка стали холодом. Термомеханическая обработка стали.

Тема 5. Поверхностное упрочнение стальных деталей

Поверхностное упрочнение методом пластического деформирования. Поверхностная закалка, ее виды и области применения. Химико-термическая обработка стали. Физические основы химико-термической обработки. Диффу-

зионное насыщение углеродом и азотом. Диффузионное насыщение металлами и неметаллами.

Тема 6. Конструкционные легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Маркировка легированных конструкционных сталей и роль отдельных легирующих элементов. Стали цементируемые, улучшаемые, высокопрочные, пружинные, подшипниковые, износостойкие.

Тема 7. Коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные материалы

Виды коррозии, методы защиты. Коррозионностойкие стали: хромистые и хромоникелевые. Жаростойкость и методы ее повышения. Жаростойкие стали. Жаропрочность и методы ее повышения. Явление ползучести. Жаропрочные стали. Жаропрочные сплавы на железоникелевой и никелевой основах. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе.

Тема 8. Инструментальные стали

Стали для режущего инструмента: углеродистые, легированные, быстрорежущие. Требования к сталям. Стали для измерительного инструмента. Штамповые стали.

Тема 9. Алюминий, магний и их сплавы

Алюминий и его сплавы. Применение и основные свойства. Деформируемые и литейные алюминиевые сплавы. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Магний и его сплавы. Литейные и деформируемые сплавы магния. Термическая обработка магниевых сплавов.

Тема 10. Медь и ее сплавы

Медь, ее свойства и сплавы. Применение меди. Латуни деформируемые и литейные, их свойства, маркировка и применение. Бронзы деформируемые и литейные. Состав и свойства бронз, их марки и области применения.

Тема 11. Титан и его сплавы

Титан, его свойства и сплавы. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титана. Деформируемые и литейные сплавы титана, их свойства, маркировка и применение. Термическая обработка титановых сплавов.

Тема 12. Неметаллические материалы

Общие сведения о неметаллических материалах. Полимеры: молекулярная структура и свойства. Пластмассы: термопластичные и термореактивные, их свойства, состав, области применения. Резина. Формообразование деталей из резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резины.

Тема 13. Композиционные материалы

Принципы создания и основные виды композиционных материалов. Армирующие материалы и их свойства. Композиционные материалы с металлической и неметаллической основой.

Тема 14. Порошковые материалы

Порошковые материалы: свойства и способы получения. Конструкционные, специальные порошковые материалы. Области применения в машиностроении.

1.2. Перечень тем лабораторных занятий, их название

1.2.1 Методы измерения твердости конструкционных и инструментальных материалов (4 часа).

1.2.2. Определение строения металлов и сплавов методами макроскопического и микроскопического анализов (4 часа).

1.2.3. Микроструктурный анализ чугунов (2 часа).

1.2.4. Закалка и отпуск углеродистой и легированной стали (6 часов).

2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ КАРТЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ РАЗНЫХ ФОРМ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

2.1 Дневная форма получения высшего образования

Специальности: 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация -Технологическое оборудование машиностроительного производства*), 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технология машиностроения)*

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	Введение. Строение и кристаллизация металлов	2					Опрос; защита лаборат. работ; экзамен
2	Деформация и механические свойства металлов и сплавов	4			4		
3	Железо и его сплавы	6			6		
4	Теория и технология термической обработки стали	6			6		
5	Поверхностное упрочнение стальных деталей	4					
6	Конструкционные легированные стали	4					
7	Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы	4					
8	Инструментальные стали	4					
9	Алюминий, магний и их сплавы	2					
10	Медь и ее сплавы	2					

11	Титан и его сплавы	2					
12	Неметаллические материалы	4					
13	Композиционные материалы	4					
14	Порошковые материалы	4					
	Всего:	***52***			***16***		

Специальности: 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Техническая эксплуатация автомобилей),* 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Автосервис)*

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	Введение. Строение и кристаллизация металлов	2					Опрос; защита лаборат. работ; зачет
2	Деформация и механические свойства металлов и сплавов	2			4		
3	Железо и его сплавы	4			6		
4	Теория и технология термической обработки стали	4			6		
5	Поверхностное упрочнение стальных деталей	4					
6	Конструкционные легированные стали	2					
7	Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы	2					
8	Инструментальные стали	2					
9	Алюминий, магний и их сплавы	2					
10	Медь и ее сплавы	2					
11	Титан и его сплавы	2					
12	Неметаллические материалы	2					
13	Композиционные материалы	2					
14	Порошковые материалы	2					
	Всего:	***34***			***16***		

