

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий

Е.В. Братковский, В.Н. Дорош

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

для студентов направлений подготовки бакалавров:
150400 «Металлургия».
Для всех форм обучения

Новотроицк 2014

Рецензенты:

Профессор кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» к.т.н. **Румянцев М.И.**

Заведующий кафедрой теплотехники и теплоэнергетики ОГТИ ОГУ доцент, канд. физ.- мат. Наук **Гюнтер Д.А.**

Е.В. Братковский, В.Н. Дорош, Материаловедение: Лабораторный практикум для студентов обучающихся по направлению подготовки бакалавров 150400 «Металлургия» всех форм обучения. – Новотроицк, НФ НИТУ «МИСиС», 2014 – 62 с.

Лабораторный практикум по дисциплине «Материаловедение» предназначен для изучения процессов кристаллизации, методики металлографического анализа, определения и классификации структур углеродистых, легированных сталей, чугунов и цветных сплавов.

Рассмотрены методики проведения лабораторных работ, теоретические основы изучаемых вопросов, приведены требования к оформлению отчетов и вопросы для самопроверки

Лабораторный практикум соответствует государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавров 150400 – «Металлургия».

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»

© ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Новотроицкий филиал
2014

© Братковский Е.В., Дорош В.Н.,
2014

Содержание

Введение.....	4
Правила техники безопасности.....	5
Лабораторная работа 1. Изучение процесса кристаллизации.....	6
Лабораторная работа 2. Металлографический анализ металлов и сплавов....	16
Лабораторная работа 3. Изучение структуры стали.....	19
Лабораторная работа 4. Изучение структуры чугунов.....	23
Лабораторная работа 5. Определение твердости материалов	27
Лабораторная работа 6. Легированные конструкционные стали.....	31
Лабораторная работа 7. Инструментальные стали.....	37
Лабораторная работа 8. Стали с особыми свойствами.....	41
Лабораторная работа 9. Выбор режимов термической обработки.....	44
Лабораторная работа 10. Анализ микроструктур после термической обработки	51
Лабораторная работа 11. Анализ микроструктур цветных металлов.....	54
Библиографический список.....	59

Введение

Основная задача курса «Материаловедение» заключается в изучении всего комплекса свойств металлов и сплавов в зависимости от их физического строения и структуры, а также влияния всех факторов на структуру и свойства.

Свойства конструкционных материалов и процессы, протекающие в них в значительной степени определяются реальной структурой, дефектностью реальной структуры, процессами кристаллизации, определяющие форму зерна и волокнистое и дислокационное строение реальных сплавов.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Материаловедение» и состоит из 11 работ, охватывающих основные разделы курса. Целью лабораторного практикума является практическое изучение основных свойств конструкционных материалов и способов обеспечения технологических и конструктивных требований к, используемым в промышленности и приобрести компетенции ПК-1, ПК-4, ПК-12 .

В результате выполнения лабораторных работ студент приобретает знания по методам определения основных свойств материалов, о зависимости служебных характеристик конструкционных материалов от химического состава, микро и макроструктуры и способов обработки. В ходе выполнения работ студент приобретает навыки проведения и обработки результата эксперимента, устанавливает связь между теоретическими положениями изучаемого предмета и их практической реализацией.

В каждой работе даны основные сведения из теории данной темы, порядок выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы. В конце практикума приведен рекомендуемый библиографический список.

Правила техники безопасности

В металлографической лаборатории НФ НИТУ МИСиС находится следующее оборудование: лабораторная печь СНОЛ, твердомер ТШ-2, металлографические микроскопы, станок для полировки шлифов. Студенты к выполнению лабораторных работ допускаются только при наличии спецодежды (халаты, рукавицы). Студентам категорически запрещается включать механическое и нагревательное оборудование (это делает лаборант или учебный мастер). Работы выполняются бригадами студентов. В целях экономии времени персоналом лаборатории могут быть выполнены вспомогательные операции (подготовка исходных материалов, реактивов, разогрев нагревательных печей). После вводной беседы преподаватель знакомит студентов с правилами техники безопасности, что фиксируется в специальном журнале. Студенты, не усвоившие правила техники безопасности, к выполнению работ не допускаются.

Порядок выполнения, оформления и защиты лабораторных работ

Приступая к выполнению работы, студент должен изучить ее описание и составить конспект, содержащий цель работы, теоретическое введение, схемы лабораторных установок, технологические параметры основных процессов.

На первом лабораторном занятии преподаватель должен ознакомить студентов с задачами лабораторного практикума, требованиями к отчетам, правилами внутреннего распорядка лаборатории. В ряде случаев преподаватель должен напомнить студентам некоторые теоретические сведения, непосредственно относящиеся к той или иной работе, либо организовать показ тех или иных операций.

В начале каждого лабораторного занятия студенты должны защитить отчет по предыдущей работе и получить допуск к выполнению следующей.

После окончания работы студенты наводят порядок на рабочем месте и сдают его лаборанту; предъявляют преподавателю на подпись таблицы с результатами опытов.

По каждой лабораторной работе оформляется отчет, который, кроме составленного ранее конспекта, включает в себя результаты измерений, расчетов и выводы. Отчет должен быть оформлен в соответствии с СМК-О-СТО-03-09 «Лабораторная работа: Общие требования».

Лабораторная работа 1. Изучение процесса кристаллизации

1 Цель работы

1 Изучить процесс кристаллизации по фотографиям макроструктур, полученных из расплава при различных условиях кристаллизации.

2 Научиться определять зоны кристаллизации и характерные дефекты структуры литой стали.

2 Теоретическое введение

Кристаллическое строение металлов и металлических сплавов. Металлы обладают ярко выраженными специфическими свойствами: высокой электро и теплопроводностью, металлическим блеском, высокой ковкостью и т.д. Эти специфические свойства обусловлены атомным строением и типом связи между атомами.

Типичной особенностью атомного строения металлов является наличие малого количества валентных электронов на внешней электронной оболочке. Валентные электроны слабо связаны с ядром, поэтому под воздействием внешних сил, при затрате сравнительно небольшой энергии они могут покинуть свои орбиты. У большинства элементов заполнение новой квантовой оболочки начинается после полного заполнения предыдущей квантовой оболочки, но в периодической таблице имеется группа элементов у которых на наружной квантовой оболочке имеется 1-2 электрона при не полностью заполненной электронами внутренней квантовой оболочке. Такие элементы называются переходными металлами. К ним относятся Fe, Ni, Co, W, Mo, Cr и др. Их свойства: парамагнетизм, ферромагнетизм - способность образовывать соединения с углеродом (карбиды), азотом (нитриды) и другие зависят от степени заполнения электронами внутренних квантовых оболочек.

Типы межатомных связей. В зависимости от характера строения валентных электронных оболочек, имеются четыре типа связи между атомами: ионная (гетерополярная), ковалентная (гомеополярная), полярная (связь Ван Дер Ваальса) и металлическая.

Металлический тип связи осуществляется между атомами в металлах и расплавах, когда число валентных электронов в атоме мало. В этом случае свободных электронных оболочек имеется значительно больше, чем атомов для их заполнения. Поэтому, при перекрытии внешних электронных оболочек электроны отрываются от своих атомов и свободно перемещаются в разных направлениях по незанятым электронным оболочкам между положительно ионизированными атомами (ионами), образуя вокруг них свободный, так называемый, электронный газ. Между положительными ионами и свободным электронным газом возникают силы статического притяжения, которые и обуславливают металлический тип связи между атомами.

В отличие от других межатомных связей, металлический тип характеризуется отсутствием направленных сил связи между атомами (рисунок 1.1).

Поэтому смещение атомов друг относительно друга под действием внешних сил не приводит к уничтожению межатомных сил связи, так как наличие свободного электронного газа обеспечивает межатомную связь и в новом положении атомов. Следовательно, отсутствием направленных связей между атомами объясняется высокая пластичность металлов и металлических сплавов.

При наличии направленных сил связей смещения атомов друг относительно друга под действием внешних сил приводит к уничтожению связи между атомами, т.е. к разрушению без пластической деформации.

Наличие свободных электронов и электронных оболочек обуславливает также высокую электро и теплопроводность металлов и металлических сплавов.

Высокая теплопроводность металлов т. е. способность передавать тепловую энергию от одной точки тела к другой, при наличии разности температур, объясняется также

наличием свободных электронов. Тепловая энергия, получаемая внешним слоем атомов от нагревателя, может передаваться от одного слоя атомов к другому как с помощью тепловых колебаний ионов, вследствие чего возрастает их кинетическая энергия так и свободными электронами, которые перемещаясь от нагреваемой поверхности к холодной, способствуют быстрой передаче тепловой энергии. В металлах основную роль в теплопередаче играют свободные электроны.