Специальность: 6-05-0714-04 Технологические машины и оборуд

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	Введение. Строение и кристаллизация металлов	2					Опрос; защита лаборат. работ; экзамен
2	Деформация и механические свойства металлов и сплавов	2			4		
3	Железо и его сплавы	4			6		
4	Теория и технология термической обработки стали	4			6		
5	Поверхностное упрочнение стальных деталей	4					
6	Конструкционные легированные стали	2					
7	Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы	2					
8	Инструментальные стали	2					
9	Алюминий, магний и их сплавы	2					
10	Медь и ее сплавы	2					
11	Титан и его сплавы	2					
12	Неметаллические материалы	2					
13	Композиционные материалы	2					
14	Порошковые материалы	2					
	Всего:	***34***			***16***		

2.2 Заочная форма получения высшего образования

Специальность 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Автосервис)*

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*

1	Введение. Строение и кристаллизация металлов	1					Опрос; защита лаборат. работ; зачет
2	Деформация и механические свойства металлов и сплавов	1			2		
3	Железо и его сплавы	1			2		
4	Теория и технология термической обработки стали	1					
5	Поверхностное упрочнение стальных деталей	1					
6	Конструкционные легированные стали	1					
7	Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы	1					
8	Инструментальные стали	1					
	Всего:	***8***			***4***		

2.3 Заочная сокращенная форма получения высшего образования

Специальность: 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технология машиностроения)*

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	Введение. Строение и кристаллизация металлов	1					Опрос; защита лаборат. работ; экзамен
2	Деформация и механические свойства металлов и сплавов	2			2		
3	Железо и его сплавы	2			2		
4	Теория и технология термической обработки стали	2					
5	Поверхностное упрочнение стальных деталей	2					
6	Конструкционные легированные стали	1					
7	Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные материалы	1					
8	Инструментальные стали	1					
	Всего:	***12***			***4***		

2.4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

На самостоятельную работу в соответствии с учебным планом отводится:

Дневная форма обучения

– для специальностей 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация -Технологическое оборудование машиностроительного производства*), 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технология машиностроения)* - 52 часа;

– для специальностей 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Техническая эксплуатация автомобилей),* 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Автосервис)* - 58 часов;

– для специальности Технологические машины и оборудование - 60 часов.

Заочная форма обучения

– для специальности 6-05-0715-07 Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов (*профилизация - Автосервис* -- 96 часаов.

Заочная сокращенная форма обучения

– для специальности 6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (*профилизация - Технология машиностроения)* - 104 часа.

Формы контроля самостоятельной работы студентов:

Текущий контроль – опрос на лабораторных занятиях, выполнение индивидуальных заданий.

Итоговый контроль – зачет, экзамен.

3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Основная литература

1. Бондаренко Г.Г. Материаловедение: учеб. /Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко – М.: Высш. шк., 2007.
2. Материаловедение: учеб. /Под ред. Соломенцева Ю.М. – М.: Высшая школа, 2005.
3. Материаловедение: учеб. /Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
4. Солнцев Ю.П. Материаловедение: учеб. /Ю. П. Солнцев, С. А. Вологжанина – М.: Академия, 2007.

3.2. Дополнительная литература

5. Богодухов С.И. и др. Курс материаловедения в вопросах и ответах: учеб. пос. – М.: Машиностроение, 2003.
6. Колесник П.А. Материаловедение на автомобильном транспорте: учеб. /П. А. Колесник, В. С. Кланица – М.: Академия, 2007.
7. Материаловедение и технология металлов: учеб. /Под ред. Фетисова Г.П. – М.: Высш. шк., 2008.
8. Ржевская С. В. Материаловедение: учеб. – М.: Моск. гос. гор. унив., 2005.
9. Рогов В.А. Современные машиностроительные материалы и заготовки: /В. А. Рогов, Г. Г. Позняк – М.: Академия, 2008.

42. Медные сплавы: латуни, бронзы. Разновидности, характеристики, область применения, маркировка.
43. Магний и его сплавы. Характеристики, классификация сплавов, область применения, маркировка.
44. Титан и его сплавы. Характеристики, классификация сплавов, область применения, маркировка.
45. Антифрикционные сплавы. Разновидности, характеристики, область применения, маркировка.
46. Металлокерамические инструментальные твердые сплавы. Разновидности, характеристики, область применения, маркировка.
47. Порошковые материалы. Процесс изготовления деталей из порошков. Классификация и маркировка.
48. Композиционные материалы. Признаки, состав и классификация.
49. Пластмассы. Классификация, свойства, область применения.
50. Резина: молекулярная структура, свойства, изготовление и область применения.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)[1]
Детали машин	МиЭА	Нет Зав. кафедрой МЭА _____ С.В.Монтик	Рекомендовать к утверждению (протокол №3 от 10.11.2023) Зав. кафедрой машиноведения _____ В.М.Голуб
Технология конструкционных материалов	Машиноведения	Нет Зав. кафедрой машиноведения _____ В.М.Голуб	

Содержание учебной программы
согласовано с выпускающей кафедрой

Заведующий кафедрой машиноведения,
кандидат технических наук, доцент _____ В.М.Голуб

10. Черепахин А.А. Материаловедение: учеб. – М.: Академия, 2004.

ПЕРЕЧЕНЬ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. Устный опрос во время лабораторных занятий;
2. Защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
3. Собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
4. Письменный экзамен (зачет)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе студентов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденного ректором БрГТУ №56 от 01.06 .2020:

- самостоятельное изучение разделов лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 3 настоящей программы;
- самостоятельная подготовка к выполнению лабораторных работ по методическим указаниям, разработанным на кафедре машиноведения и указанным в разделе 3 настоящей программы;
- самостоятельная подготовка к экзамену.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Атомно-кристаллическое строение металлов. Виды кристаллических решеток.
2. Свойства кристаллов.
3. Процесс кристаллизации. Дефекты в кристаллах.
5. Основные характеристики прочности, определяемые при статическом нагружении.
4. Динамическая прочность, явление запаздывания текучести, ударная вязкость материалов.
5. Усталость материалов, характеристики.
6. Длительная прочность, явление ползучести материалов, характеристики.
7. Твердость материалов. Методы измерения твердости.
8. Износостойкость и прирабатываемость материалов, их характеристики.
9. Сопротивление материалов коррозии, виды коррозии, характеристики, методы защиты.
10. Температурные характеристики материалов.
11. Электрические и магнитные свойства материалов.
12. Классификация конструкционных сталей.
13. Углеродистые конструкционные стали.
14. Легированные цементируемые стали.
15. Легированные улучшаемые стали.
16. Высокопрочные стали и сплавы.
17. Пружинные стали.
18. Износостойкие и коррозионно-стойкие стали.
19. Жаростойкие и жаропрочные стали.
20. Инструментальные стали: для режущего, ОМД, мерительного инструмента.
21. Серый и белый чугуны. Химический состав, структура, маркировка и область применения.
22. Высокопрочный чугун. Химический состав, структура, маркировка и область применения.
23. Ковкий чугун. Химический состав, структура, маркировка и область применения.
24. Легированные чугуны. Разновидности, характеристики, маркировка и область применения.
25. Свойства железа и фаз в сплаве железо-углерод.
26. Зависимость свойств стали и чугуна от содержания в них углерода и постоянных примесей.
27. Влияние легирования на свойства сталей и чугунов.
28. Влияние термообработки на механические свойства стали, превращения в сталях при термообработке.
29. Термообработка сталей: отжиг I рода. Разновидности, цель и режимы обработки.
30. Отжиг II рода. Разновидности, цель и режимы обработки.
31. Закалка. Характеристики, цель и режимы обработки. Выбор закалочной среды.
32. Способы закалки. Характеристики: закаливаемость и прокаливаемость стали.
33. Поверхностная закалка. Характеристики, способы, область применения.
34. Отпуск и искусственное старение. Характеристики, режимы, область применения.
35. Термомеханическая обработка стали.
36. Химико-термическая обработка стали. Особенности обработки, механизм модифицирования поверхностного слоя детали.
37. Цементирование стали. Разновидности, цель и режимы обработки, характеристики, область применения.
38. Азотирование стали. Цель и режимы обработки, характеристики. Область применения.
39. Диффузионная металлизация стали. Методы и режимы обработки, характеристики, область применения.
40. Высокоэнергетические методы химического модифицирования поверхностных слоев детали.
41. Алюминиевые сплавы: деформируемые, литейные и подшипниковые. Характеристики, область применения, маркировка.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
По учебной дисциплине «Материаловедение»
Регистрационный № УД-23-2-137/уч. от 21.12.2023
для специальностей 6-05-0714-02, 6-05-0715-07
на 2023/2024 учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание
1	При изучении разделов курса во втором семестре предусмотрена промежуточная аттестация в виде письменного экзамена для специальности 6-05-0714-02 и в виде письменного зачета для специальности 6-05-0715-07. Текущая (внутрисеместровая) аттестация предусмотрена в форме экспресс-опроса по темам 1-7. К промежуточной аттестации (зачет) допускаются студенты, получившие по результатам текущей аттестации положительные оценки. Промежуточная аттестация проводится в письменном виде и включает вопросы по темам 8 – 14. Результаты текущей аттестации учитываются при проведении промежуточной аттестации по учебной дисциплине	Положение о текущей аттестации студентов БрГТУ №5/1 от 8.02.2024г.