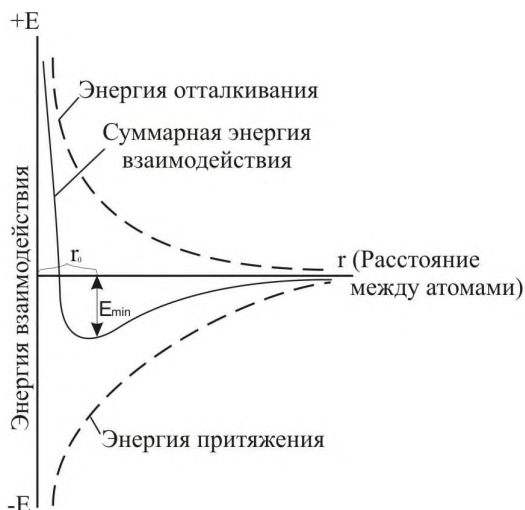
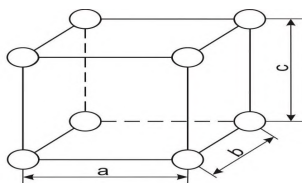


Рисунок 1.1 - Изменение энергии взаимодействия между атомами в зависимости от расстояния между ними

Основные типы кристаллических решеток и их характеристики. Все металлы и металлические сплавы являются кристаллическими телами. В отличие от аморфных тел в кристаллическом теле атомы (точнее положительные ионы) располагаются в строго определенном порядке и в пространстве образуют кристаллическую решетку. Атомы в кристаллической решетке стремятся расположиться по возможности плотнее (ближе) друг к другу. Каждый атом в кристаллической решетке находится в одинаковом окружении т.е. имеет вокруг себя одинаковое количество атомов, находящихся на равном расстоянии.

Металлический тип связи, отсутствие направленных связей между атомами и возможность каждого атома в кристаллической решетке находится в тесном контакте со всеми окружающими ближайшими соседними атомами, позволяет у металлов получить наиболее плотное расположение атомов в кристаллической решетке. Переход электронов от одного атома к другому осуществляется тем легче, чем плотнее атомы прилегают друг к другу.

Металлический тип связи обуславливает появление сил, удерживающих атомы в узлах кристаллической решетки на определенном расстоянии друг от друга. Эти силы складываются из сил притяжения и сил отталкивания. Равновесному состоянию соответствует такое состояние, когда суммарная энергия взаимодействия сил отталкивания и притяжения является минимальной (рисунок 1.1) этом случае расстояние между атомами (ионами) равно r_0 , атомы располагаются равномерно, образуя правильную кристаллическую решетку.



a, b, c- параметры решетки.

Рисунок 1.2 - Элементарная ячейка кубической решетки

Наиболее простой и распространенной среди металлов, является кубическая система, при которой элементарная ячейка представляет собой куб (рисунок 1.2) Под элементарной кристаллической ячейкой (решеткой) понимается комплекс атомов, который при своем многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решетку.

Строение и свойства кристаллических решеток характеризуются следующими параметрами:

1 Периодом (параметром) решетки называется расстояние между центрами соседних атомов, находящихся в узлах кристаллической решетки. Период решетки измеряется в ангстремах (\AA , $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{м}$).

2 Координационное число показывает сколько атомов находится на наиболее близком расстоянии от любого выбранного атома. Координационное число характеризует взаимную связь атомов друг с другом.

3 Базисом кристаллической решетки является – число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку. Базис характеризует плотность решетки.

В каждой ячейке, кроме объема занимаемого атомами, остается свободное место («пустота»). Отношение объема занимаемого атомами ко всему объему решетки называется коэффициентом компактности. Чем больше коэффициент компактности, тем плотнее расположены атомы в решетке, тем легче осуществляется связь между атомами в решетке, тем легче осуществляется переход валентных электронов от одного атома к другому.

Металлы кристаллизуются с образованием следующих элементарных кристаллических решеток.

1 Кубическая объемноцентрированная решетка (рисунок 1.3) с координационным числом 8 и базисом равным 2 атомам. В ней каждый атом, находящийся в вершине куба и принадлежит одновременно 8 ячейкам.

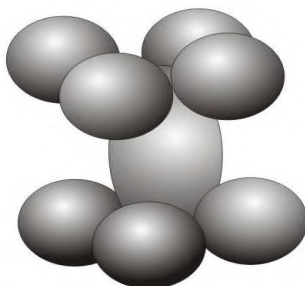


Рисунок 1.3 – Объемноцентрированная кубическая решетка

Таких атомов в кубе 8. Атом, находящийся внутри кристаллической решетки принадлежит только одной элементарной ячейке. Таким образом только $1/8 \times 8 + 1 = 2$ атома приходятся на каждую элементарную объемноцентрированную решетку. Кубические решетки определяются одним периодом - длиной ребра куба a , которая колеблется от 2,68 до 6,07 \AA . Наименьшее расстояние d между атомами, выраженное через период решетки a . Коэффициент компактности 0,68 или 68%. Кубическая ОЦК решетка сокращенно обозначается индексом K8. Данную решетку имеют следующие металлы: Fe $_{\alpha}$, Cr, Ti $_{\beta}$, W, Mo и др.

2 Кубическая гранецентрированная решетка, с координационным числом 12 и базисом равным 4. Коэффициент компактности 0,74 или 74%. Кубическая ГЦК решетка сокращенно обозначается индексом K12. Данной решеткой обладают следующие металлы: Fe $_{\gamma}$, Cu, Al, Ni, Au, Co $_{\beta}$ и др.

3 Гексагональная плотноупакованная решетка, которую определяют два периода a и c , Период a колеблется от 2,28 до 3,98 \AA ; период c от 3,57 до 6,52 \AA . Гексагональная решетка характеризуется отношением периодов решетки c/a . Если это отношение равно или близко к 1,633 то получим гексагональную плотноупакованную решетку с координационным числом 12 и базисом равным 6 атомам. Коэффициент компактности 0,74 или 74%. Решетка

сокращенно обозначается индексом K12. Данную решетку имеют следующие металлы: Ti_{α} , Co_{α} , Cd , Zr и др.

4 Тетрагональная решетка характеризуется тем, что ребро a не равно ребру c . Отношение периода решетки называется степенью тетрагональности. Тетрагональная решетка может быть простой, а может быть и объемноцентрированной. Решетку Т8 имеют закаленная сталь (мартенсит) Sn_{β} , и др.

5 Более сложные решетки имеют Sb , Bi , As и некоторые другие металлы.

Анизотропия и изотропия кристаллических тел. Правильное расположение атомов в монокристаллах обуславливает неодинаковую плотность заполнения атомами различных кристаллографических плоскостей и направлений. Многие свойства зависят от того, насколько плотно располагаются атомы в направлении, вдоль которого ведется измерение. Количественная индексация плоскостей определяет расположение плоскостей и направлений в кристалле. Для вывода индексов кристаллографических плоскостей, элементарная ячейка вписывается в систему координат.

Для кубической системы выбирают три оси координат x , y , z , параллельные ребрам кристаллической ячейки.

Для гексагональной выбирают четыре оси x , y , v и z , одна из которых (z), перпендикулярна базисной плоскости, а три остальные лежат в базисной плоскости под углом 120° одна к другой.

В аморфных телах свойства не зависят от направления, такие тела называются изотропными.

Кристаллические тела анизотропные, т.е. их свойства (физические, химические, механические) зависят от кристаллографического направления, то есть от плотности заполнения атомами той или иной кристаллографической плоскости и характера взаимного расположения атомов в этих плоскостях. Все кристаллы анизотропны. Анизотропия свойств является характерной особенностью любого монокристалла. Для чистой меди в различных кристаллографических направлениях предел прочности изменяется от 140 до 360 МПа, а относительное удлинение от 10 до 50 %.

Реальные металлы и сплавы состоят из различного числа кристаллов, различно ориентированных в пространстве. Такое тело называется поликристаллическим. Кристаллы поликристаллических тел, имеющие неправильную форму, носят название зерен или кристаллитов. Структура отдельных зерен поликристалла не идеальна. Реальные зерна имеют блочное строение. Блок представляет собой элементарную частичку кристаллита и имеет правильное кристаллическое строение. Размеры блока имеют от микрометра до сотых долей микрометра. На границах блоков образуется область с неправильным положением атомов, называемая малоугловой границей и соседние блоки мало различаются между собой по кристаллографическим направлениям.

Также реальные кристаллы обладают структурными несовершенствами, отклонениями от правильного геометрического строения.

Все несовершенства строения кристаллических тел подразделяются на три группы: точечные, линейные и объемные.

К точечным несовершенствам относятся дефекты, размер которых мал во всех трех измерениях. Это могут быть вакансии, т.е. свободные узлы в кристаллической решетке, промежуточные атомы, смещенные из нормального положения в междоузельное пространство, а также атомы примесей.

Линейные несовершенства, размер которых мал только в двух измерениях. В отличие от точечных несовершенств, ограниченных во всех направлениях, линейные несовершенства распространяются на значительную длину. К ним относятся цепочки вакансий, винтовые и краевые дислокации.

Поверхностные дефекты, размер которых мал только в одном направлении. К поверхностным несовершенствам относятся границы между блоками, границы между зернами, поверхности раздела между фазами и т.д.

Несовершенства кристаллического строения образуются в процессе кристаллизации, а также при последующих обработках: обработке давлением, термообработке и т.д.

Каждое из отдельных зерен обладает свойством анизотропии. Свойства реальных поликристаллических тел, вследствие произвольного расположения каждого из зерен будут в различных направлениях примерно одинаковыми. Это явление называется квазиизотропией (ложной изотропией).

После пластической деформации поликристаллические тела вновь приобретают определенную ориентировку и становятся анизотропными.

Процесс кристаллизации. Любое вещество может находиться в четырех агрегатных состояниях. Переход из одного агрегатного состояния в другое называется фазовым превращением. Фазовые превращения для чистых кристаллических веществ происходит при строго определенной температуре. Переход жидких металлов в твердое состояние происходит при постоянном давлении при определенных температурах, например, для: W – 3390°C; Fe - 1539 °C; Ni - 1450 °C и т.д.