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры машиноведения (протокол №6 от 09.02.2024)

Заведующий кафедрой,
Кандидат технических наук, доцент подпись Голуб В.М.

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
кандидат технических наук, доцент подпись Онысько С.Р.

Углеродистые стали разделяются на низкоуглеродистые (до 0,25 % С), среднеуглеродистые (0,3...0,6 % С) и высокоуглеродистые (более 0,6 % С). Легированные стали по содержанию легирующих элементов делятся на низколегированные (до 2,5 %), среднелегированные (2,5...10 %) и высоколегированные (более 10 %). Процентное содержание элементов в стали примерно следующее: Fe – до 99,0; C – 0,05 – 2,0; Si – 0,15 – 0,35; Mn – 0,3 – 0,8; S – до 0,06, P – до 0,07.

По качеству стали классифицируют **на обыкновенного качества, качественные, высококачественные**. Под качеством стали понимается совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Нормы содержания вредных примесей служат основными показателями для разделения сталей по качеству. Стали обыкновенного качества содержат до 0,06 % S и 0,07 %P, качественные - не более 0,04 % S и 0,035 % P, высококачественные – не более 0,025 % S и 0,025 %P.

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на **спокойные, полуспокойные и кипящие**. В их составе разное содержание кремния: спокойные – 0,12 – 0,30, полуспокойные - 0,05 – 0,17, кипящие – менее 0,07 %.

По структуре в равновесном состоянии стали делятся на: 1) **доэвтектоидные**, имеющие в структуре феррит и перлит; 2) **эвтектоидные**, структура которых состоит из перлита; 3) **заэвтектоидные**, имеющие в структуре перлит и цементит вторичный.

По назначению стали классифицируют на **конструкционные и инструментальные**. Конструкционные стали предназначены для изготовления строительных сооружений, деталей машин и приборов. К этим сталям относят цементуемые, улучшаемые, высокопрочные и рессорно-пружинные. Инструментальные стали, подразделяют на стали для режущего, измерительного инструмента, штампов холодного и горячего (до 200º С) деформирования.

Маркировка углеродистых сталей и их применение.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-90) выпускаются в виде проката (прутки, балки, листы, уголки, швеллеры и т.п.) в нормализованном состоянии **и в зависимости от назначения и комплекса свойств подразделяются на группы: А, Б, В.**

Стали маркируются сочетанием букв Ст и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки (чем больше условный номер стали, тем больше содержание углерода и перлита в ней и тем выше ее прочность и ниже пластичность**). Стали групп Б и В имеют перед маркой буквы Б и В, указывающие на их принадлежность к этим группам.**

Группа А в обозначении марки стали не указывается. Степень раскисления обозначается индексами: в спокойных сталях – «сп», полуспокойных – «пс», кипящих – «кп», а категория нормируемых свойств (кроме категории 1) указывается последующей цифрой, **например Ст3кп, БСт3пс или ВСт3сп5 (в конце 5-я категория).** Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют.

Стали группы А поставляются с гарантированными механическими свойствами, без указания химического состава. Стали группы А используют в состоянии поставки для изделий, изготовление которых не сопровождается горячей обработкой. В этом случае они сохраняют структуру нормализации и механические свойства.

Стали группы Б поставляют с гарантированным химическим составом, но механические свойства не гарантируются. Стали этой группы применяют для изделий, изготавливаемых с применением горячей обработки, при которой исходная структура и механические свойства не сохраняются. Для таких сталей важны сведения о химическом составе, необходимые для определения режима горячей обработки.

Стали группы В поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Стали группы В применяют для ответственных деталей (для производства сварных конструкций).

Углеродистые стали обыкновенного качества широко используются в строительстве при изготовлении железобетонных конструкций. Способностью к свариванию и холодной обработке давлением отвечают стали групп Б и В номеров 1 – 4, поэтому из них изготавливают сварные фермы, различные рамы и строительные металлоконструкции, кроме того, крепежные изделия, часть из которых подвергают цементации.

Среднеуглеродистые стали номеров 5 и 6, обладающие большой прочностью, предназначаются для рельсов, железнодорожных колес, а также валов, шкивов, шестерен и других деталей грузоподъемных и сельскохозяйственных машин.

Углеродистые качественные стали, поставляемые по ГОСТ 1050-88. содержание серы и фосфора в них допускается в пределах 0,03 – 0,04 % каждого из элементов. **Маркируются эти стали двузначными цифрами 05, 08, 10, 15, 20, …, 75, 80, 85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.**

К углеродистым сталям относятся так же стали с повышенным содержанием марганца (0,7 – 1,0 %) марок 15Г, 20Г, …, 70Г, имеющих повышенную прокаливаемость (до 25-30мм).

Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие – с индексом соответственно «пс» и «кп». Низкоуглеродистые стали 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп отличаются малой прочностью и высокой пластичностью в холодном состоянии. Они легко штампуются из-за малого содержания углерода и незначительного количества кремния, что их делает очень мягкими. Их используют в автомобилестроении для изготовления деталей сложной формы.

Спокойные стали 08, 10 применяют в отожженном состоянии для конструкций невысокой прочности – емкости, трубы и т.д.

Стали марок 10, 15, 20 отличаются высокой пластичностью, хорошо свариваются, куются, штампуются. Они подвергаются цементации. Прочность этих сталей недостаточна высока. Из них делают мелкие детали простой формы: оси, валики, шпильки, гайки, втулки, трубы.

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50 и аналогичные стали с повышенным содержанием марганца 30Г, 40Г и 50Г в нормализованном состоянии отличаются повышенной прочностью, но соответственно меньшей вязкостью и пластичностью. В зависимости от условий работы деталей из этих сталей к ним применяют различные виды термической обработки: нормализацию, улучшение, закалку с низким отпуском, закалку ТВЧ и др. Эти стали применяют для изготовления небольших валов, шатунов, зубчатых колес и деталей, испытывающих циклические нагрузки.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75, 80 и 85, а также с повышенным содержанием марганца 60Г, 65Г и 70Г в основном используют для изготовления пружин, рессор, высокопрочной проволоки и других изделий с высокой упругостью и износостойкостью.

Если сталь позволяет получать заготовки литьем - буква Л в марке стали.

Автоматные стали хорошо обрабатываються резанием, что достигается за счет повышенного содержания в стали серы (до 0,30 %) и фосфора (до 0,15 %), а также за счет добавок свинца (0,15…0,30 %) или селена, в количестве до 0,1 %. Сера и фосфор облегчают процесс резания благодаря измельчению стружки, свинец и селен - за счет эффекта внутренней смазки, снижающего коэффициент трения в паре заготовка - инструмент. Роль внутренней смазки выполняют сами элементы, которые из-за крайне низкой растворимости в железе находятся в стали практически в свободном состоянии в виде включений. **Автоматные стали маркируют буквой А (автоматная), за которой следует двузначное число, указывающее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы С и Е в обозначении стали указывают на наличие в ее составе, соответственно, свинца и селена. Марки автоматных сталей: А12, А20, А30, АС40, АС14, АС20ХГНМ и др**

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,65-1,32% углерода. Изготавливают мелкий инструмент (свёрла, метчики, пилы, напильники). Например, стали марок У7, У7А, У13, У13А. Буква У показывает, что сталь углеродистая, а цифра после неё – количество углерода в десятых долях %. К данной группе, помимо нелегированных углеродистых инструментальных сталей, условно относят также стали с небольшим содержанием легирующих элементов, которые не сильно отличаются от углеродистых.