Кристаллизация - процесс образования кристаллов (кристаллической решетки) из жидкой фазы. Форма, величина, а также направление кристаллов влияют на многие свойства металлов и сплавов. Процессом кристаллизации необходимо управлять, для получения необходимых свойств.

В природе самопроизвольно (спонтанно) протекают лишь те процессы, которые сопровождаются уменьшением свободной энергии системы. Под свободной энергией F понимают ту часть внутренней энергии, которая превращена в работу. С повышением температуры свободная энергия жидкого и твердого состояний уменьшается. (рисунок 1.4).

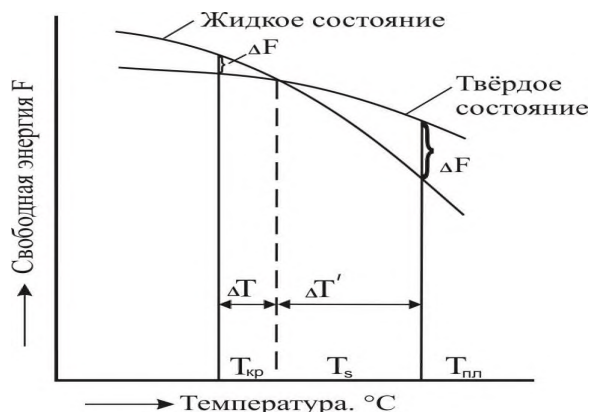


Рисунок 1.4 – Изменение свободной энергии жидкого и твердого состояний, в зависимости от температуры

При достижении равновесной температуры T_s свободная энергия жидкого и твердого состояния равны, а поэтому при этой температуре кристаллизация и плавление протекать не могут. Для развития процесса кристаллизации необходимо создать такие условия, при которых свободная энергия твердой фазы будет меньше, чем свободная энергия жидкой фазы. Это возможно при некотором переохлаждении сплава. Степенью переохлаждения ΔT называется разность между равновесной (теоретической) и фактической температурами кристаллизации:

$$\Delta T = T_s - T_{кр},$$

где T_s – равновесная температура кристаллизации; $T_{кр}$ – фактическая температура кристаллизации.

Для развития процесса плавления необходима некоторая степень перегрева сплава:

$$\Delta T = T_{пл} - T_s,$$

где $T_{пл}$ – фактическая температура плавления.

Движущей силой любого превращения является разность свободных энергий ΔF :

$$\Delta F = F_{\text{старой фазы}} - F_{\text{новой фазы}}$$

Степень переохлаждения измеряется в градусах $^{\circ}\text{C}$ и зависит от скорости охлаждения, природы и чистоты расплава. Чем больше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения, чем чище расплав, тем больше его устойчивость и тем больше степень переохлаждения. Наличие нерастворенных частиц в расплаве ускоряет процесс кристаллизации, измельчает зерно. У металлов и сплавов способность к переохлаждению невелика. Самую большую степень переохлаждения имеет сурьма - 31°C . Процесс кристаллизации изучается по кривым охлаждения (рисунок 1.5).

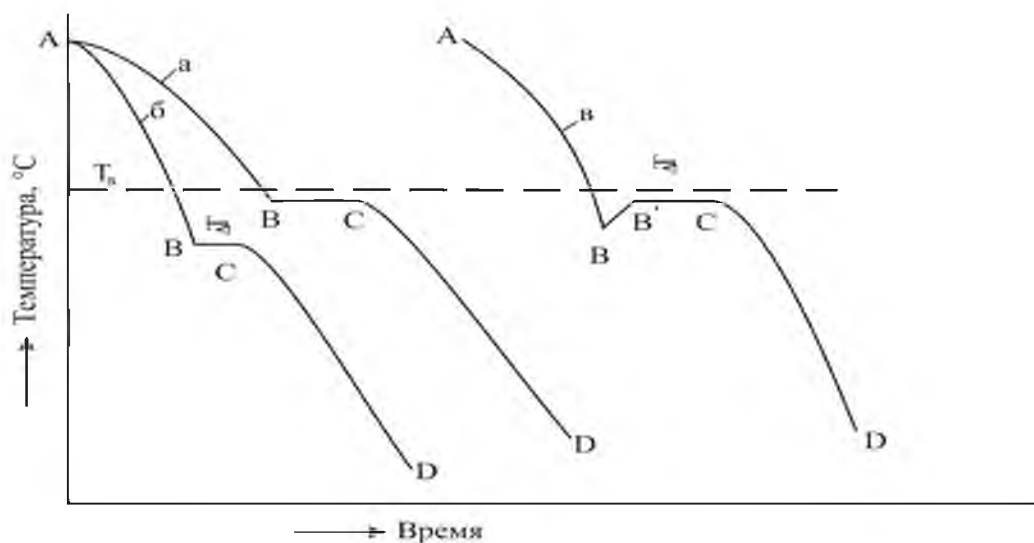


Рисунок 1.5 Кинетика кристаллизации металла в зависимости от степени переохлаждения

Понижение температуры вызывает охлаждение расплава (участок АВ) (рисунок 1.5). Скорость охлаждения (наклон кривой) зависит от разности температур металла и охлаждающей среды. С понижением температуры скорость охлаждения уменьшается, так как уменьшается разность температур. Кривая охлаждения приобретает вогнутость. Температура плавно понижается до температуры кристаллизации $T_{\text{кр}}$, лежащей ниже равновесной (теоретической) температуры кристаллизации T_s . Как только начнется процесс кристаллизации, отвод тепла будет компенсироваться выделяющейся при кристаллизации скрытой теплотой плавления. На кривой охлаждения появляется горизонтальная площадка (участок ВС). У некоторых металлов с большой склонностью к переохлаждению (сурьма) скрытая теплота кристаллизации выделяется настолько бурно, что температура может повыситься. По окончании процесса кристаллизации (точка С) начинается охлаждение затвердевшего металла и температура вновь начнет равномерно понижаться (участок CD).

Чем выше скорость охлаждения, тем при более низких температурах заканчивается процесс кристаллизации и тем больше будет степень переохлаждения.

Процесс кристаллизации складывается из двух элементарных процессов:

- скорости зарождения центров кристаллизации (Ч.Ц.) - количество зародышей, образовавшихся в единице объема, за единицу времени.
- скорости их роста (С.Р.) - увеличения линейных размеров растущей грани кристалла в единицу времени.

Расплавленный металл, при температурах, близких к началу кристаллизации проявляет некоторые признаки упорядоченного строения, присущие кристаллическому телу. В расплаве создаются группировки атомов (очень малых размеров), которые способны при

определенных условиях образовывать зародыши. Энергия этих группировок неодинакова. Группировки, обладающие энергией, меньше средней величины будут обладать меньшей температурой. В этих участках жидкости начинается образование зародышей, центров кристаллизации. Случайные и временные отклонения энергии отдельных группировок атомов от среднего значения при данной температуре называется флуктуациями энергии. Это и является причиной возникновения зародышей.

Энергетическая флуктуация, приводящая к образованию новой фазы, называется гетерогенной флуктуацией.

В процессе кристаллизации возникают зародыши разной величины, но к росту способны только те зародыши, рост которых сопровождается уменьшением свободной энергии системы, выражаемое в следующем виде:

$$\Delta E = V(F_{\text{тв}} - F_{\text{жид}}) + S\sigma = -V\Delta F + S\sigma,$$

где ΔE – свободная энергия системы;

V - объем зародыша;

$F_{\text{тв}}$ – свободная энергия единицы объема образовавшегося зародыша;

$F_{\text{жид}}$ - свободная энергия единицы объема жидкой фазы;

ΔF - разность свободных энергий твердой и жидкой фаз, на единицу объема;

S - поверхность зародыша;

σ - коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела между расплавом и образовавшимся зародышем.

При образовании и росте зародышей свободная энергия системы изменяется в двух противоположных направлениях (рисунок 1.6):

- образование зародыша с меньшим запасом энергии, чем жидкость ведет к уменьшению свободной энергии системы ($-V\Delta F$);

- образование границы раздела между расплавом и твердым сплавом ведет к увеличению свободной энергии системы ($S\sigma$).

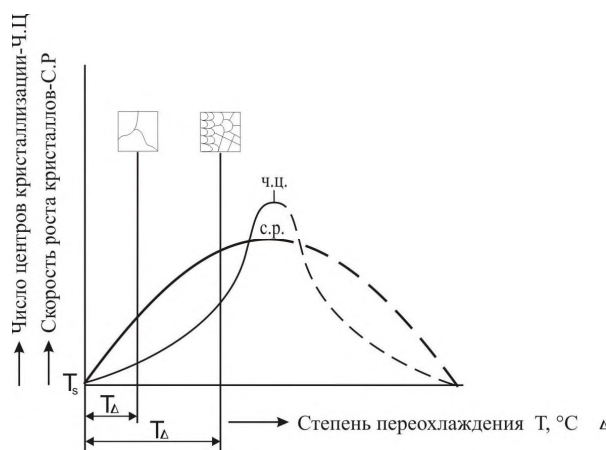


Рисунок 1.6 – Влияние степени переохлаждения на число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.)

Для образования поверхности раздела необходимо затратить некоторую энергию. Чем меньше размер зародыша, тем большее количество поверхностей раздела приходится на единицу объема и тем больше суммарная свободная энергия системы (единицы объема). После достижения определенного размера зародыша, свободная энергия системы начнет убывать. Такой зародыш называется критическим или равновесным. Все зародыши больше критического являются устойчивыми, способными к росту, так как их рост ведет к уменьшению свободной энергии системы. Размер критического зародыша зависит от степени

переохлаждения. Чем больше степень переохлаждения, тем меньше размер критического зародыша.

Форма растущих кристаллов при условии равномерного теплоотвода в первоначальный момент кристаллизации, когда кристаллы окружены жидкостью, будет геометрически правильной, соответствующей их кристаллическому строению. При взаимном столкновении граней кристаллов, их правильная форма нарушается и становится в момент окончания процесса кристаллизации неправильной. Такие кристаллы называются зернами или кристаллитами. Образование зародыша происходит легче на готовой подкладке (у стенки изложницы или при наличии примесей, являющимися центрами кристаллизации). Зародыши имеют трехмерный размер и называются трехмерными.

Рост зародыша происходит не хаотическим присоединением отдельных атомов, а путем наслоения на растущую грань атомной плоскости размером не меньше критического размера зародыша. Такой зародыш называется двухмерным, так как имеет двухмерный размер.

Число центров кристаллизации и скорость их роста зависят от степени переохлаждения. С увеличением степени переохлаждения возрастает число центров кристаллизации и увеличивается скорость их роста, при определенной степени переохлаждения наступает максимум. Металлы и сплавы, обладающие в жидком состоянии малой склонностью к переохлаждению, невозможно охладить при которых число центров кристаллизации и скорость роста достигли бы максимума. Поэтому для металлов кривые числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов обрываются уже при малых степенях переохлаждения (сплошные кривые рисунок 1.6)

Для степени переохлаждения ΔT скорости образования центров кристаллизации и их роста малы, поэтому процесс кристаллизации протекает медленно и зерна получаются крупные (так как образуется мало центров в единице объема). Для степени переохлаждения $\Delta T''$ значительно увеличилось как скорость зарождения центров кристаллизации так и скорость их роста, поэтому процесс кристаллизации при степени переохлаждения $\Delta T''$ будет протекать значительно быстрее, чем при степени переохлаждения $\Delta T'$, а так как при этом увеличивается число центров кристаллизации в единице объема, то зерна получаются мельче.

Количество зерен n и их размер при данной степени переохлаждения определяется по следующей формуле:

$$n = (\text{Ч.Ц.}/\text{С.Р.})^{1/2}.$$

Изменяя степень переохлаждения можно получить зерна различной величины. От величины зерна зависят многие свойства сплавов.

На практике измельчение зерна достигается модифицированием, введением в расплав дисперсных частичек, являющихся дополнительными центрами кристаллизации.

В зависимости от условий охлаждения, характера и количества примесей в расплаве, форма и размер получаемых кристаллов могут быть самыми разнообразными. При кристаллизации металлов и сплавов чаще всего получаются дендритные кристаллы. Дендриты можно видеть на поверхности слитков, кристаллы часто находятся в усадочной раковине. Рост дендритов происходит путем образования оси первого порядка (ствол), перпендикулярно к которым вырастают ветви второго порядка, перпендикулярно к ним ветви третьего порядка. Рост ветвей первого порядка происходит в направлении максимальной линейной скорости роста и в направлении противоположном отводу тепла (рисунок 1.7).

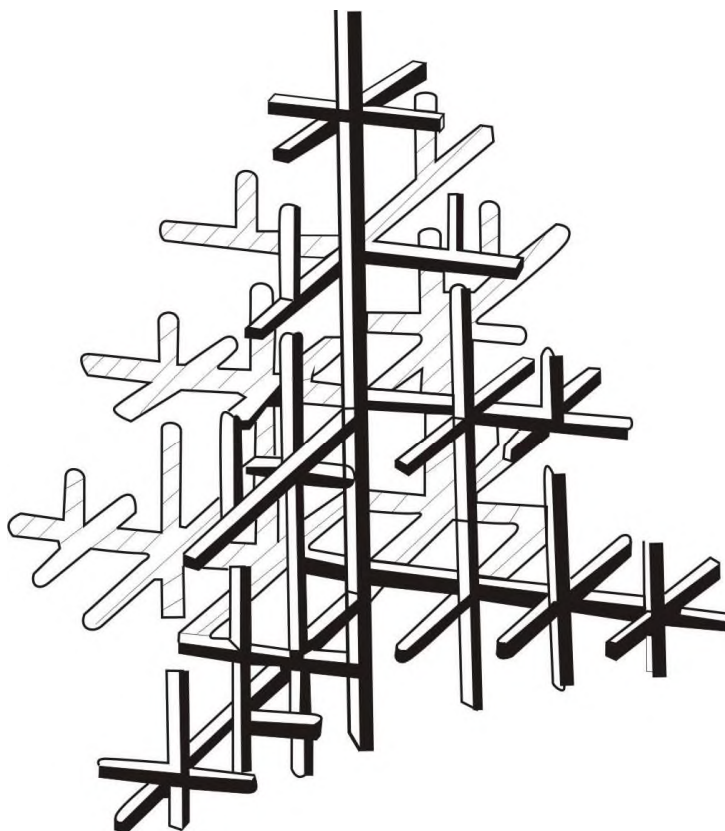
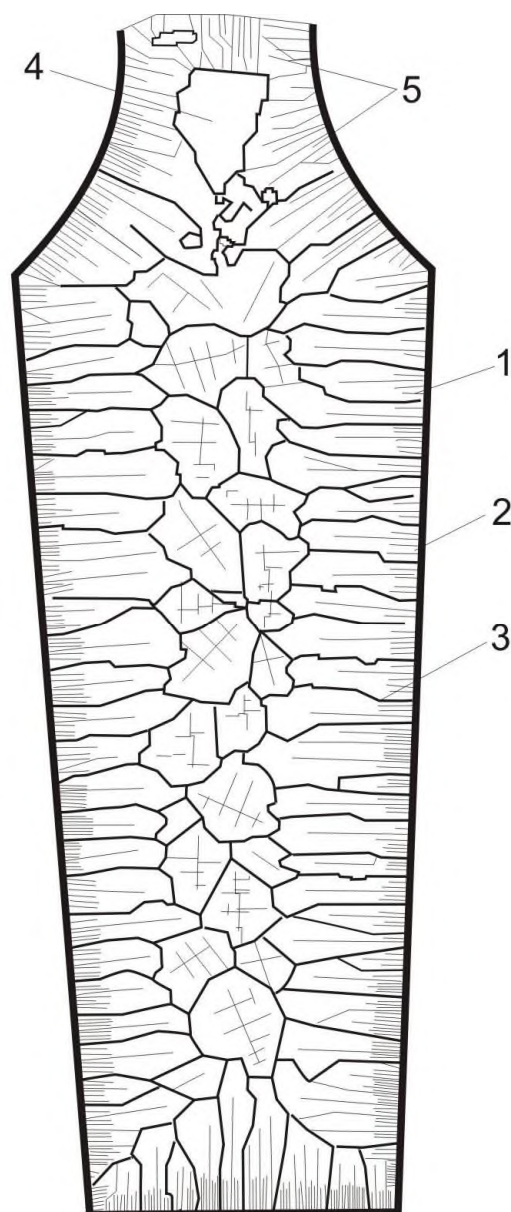


Рисунок 1.7 – Схема роста дендрита

Реальное строение слитка спокойной стали представлено на рисунке 1.8. Процесс кристаллизации реальных сплавов начинается у стенок изложницы, в местах где жидкий металл охлаждается в первую очередь и последовательно продвигается к центру слитка. Первая образовавшаяся зона мелких дезориентированных кристаллитов формируется благодаря большой степени переохлаждения. Первичные кристаллы (оси первого порядка) растут перпендикулярно неровностям внутренней поверхности стенок изложницы. Растущие кристаллы, сталкиваясь между собой образуют зону мелких, дезориентированных, беспорядочно направленных кристаллитов (зерен).

После образования первой зоны начинается рост второй зоны - столбчатых кристаллов. Рост этих кристаллов идет в направлении противоположном отводу тепла и поскольку все кристаллы растут одновременно, то получаются столбчатые, вытянутые кристаллиты, рост которых продолжается пока имеется направленный отвод тепла. В случае сильного перегрева и быстрого охлаждения, зона столбчатых кристаллов может заполнить весь объем слитка. Это явление называется транскристаллизацией.

Зона столбчатых кристаллов обладает высокой плотностью и прочностью, но соответственно пластичность этой зоны понижена, что часто является причиной образования трещин при обработке давлением. Для малопластичных металлов, в том числе и стали, развитие этой зоны нежелательно, а для пластичных металлов с гцк решеткой (медь, алюминий и др.) желательно развитие транскристаллизации. В центральной зоне слитка, в условиях медленного и фактически равновесного охлаждения, образуется зона равноосных произвольно ориентированных кристаллитов, размер которых зависит от степени переохлаждения, наличия примесей и т.д. Равноосные, произвольно ориентированные кристаллы получаются потому, что отвод тепла в этой части слитка идет во всех направлениях с одинаковой скоростью и поэтому оси первого порядка располагаются без определенной ориентировки.



1 – зона дезориентированных кристаллитов; 2 – зона столбчатых кристаллов; 3 – зона крупных равноосных кристаллитов; 4 – усадочная раковина; 5 – газовые пузыри, пустоты, усадочная рыхлость

Рисунок 1.8 Схема строения слитка спокойной стали

В тех участках, где металл застывает в последнюю очередь, образуются усадочные раковины, рыхлость, пористость. Различными технологическими приемами (установкой прибылей) удастся сконцентрировать усадочную раковину в верхней части слитка, которую обычно удаляют.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Коллекция фотографий темплетов и серных отпечатков различных зон слитков.