Инструментальные стали для измерительных инструментов (плиток, калибров, шаблонов) помимо твердости и износостойкости должны сохранять постоянство размеров и хорошо шлифоваться. Обычно **применяют стали У8...У12.**

Чугуны

Чугун – сплав железа с углеродом, содержание последнего свыше 2,14 %. Сплав отличается пониженной температурой плавления и хорошими литейными свойствами, что позволяет получить отливки более сложной формы, чем из сталей.

Чугуны классифицируются:

· по цвету излома изделия на белые и серые;

· по структуре – на феррито-перлитные, ледебуритные;

· по форме и размерам графита – серые с пластинчатым графитом, высокопрочные, ковкие.

Белый чугун. **Углерод** в этом чугуне находится в связанном состоянии **в виде цементита Fe_3C**, который придает излому изделия матово-белый цвет. Эти чугуны в зависимости от содержания углерода могут быть доэвтектическими (перлит+ледебурит), эвтектическими (ледебурит) и заэвтектическими (первичный цементит+ледебурит). Белые чугуны отличаются высокой твердостью (НВ 450–500) и хрупкостью, поэтому **для изготовления деталей машин не применяются** и в основном служат для получения ковкого чугуна (графитизирующим отжигом).

В промышленности используется отбеленный чугун (половинчатый). Отливки из отбеленного чугуна имеют поверхностный слой (12–25 мм) со структурой цементита, а сердцевиной серого чугуна. Высокая твердость поверхности обеспечивает износостойкость изделия и применяется для изготовления валков листопрокатных станов, тормозных колодок и др.

Серый чугун. В серых чугунах **углерод находится в свободном состоянии в виде графита**, который и придает излому изделия серый цвет. Графит по сравнению с металлической основой сплава обладает низкими механическими свойствами, отсюда можно считать, что места, которые он занимает – это трещины. Чем более грубы (крупные **пластины**) включения графита, тем ниже механические характеристики чугуна.

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида:

1. перлит + графит;
2. феррит + перлит + графит;
3. феррит + графит.

Маркировка серого чугуна состоит из букв «СЧ» (серый чугун) и цифры, показывающей значение временного сопротивления при растяжении. Например, СЧ15 – серый чугун с пластинчатым графитом, предел прочности при растяжении $\sigma_в$=150 МПа

В высокопрочных чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графита, имеющего *шаровидную форму*. Чугуны с шаровидным графитом имеют более высокую прочность и при этом некоторую пластичность. По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным, феррито-перлитным или перлитным.

Маркировка высокопрочного чугуна – ВЧ (высокопрочный чугун) и цифрами: первые две цифры – предел прочности при растяжении: вторые – удлинение в процентах. Например: ВЧ50–7 $\sigma_в$ = 500 МПа, δ = 7 %.

Высокопрочные чугуны применяют для массивных отливок, обладающих высокой усталостной прочностью, при оборудовании прокатных станов, распределительных валов автомобилей и др.

Ковкий чугун. Ковкими называют чугуны, в которых **графит имеет хлопьевидную форму**. Этот сплав по сравнению с серым чугуном обладает более высокой прочностью, это связано с меньшим влиянием хлопьевидной формы графита на механические свойства металлической основы. По структуре ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными.

Ковкий чугун маркируется буквами КЧ и цифрами: первые две указывают предел прочности при растяжении; вторые – относительное удлинение (в %). Например, КЧ 37–12 – ковкий чугун, $\sigma_в$ = 370 МПа, δ = 12 %. Из ковкого чугуна изготавливают детали, работающие при вибрационных нагрузках, картеры редукторов, ступицы, колеса и др.

Легированные чугуны.