3.1.2 Коллекция изломов.

3.2 Последовательность выполнения работы:

3.2.1 Изучить теоретический материал;

3.2.2 Получить от преподавателя раздаточный материал.

3.3 Зарисовать и описать изломы и фотографии темплетов полученные при различных условиях кристаллизации. Указать, как влияют на структурные зоны слитков внешние факторы: условия охлаждения и параметры разливки.

3.4 Начертить схему строения стального слитка.

3.5 Начертить схему строения непрерывно - литой заготовки.

3.6 Объяснить причины образования трех зон кристаллизации, усадочной раковины, усадочной пористости, объяснить явление транскристаллизации.

3.7 Зарисовать и описать структуру, изображенную на фотографиях из раздаточного материала.

3.8 Полученные данные п.п. 3.3 – 3.7 представить в отчете.

4 Контрольные вопросы

1 Дайте определение терминам фаза и компонент.

2 Используя правило фаз, охарактеризуйте температурные условия кристаллизации чистого вещества.

3 В чем принципиальное различие жидкого состояния от кристаллического?

4 Дайте определение термину критический размер зародыша.

5 От каких факторов зависят форма и размеры кристаллов?

6 В чем принципиальное отличие кривой охлаждения аморфного и кристаллического вещества?

7 Дайте определение термину транскристаллизация.

Лабораторная работа 2. Металлографический анализ металлов и сплавов

1 Цель работы

Изучить и освоить методы металлографического анализа различных сплавов.

2 Теоретическое введение

Металлографический анализ подразделяется на микро и макроанализ.

Макроанализ заключается в исследовании строения сплавов невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 раз). Строение металлов и сплавов определяемое таким методом называется макроструктурой. Подготовка макрошлифа заключается в следующем: заготовка разрезается на две части, одну часть зачищают на станке и шлифуют.

После шлифовки для выявления макроструктуры темплеты подвергают глубокому травлению химическими реактивами (растворами и смесью кислот или щелочей), которые выбираются в зависимости от состава сплава и цели исследования.

Макроанализ позволяет выявить.

1 Строение металла или сплава в литых деталях или слитках (зернистое или дендритное), наличие и характер распределения зон кристаллизации, усадочной рыхлости, пузырей, трещин ит.д.

2 Химическую неоднородность, получаемую в процессе кристаллизации. Сера, фосфор и углерод в процессе кристаллизации имеют склонность к неравномерному распределению по высоте и сечению слитка, что сильно сказывается на свойствах отдельных его участков. Это явление называется ликвацией.

3 Строение металла после горячей обработки давлением (прокатки,ковки,штамповки). После обработки давлением металла давлением, внутреннее строение металлов и сплавов получается более плотным, чем после литья, так как в процессе горячей обработки давлением частично устраняется пористость рыхлость и др.

В процессе обработки давлением различные структурные составляющие и неметаллические включения дробятся и вытягиваются вдоль направления деформации,

образуя волокнистость. Механические свойства металла оказываются различными, в зависимости от направления волокна. Ударная вязкость поперек волокна в 3 - 4 раза выше чем вдоль волокна. Для деталей, работающих при повышенных удельных нагрузках необходимо, чтобы волокна располагались параллельно контуру детали, что достигается правильным выбором способа обработки давлением.

4 Неоднородность состава и структуру создаваемую термической и химико - термической обработкой. Макроанализом определяют глубину и характер распределения закаленного, цементованного, азотированного, цианированного слоя.

5 Характер излома металла или сплава. По излому можно установить характер разрушения: вязкое, хрупкое или усталостное.

Микроанализом называется исследование внутреннего строения металлов и сплавов с помощью оптического микроскопа при увеличении от 50 до 1500 раз и электронного от 5000 до 60000 раз.

Внутреннее строение, изучаемое при помощи микроскопа, называется микроструктурой или структурой. Изучение структуры производится на микрошлифах. В отличие от макрошлифов, размеры микрошлифов ограничены. Наиболее удобен микрошлиф с площадью поперечного сечения 1 см^2 . Шлифовка производится более тщательно, чем макрошлифов и заканчивается полировкой. В качестве абразива используются оксиды хрома, алюминия или алмазная паста. При полировании должны быть удалены все риски и поверхность должна приобрести зеркальный вид. Готовый шлиф промывается водой, спиртом, сушится фильтровальной бумагой. Затем исследуется под микроскопом при увеличении 100 с целью определения качества его изготовления, наличия и распределения неметаллических включений (графита, сульфидов, оксидов и т.д.).

Для выявления структуры шлиф травят, в зависимости от состава сплава и целей исследования в различных реактивах. Чаще всего применяют слабые спиртовые растворы кислот или щелочей.

Любой металл или сплав является поликристаллом. На границах зерен обычно располагаются примеси и более искаженное кристаллическое строение, чем тело зерна. Под действием травителя, вследствие различного потенциала зерна и его границы и различного потенциала структурных составляющих, процесс травления происходит по разному и на поверхности шлифа появляется микрорельеф. При рассмотрении в оптическом микроскопе этот микрорельеф будет создавать светотеневой эффект. Различные структурные составляющие, травящиеся неодинаково по разному отражают свет. Структура, травящаяся сильнее, кажется под микроскопом более темной (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Границы зёрен чистых металлов и твёрдых растворов

Максимальное полезное увеличение микроскопа зависит от разрешающей способности глаза и микроскопа:

$$M = d_1/d_2,$$

где - d_1 - максимальная разрешающая способность человеческого глаза, равная 0,3 мм;

d_2 - максимальная разрешающая способность оптического микроскопа.

Максимальная разрешающая способность микроскопа зависит от длины волны видимого света и определяется по формуле:

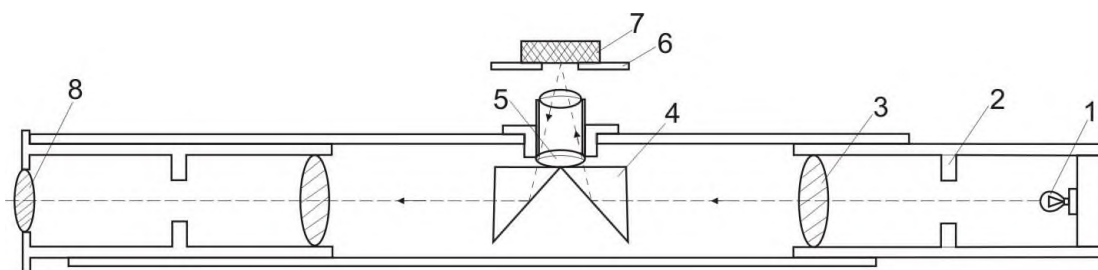
$$d_2 = \lambda / 2n \sin \alpha / 2,$$

λ - длина волны видимого света;

$\alpha/2$ - половина угла раскрытия входящего светового пучка. Предельная величина угла равна 90° следовательно $\sin \alpha / 2$ равен 1.

Максимальная разрешающая способность микроскопа равна 0,0002 мм, а максимальное полезное увеличение 1500 раз.

Принципиальная схема хода лучей в микроскопе представлена на рисунке 2.2.



1 – осветитель; 2 – диафрагма; 3 – осветительная линза; 4 – призма; 5 – объектив;
6 – предметный столик; 7 – микрошлиф; 8 – окуляр

Рисунок 2.2 – Схема хода лучей в металлографическом микроскопе

Между микроструктурой и свойствами многих металлов и сплавов существует прямая зависимость, поэтому в практике металловедения микроанализ является основным методом, позволяющим полно изучить строение металлов и сплавов а следовательно, получить сведения об их свойствах.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Металлографический микроскоп «МЕТАМ ЛВ-41».

3.1.2 Коллекция шлифов.

3.1.3 Альбом фотографий микроструктур.

3.1.4 Альбом фотографий макроструктур.

3.2 Последовательность выполнения работы:

3.2.1 Изучить теоретический материал;

3.2.2 Получить от преподавателя раздаточный материал.

3.3 По указанию преподавателя из каждой серии выбрать одну характерную деталь, зарисовать и описать ее макроструктуру.

Определить ликвацию серы и фосфора по методу Баумана. Фотографическая бумага, смоченная в 5% водном растворе серной кислоты, эмульсионной стороной накладывается на поверхность макрошлифа и выдерживается в течение 1-2 минут.

Сера в стали находится в виде химического соединения MnS или FeS . При наличии серы на поверхности шлифа происходит реакция с выделением сероводорода. Сероводород взаимодействует с $AgBr$ с образованием Ag_2S , образующим темные пятна на фотографической бумаге. Эти пятна указывают на места распределения (скопления) серы и фосфора. Отпечатки промываются в воде и закрепляются в гипосульфите.

3.4 Исследовать под микроскопом поверхность шлифа до и после травления в 4% растворе азотной кислоты в спирте.

Травление микрошлифов производится следующим образом:

- отполированную поверхность микрошлифа погружают в реактив указанного состава на 5-10 сек;
- после травления шлиф промывается водой, затем спиртом и тщательно просушивается фильтровальной бумагой.

3.5 Оформление отчета заключается в следующем.

Описать основные методы исследования металлов и сплавов. Составить протокол металлографического исследования из следующих пунктов:

- провести макроанализ темплета;
- исследовать и зарисовать макроструктуры литых и прокатанных изделий.
- определить ликвацию серы и распределение других элементов, зарисовать их схемы;
- провести микроанализ;
- нарисовать схему хода лучей в металлографическом микроскопе;
- просмотреть и зарисовать микрошлиф до и после травления с указанием увеличения и строения сплава.