Обозначение марок легированных чугунов состоит из букв, указывающих, какие легирующие элементы входят в состав чугуна и стоящих за каждой буквой цифр, характеризующих среднее содержание в процентах данного легирующего элемента; при содержании легирующего элемента *менее одного* процента цифра не ставится. Например: ЧН19ХЗ – легированный чугун, содержащий примерно 19 % никеля и 3 % хрома. Если в легированном чугуне регламентирована шаровидная форма графита, в конце марки добавляется буква Ш (ЧН19ХЗШ).

Износостойкие чугуны (ЧХ9Н5, ЧХ16М2, ЧХ28Д2 и др.) применяются при изготовлении тормозных барабанов, дисков сцепления, гильз цилиндров и др.

Жаростойкие чугуны (ЧХ2, ЧЮХШ, ЧЮ7Х2, ЧЮ30) применяют при изготовлении роликов прокатных станов, турбокомпрессоров, деталей печного оборудования и др.

Жаропрочные чугуны (ЧНМШ, ЧН11Г7Х2Ш, ЧН14Х2Д7) применяют для изготовления деталей дизелей, газовых турбин и др.

Коррозионно-стойкие чугуны (ЧХНМД, ЧН2Х, ЧХ28, **ЧС13, ЧС17**) применяют для изготовления поршневых колец, деталей дизелей, компрессоров, химического оборудования и др.

АЧ – антифрикционный чугун используется ы по ГОСТ 1585-85. Они предназначены для изготовления деталей, работающих в узлах трения со смазкой. Стандарт определяет марки антифрикционных чугунов, их химический состав, характеристики, назначение, форму, размер и распределение графита, дисперсность перлита, характер распределения фосфидной эвтектики, твердость и предельные режимы эксплуатации деталей из этих чугунов. Основой их является железо, постоянные компоненты, %: 2,2-4,3 C; 0,5-4,0 Si; 0,3-12,5 Mn. Допускаются примеси, % : 0,1-1 P; 0,03-0,2 S.

АЧС-5 Аустенитный чугун, легированный марганцем (7,5—12,5 %) и алюминием (0,4-0,8%); из этого чугуна изготавливают детали, работающие в особо нагруженных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом

АЧС-6 Перлитный пористый чугун, легированный свинцом (0,5-1,0%) и фосфором (0,5-1,0%); рекомендуется для производства деталей, работающих в узлах трения с температурой до 300 ˚ С в паре с "сырым" валом

АЧВ-1 Перлитный чугун с шаровидным графитом; детали из такого чугуна могут работать в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом

АЧВ-2 Перлитно-ферритный чугун с шаровидным графитом; изготовленные из этого чугуна детали хорошо работают в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с "сырым" валом

АЧК-1 Перлитный чугун с хлопьевидным графитом, легированный медью (1,0-1,5%); предназначен для изготовления деталей, работающих в паре с термически обработанным валом

Элемент	Химич. символ	черные	цветные
Азот	N	А	-
Алюминий	A1	Ю	А
Барий	Ba	-	Бр
Бериллии	Be	Л	
Бор	B	Р	-
Ванадии	V	Ф	Вам
Висмут	Bi	Ви	Ви
Вольфрам	W	В	-
Германий	Ge	-	Г
Железо	Fe	-	Ж
Золото	Au	-	Зл
Индий	In	-	Ин
Кадмий	Cd	Кд	Кд
Кобальт	Co	К	К
Кремний	Si	С	Кр(К)
Литий	Li	-	Лэ
Магний	Mg	Ш	Мг
Марганец	Mn	Г	Мц(Мр)
Медь	Cu	Д	М
Молибден	Mo	М	-
Никель	Ni	Н	Н
Ниобий	Nb	Б	Нп
Олово	Sn	-	О
Осмий	Os	-	Ос
Палладий	Pd	-	Пд
Платина	Pt	-	Пл
Родий	Rh	-	Rg
Ртуть	Hg	-	Р
Свинец	Pb	-	С
Селен	Se	К	СТ
Серебро	Ag	-	Ср
Скандий	Sc		Скм
Сурьма	Sb	-	Сv
Таллий	Tl	-	Тл
Тантал	Ta	-	ТТ
Теллур	Te	-	Т
Титан	Ti	Т	ТПД
Углерод	C	У	-
Фосфор	P	П	Ф
Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Церий	Ce		Се
Цинк	Zn	-	Ц
Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