4 Контрольные вопросы

- 1 Опишите методы анализа внутреннего строения металлов.
- 2 Опишите технологию изготовления макрошлифов.
- 3 Опишите технологию изготовления микрошлифов.
- 4 Опишите технологию изготовления серых отпечатков.
- 5 Опишите принцип работы оптического микроскопа.
- 6 Почему полезное увеличение оптического микроскопа не более 1500 раз?
- 7 В чем заключается сущность рентгеноструктурного анализа?
- 8 Почему границы зерен выявляются лучше, чем фазы?

Лабораторная работа 3. Изучение структуры сталей

1 Цель работы

Изучить диаграмму железо - цементит; влияние содержания углерода на структуру отожженной стали; изучить структуры стали.

2 Теоретическое введение

Классификация железоуглеродистых сплавов. Железоуглеродистые сплавы, содержащие до 2,14 % углерода, называются сталями, а свыше 2,14% - чугунами.

Классификацию углеродистых сталей производят:

- по структуре в равновесном (отожженном) состоянии;
- по назначению;
- по способу выплавки.

Классификация по структуре. Часть диаграммы состояния «железо-цементит» с содержанием углерода до 2,14% соответствует структуре стали в отожженном состоянии т.е. после медленного охлаждения.

С увеличением содержания углерода в стали, структура изменяется следующим образом.

Структура стали с минимальным содержанием углерода (техническое железо) представляет феррит, который имеет зернистое строение. В структуре литой или перегретой стали наблюдаются пластинчатые выделения феррита (видманшtedтова структура).

Незначительное увеличение содержания углерода, вследствие его незначительной растворимости в α -железе вызывает образование второй фазы – цементита. При содержании углерода примерно до 0,025% он присутствует в структуре в виде относительно небольших

количество третичного цементита, выделяющегося из феррита при охлаждении, вследствие уменьшения растворимости углерода в α -железе. Третичный цементит располагается главным образом по границам зерен феррита, что снижает пластичность и вязкость стали.

Увеличение содержания углерода сверх 0,025% вызывает образование перлита, двухфазной структуры (эвтектоида), представляющей механическую смесь (феррит + перлит), при этом в сталях с содержанием углерода до 0,15% еще сохраняются включения третичного цементита.

Количество перлита возрастает пропорционально увеличению содержания углерода и соответственно уменьшается количество избыточного феррита. Перлит, как двухфазная структура при воздействии реактива (травителя) на микрошлиф травится интенсивнее, чем феррит. Поэтому при рассмотрении под микроскопом перлит имеет вид темных включений неоднородного строения. За счет значительной дисперсности, строение перлита можно различить только при увеличениях более 500 раз.

В доэвтектоидных сталях перлит имеет пластинчатое строение, темные пластинки, видимые в перлите, представляют тени, отбрасываемые на участки феррита выступающими после травления пластинками цементита. В заэвтектоидных сталях перлит может иметь зернистое строение. Форма выделения перлита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига.

В заэвтектоидных сталях основной структурной составляющей является перлит. Наряду с перлитом присутствует вторичный цементит, выделяющийся из аустенита при охлаждении вследствие уменьшения растворимости углерода в γ -железе. При правильно выполненных операциях (прокатка, ковка, отжиг) вторичный цементит присутствует в виде мелких зерен, равномерно распределенных в основной массе перлита.

Возможно выделение вторичного цементита в виде сетки по границам зерен перлита. Оно происходит в результате окончания горячей обработки при излишне высокой температуре или выполнения отжига при температуре выше A_{cm} и является дефектом, заэвтектоидной стали, ухудшающим ее прочность и вязкость. Еще одной из форм выделения цементита, сильно ухудшающей механические свойства является образование в виде игл, что является следствием перегрева

По структуре в равновесном состоянии стали делятся следующим образом.

Доэвтектоидные, содержащие от 0,025 до 0,8 % углерода. Структура этих сталей состоит из феррита – светлые пятна и перлита - темные пятна. Количество перлита изменяется пропорционально содержанию углерода.

Эвтектоидная, содержащая 0,8 % углерода. Структура этой стали состоит из перлита. Зерна перлита состоят из пластинок феррита и цементита.

Заэвтектоидные, содержащие от 0,8 до 2% углерода. Структура этих сталей состоит из перлита и вторичного цементита. При медленном охлаждении вторичный цементит выделяется по границам зерен аустенита, образуя твердую и хрупкую оболочку, видимую под микроскопом в виде сетки. Цементит, также как и феррит, при травлении раствором HNO_3 сохраняет белый цвет. Выделение вторичного цементита по границам зерен аустенита и цементита перлита в виде пластинок (игл) нежелательно, так как такая структура обладает повышенной хрупкостью, плохо обрабатывается резанием и после окончательной термообработки готовые детали будут иметь пониженные механические свойства, главным образом, низкую пластичность и ударную вязкость. Поэтому, оптимальной является структура с цементитом в виде мелких зерен округлой формы (зернистый перлит). Структуру зернистого перлита получают путем специальной термической обработки. Структура зернистого перлита является исходной структурой для инструментальных сталей.

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода до 0,025% называются техническим железом. Структура их состоит из феррита и небольшого количества третичного цементита, располагающегося преимущественно по границам зерен феррита.

Влияние углерода на строение и свойства стали. С увеличением содержания углерода в стали меняется ее структура, увеличивается количество цементита и уменьшается количество феррита. Феррит представляет собой мягкую, пластичную структурную

составляющую со следующими механическими свойствами $\sigma_{\text{в}} = 300$ МПа, $\delta = 45\%$, $\psi = 70\%$, $\text{НВ} = 80$. Цементит- химическое соединение железа с углеродом, отличается высокой твердостью и хрупкостью, твердость $\text{НВ} 800$.

С изменением структуры, изменяются свойства стали. Чем больше углерода в стали, тем выше твердость, прочность, но ниже пластичность.

Механические свойства стали зависят также от формы и размеров ферритно - цементитной смеси. Чем дисперсней (тоньше) частички ферритно - цементитной смеси, тем выше твердость и прочность стали. Зернистая форма цементита, по сравнению с пластинчатой, при одинаковой твердости, обладает более высокой пластичностью и ударной вязкостью. С повышением содержания углерода в стали ухудшается свариваемость и до некоторого содержания углерода (от 0,3 до 0,5%) улучшается обрабатываемость резанием. Далее, с повышением содержания углерода, в связи с увеличением твердости, обрабатываемость резанием ухудшается. Повышенное содержание углерода способствует образованию трещин и пор в сварном шве, повышает порог хладноломкости стали, увеличивает чувствительность стали к дисперсионному старению и к старению после холодной пластической деформации, понижает коррозионную стойкость.

Увеличение содержания углерода повышает чувствительность стали к перегреву, повышает закаливаемость и прокаливаемость

Классификация сталей по назначению. В зависимости от содержания углерода и требований, предъявляемых к тем или иным группам изделий, углеродистые стали делятся на следующие классы.

Строительные стали, содержат до 0,3 % углерода.

Машиностроительные или конструкционные стали, содержат до 0,85 % углерода. Эти стали, в зависимости от окончательной термической обработки применяемой в готовых изделиях, в свою очередь подразделяются на цементуемые (до 0,3% С), улучшаемые (от 0,3 до 0,5 % С) и среднеотпущенные или рессорно – пружинные (от 0,5 до 0,85 % С).

Строительные и машиностроительные стали, по структуре в отожженном состоянии, относятся к доэвтектоидным сталям.

Инструментальные стали содержат от 0,7 до 1,3 % углерода. По структуре эти стали в отожженном состоянии могут быть доэвтектоидные (с большим содержанием перлита), эвтектоидные, заэвтектоидные.

Классификация углеродистых сталей по способу производства (качеству). От способа производства, от которого зависит содержание в стали примесей и их распределение углеродистые стали делятся на три класса:

- обыкновенного качества;
- качественные;
- высококачественные.

Стали обыкновенного качества - выплавляются в конвертерах или мартеновских печах. Эти стали содержат повышенное количество серы и фосфора. Поставляются в виде фасонных профилей, горячекатаных прутков листов и проволоки.

Качественные стали могут быть как углеродистые, так и легированные. Их выплавляют в основных кислородных конвертерах, основных мартеновских и электродуговых печах. К ним предъявляются более высокие требования, чем к сталям обыкновенного качества, в отношении химического состава, неметаллических включений и других дефектов. Содержание серы и фосфора не более 0,04 %.

По назначению качественные стали могут быть строительные, конструкционные, инструментальные и с особыми свойствами.

Конструкционные качественные стали изготавливаются следующих марок : 05кп, 08кп, 10, 10кп, 15, 15кп, 30, 35, 40, 45...65. В этих сталях цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Инструментальные углеродистые стали маркируются буквой У и цифрой, указывающей содержание углерода в десятых долях процента.

Высококачественные стали выплавляются в электропечах. Они обладают высокой чистотой по неметаллическим включениям, содержат серы и фосфора не более 0,025% и остальные примеси имеют более суженные пределы. Маркируются эти стали, как и качественные но в конце маркировки ставится буква А, показывающая что сталь является высококачественной. По назначению высококачественные делятся на те же классы, что и качественные.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Металлографический микроскоп «МЕТАМ ЛВ-41».

3.1.2 Коллекция шлифов.

3.2 Последовательность выполнения работы:

3.2.1 Изучить теоретический материал;

3.2.2 Получить от преподавателя раздаточный материал;

3.2.3 Исследовать под микроскопом шлифы отожженной стали. По микроструктуре определить соотношение феррита и перлита.

По структуре доэвтектоидной стали можно определить содержание углерода.

Например: в доэвтектоидной стали содержится 40% перлита и 60 % феррита (определяется визуально, под микроскопом или по фотографии). Количество углерода в стали определяется следующим расчетом:

100% перлита содержит 0,8 % С;

40% перлита содержит X_1 % С;

$X_1 = 40 \times 0,8/100 = 0,32$ % С;

100% феррита содержит 0,025 % С;

60% феррита содержит X_2 % С;

$X_2 = 60 \times 0,025/100 = 0,015$ % С.

Содержание углерода в стали равно: $X_1 + X_2 = 0,335\%$.

3.3 Оформление отчета:

- начертить диаграмму состояния железо - цементит, дать определение всем точкам и линиям диаграммы состояния, а также всем структурным составляющим стали;

- исследовать и описать микроструктуру заданных образцов стали. Зарисовать в тетради каждую структуру;

- определить по микроструктуре процентное содержание углерода в стали.

3.4 Построить кривые охлаждения для трех сплавов и описать процессы, происходящие в сплавах при охлаждении (в критических точках и в интервале температур между критическими точками).

4 Контрольные вопросы

1 Охарактеризуйте влияние углерода на механические свойства сталей.

2 Опишите классификацию сталей по качеству.

3 Опишите свойства структурных составляющих сталей.

4 Объясните, при каких условиях образуется зернистый цементит.

5 Объясните, как зависит обрабатываемость резанием от содержания углерода в стали.

6 Как влияет увеличение содержания углерода на свариваемость сталей.

7 Опишите технологии выплавки, повышающие качество стали.

8 Как уменьшить отрицательное влияние серы.

9 Как образуется видманшtedтова структура?

10 Почему после увеличения содержания углерода свыше 0,6% не происходит увеличение твердости?

Лабораторная работа 4. Изучение структуры чугунов

1 Цель работы

Изучить диаграмму железо - цементит с содержанием углерода более 2,14%.
Изучить влияние содержания углерода на структуру белого и серого чугунов.
Изучить структуру белого и серого чугунов.

2 Теоретическое введение

По химическому составу чугун отличается от стали более высоким содержанием углерода и постоянных примесей – кремния и марганца. Он широко применяется в качестве литейного материала. Чугун обладает более низкими механическими свойствами, чем сталь. Однако его технологические свойства (литейные, способность графита приобретать различную форму, в зависимости от условий кристаллизации, способность приобретать различную структуру, в условиях различного охлаждения, хорошая обрабатываемость, высокая износостойчивость, антифрикционные свойства делают чугун конструкционным материалом с уникальным комплексом свойств, пригодным для использования в различных областях техники. При определенных условиях разливки и дополнительной термообработки механические свойства чугуна приближаются к механическим свойствам стали. Поэтому чугун, особенно высокопрочный, является одним из перспективных современных конструкционных материалов.

Классификация чугунов Химический состав и, в частности, содержание углерода не характеризуют надежно свойств чугуна. Его свойства зависят не только от химического состава, но и от процесса выплавки, условий охлаждения отливки и режима термической обработки. Свойства чугуна определяются его структурой. В зависимости от того в каком состоянии находится углерод, чугуны подразделяются на две группы:

- 1) чугуны в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита или других карбидов;
- 2) чугуны в котором весь углерод или часть его находится в свободном состоянии в виде графита.

Первой группе чугунов относятся белые чугуны. Излом такого чугуна будет белый, блестящий. Белые чугуны очень хрупки и тверды, плохо поддаются механической обработке режущим инструментом. Чисто белые чугуны в качестве конструкционного материала не используются. Они обычно идут на передел в сталь или используются для получения ковкого чугуна.

Структура белых чугунов соответствует диаграмме равновесного состояния «железо - цементит» образуется она в результате ускоренного охлаждения железоуглеродистых сплавов содержащих более 2,14% С при литье. По структуре белые чугуны делятся на:

- доэвтектические, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода Структура состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита;
- эвтектический, содержащий 4,3% углерода. Структура состоит из ледебурита;
- заэвтектические, содержащие от 4,3 до 6,67% углерода. Структура состоит из первичного цементита и ледебурита. Структура чугунов отличается от структуры стали наличием ледебурита или первичного цементита и ледебурита.

Ко второй группе чугунов относятся серые, ковкие и высокопрочные чугуны. Излом этих чугунов серый или матовый. В их структуре различают металлическую основу (металлическую матрицу) и форму выделений графита. Отличаются они друг от друга только формой выделений графита. В серых чугунах графит выделяется в виде пластинок графита; в высокопрочных – в виде шаров; в ковких - в виде хлопьев.

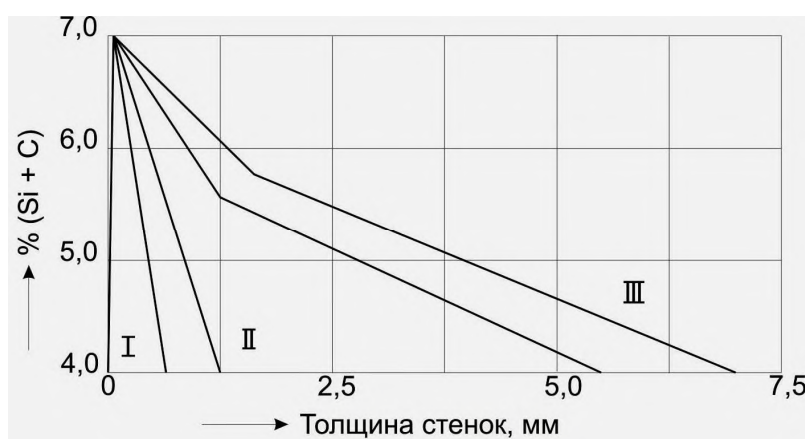
По металлической основе (структуре) все чугуны классифицируются на:

- ферритные - структурой феррита и графита. Количество связанного углерода $C_{связ} \leq 0,025\%$;

- феррито - перлитные со структурой феррита, перлита и графита. Количество связанного углерода $C_{\text{связ}}$ от 0,025 до 0,8%;
- перлитные со структурой перлита и графита. Количество связанного углерода $C_{\text{связ}} = 0,8\%$.

Структура чугунов второй группы отличается от структуры стали только наличием свободного графита.

Получение углерода в свободном или связанном состоянии зависит от процессов графитизации т.е. условий образования графита. На процесс графитизации чугуна существенное влияние оказывают скорость охлаждения, количество примесей, легирующих элементов и центров кристаллизации – модификаторов (рисунок 4.1). Увеличение скорости охлаждения способствует выделению углерода в связанном состоянии в виде цементита.



I – белые чугуны; II - серые перлитные чугуны; III – серые ферритные чугуны

Рисунок 4.1 – Влияние скорости охлаждения и суммарного содержания кремния и углерода в чугуне на его структуру

Поэтому при одном и том же составе чугуна по сечению изделия может иметь разную структуру. На поверхности отливки, где скорость охлаждения велика можно получать структуру белого чугуна, а внутри, в зависимости от толщины отливки – структуру чугуна с различной степенью графитизации.

Все элементы, вводимые в чугун, в зависимости от их влияния, делятся на две группы.

Препятствующие графитизации (Mn, Cr, W, S, O₂ и др.), которые способствуют получению легированного цементита и других специальных карбидов и препятствуют распаду при высоких температурах, и на графитообразующие элементы. Способствующие получению углерода в свободном состоянии в виде графита (Si, C, Al, Ni, Cu и др.) Примеси Mn, Si, S, P, присутствующие в чугуне, главным образом влияют на условия графитизации, а следовательно на структуру и свойства чугуна.

Следовательно, чтобы избежать отбела чугуна, детали тонкого сечения отливают из чугуна с повышенным содержанием графитообразующих элементов (Si, C, Ni). Для отливки деталей крупного сечения можно применять чугун с меньшим содержанием этих элементов.

Величина и форма выделившихся графитовых включений зависит от наличия в жидком чугуне центров кристаллизации. Центрами кристаллизации могут быть мельчайшие частички окислов Al₂O₃, CaO, SiO, MgO и др. Воздействие на процесс графитизации с помощью образования дополнительных центров кристаллизации называется модифицированием, а элементы модификаторами. Модификаторы вводятся в расплав перед разливкой. Таким образом можно не только измельчать графитовые включения, но также изменять форму образующегося графита, вместо пластинчатого графита, получать вермикулярный или шаровидный графит.

Свойства серых, высокопрочных и ковких чугунов. Свойства чугунов зависят от свойств металлической основы и характера распределения графитовых включений.

Свойства металлической основы, как и у стали зависят от структуры. С увеличением количества перлита твердость и прочность на разрыв будут увеличиваться. Графит, обладает низкими механическими свойствами, поэтому включения графита в чугуне можно рассматривать как пустоты различной формы, нарушающие цельность металлической основы. Такие свойства чугуна, как предел прочности при растяжении, изгибе, кручение, а также пластичность во многом зависят от количества, размеров и формы графитовых включений, и чем грубее включения, тем ниже механические свойства чугуна. Особенно низкими свойствами обладает чугун у которого включения образуют замкнутый скелет.

По мере округления графитовых включений, перечисленные ранее свойства чугуна возрастают, приближаясь к свойствам стали. Поэтому чугун с шаровидным графитом получил название высокопрочного. Для улучшения свойств высокопрочного чугуна применяется та же термообработка, что и для стали. Термообработка для чугуна с пластинчатым графитом практически не применяется.

Серые чугуны. Пластинчатые включения графита в серых чугунах можно рассматривать как трещины и надрезы, создающие большие концентрации напряжений в металлической матрице. Поэтому свойства этих чугунов сильно отличаются от свойств стали. Микроструктура серых чугунов зависит от степени графитизации. Если количество связанного углерода будет составлять больше одного процента, то такой чугун называется половинчатым. Его структура состоит из ледебурита, перлита и графита.

Серые чугуны по ГОСТ 1412 маркируются буквами СЧ. Первые две цифры указывают среднее значение предела прочности на растяжение в кг/мм². Марки серых чугунов СЧ 00, СЧ10, СЧ15,... СЧ40, СЧ45.

Высокопрочные чугуны получают из перлитного серого чугуна двойным модифицированием добавкой в расплав чугуна перед разливкой магния в количестве от 0,03 до 0,08% от веса чугуна и ферросилиция до 1%.

Магний способствует получению графита шаровидной формы (в виде глобулей), кроме того магний совместно с кремнием повышают прочность металлической основы, измельчая строение ферритно - цементитной смеси.

Высокопрочные чугуны по ГОСТ 7293 маркируются буквами ВЧ. Первые две цифры указывают среднее значение предела прочности на растяжение в кг/мм². Марки высокопрочных чугунов ВЧ 40, ВЧ45, ВЧ50 и др.

Ковкие чугуны получают путем специального графитизирующего отжига белых доэвтектоидных чугунов, содержащих от 2,2 до 3,2 % С (рисунок 4.2).

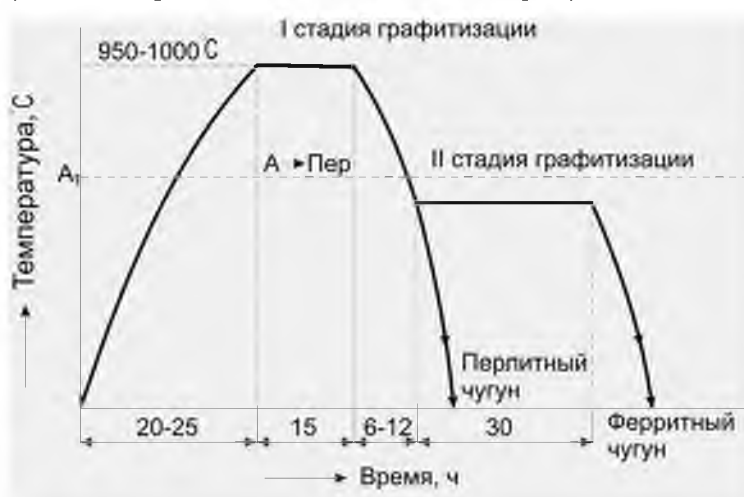


Рисунок 4.2 График получения ковких чугунов

Для получения ковкого чугуна необходимо отливки из малоуглеродистого белого чугуна, содержащего не более 2,8% углерода медленно нагревать в течение 20-25 часов в нейтральной среде до температуры $975 \pm 25^\circ\text{C}$ и при этой температуре произвести выдержку в течение 15 час. (первая стадия графитизации) и затем медленно охладить до температуры,

немного ниже эвтектоидного превращения (700 -740°C и в течение 30 час.) выдерживать при данной температуре (вторая стадия графитизации), далее охлаждение на воздухе.

Структура после окончательной обработки состоит из феррита и хлопьевидного графита. Продолжительность цикла составляет от 70 до 80 часов. Желательно, чтобы содержание углерода и кремния в ковком чугуна было минимальным: от 2,4 до 3,0% С и от 0,8 до 1,4% Si, т.к. после отжига увеличивается количество свободного графита и ухудшаются его свойства.

Ковкие чугуны по ГОСТ 1215 маркируются буквами КЧ. Первые две цифры указывают значение предела прочности на растяжение в кг/мм². Марки ковких чугунов КЧ30, КЧ50, КЧ70, и т.д. По виду матрицы, ковкие чугуны подразделяются на ферритные, феррито - перлитные и перлитные. Отливки из ковкого чугуна хорошо сопротивляются ударным и вибрационным нагрузкам, хорошо обрабатываются резанием, обладают удовлетворительной вязкостью.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Металлографический микроскоп «МЕТАМ ЛВ-41».

3.1.2 Коллекция шлифов.

3.2 Порядок выполнения работы следующий.

3.2.1 Изучить теоретический материал.

3.2.2 Получить от преподавателя раздаточный материал.

3.2.3 Исследовать под микроскопом шлифы чугунов: белых, серых, высокопрочных и ковких. По микроструктуре определить в серых чугунах процентное содержание связанного и свободного углерода.

3.2.4 По структуре определить содержание углерода в чугуне.

Например, в доэвтектоидном чугуне содержится 3% пластинчатого графита, 40% перлита и 60 % феррита (определяется визуально, под микроскопом или по фотографии). Количество углерода в чугуне определяется расчетом:

100% перлита содержит 0,8 % С;

40% перлита содержит X_1 % С;

$X_1 = 40 \times 0,8 / 100 = 0,32$ % С.

100% феррита содержит 0,025 % С;

60% феррита содержит X_2 % С;

$X_2 = 60 \times 0,025 / 100 = 0,015$ % С.

X_3 3 % графита содержит 3 % углерода.

Содержание углерода в чугуне равно: $X_1 + X_2 + X_3 = 3,335\%$.

3.3 Оформление отчета.

- начертить диаграмму состояния железо - цементит, дать определение всем точкам и линиям диаграммы состояния, а также всем структурным составляющим чугуна.

- исследовать и описать микроструктуру заданных образцов чугуна. Зарисовать в тетради каждую структуру.

- определить по микроструктуре процентное содержание углерода в чугунах.

- построить кривые охлаждения для трех сплавов и описать процессы, происходящие в сплавах при охлаждении (в критических точках и в интервале температур между критическими точками).

4 Контрольные вопросы

1 Объясните механизм графитизации серых чугунов.

2 Объясните роль примесей в серых чугунах.

3 Назовите области применения высокопрочных чугунов.

4 Опишите технологию получения высокопрочного чугуна.

5 Что такое модифицирование?

6 От каких факторов зависит конечная структура серых чугунов?

Лабораторная работа 5. Определение твердости материалов

1 Цель работы

Изучить различные методы определения твердости и приобрести практические навыки измерения твердости металлов по Бринеллю.

2 Теоретическое введение

Определение твердости является широко применяемым в заводских и лабораторных условиях способом испытаний для характеристики механических свойств металлов.

Твердость это способность материала сопротивляться проникновению наконечника (индентора) из недеформируемого материала и имеющего форму шарика, конуса, пирамиды. Твердость, определяемая вдавливанием характеризует сопротивление пластической деформации.

Практически, наибольшее применение получила методика определения твердости вдавливанием. В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Протекающая при этом деформация заключается в сравнительно небольшом объеме, окруженном недеформированным металлом. В таких условиях испытания, близких к всестороннему неравномерному сжатию, возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна, по сравнению с получаемыми при других видах механических испытаний. Поэтому при испытаниях твердости вдавливанием, пластическую деформацию испытывают не только пластичные металлы, но и такие материалы как чугун, разрушающиеся при обычных испытаниях хрупко, без заметной пластической деформации. Таким образом твердость характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство металла, отличающееся от других механических свойств методом определения.

Преимущества определения твердости следующие.

1 Между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания и другими механическими свойствами (главным образом пределом прочности), существует количественная зависимость.

Величина твердости характеризует предел прочности металлов, получающих в испытаниях на растяжение сосредоточенную пластическую деформацию (шейку) т.е. большинство сталей, кроме сталей с мартенситной и аустенитной структурой и многих цветных сплавов. Это связано с тем что при испытаниях на растяжение наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению соответствует сосредоточенная пластическая деформация (образование шейки) а не разрушение образца. Такая пластическая деформация аналогична пластической деформации металла в верхних слоях металла при измерении твердости методом вдавливания.

Подобная количественная зависимость не наблюдается для хрупких материалов, которые при других испытаниях разрушаются без заметной пластической деформации, а при измерении твердости получают пластическую деформацию. Однако в ряде случаев (например для серых чугунов) наблюдается качественная зависимость между твердостью и пределом прочности. Возрастаению твердости обычно соответствует увеличение предела прочности.

Твердость определенная вдавливанием характеризует предел выносливости некоторых металлов (медь, дуралюмины).

2 Измерение твердости по технике выполнения значительно проще чем определение прочности, пластичности, ударной вязкости. Оно не требует изготовления специальных

образцов и выполняется на проверяемых деталях после зачистки на поверхности ровной горизонтальной площадки. Измерения твердости выполняются быстро. По методу Роквелла от 30 до 60 сек, а Бринелля от 1 до 3 мин.

3 Измерение твердости не влечет за собой разрушение проверяемой детали и после измерения ее можно использовать по назначению, тогда как для определения прочности, пластичности и вязкости необходимо изготовление специальных образцов из детали.

4 Твердость можно определять на деталях небольшой толщины и даже в очень тонких слоях, не превышающих десятой доли миллиметра. Поэтому многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре свойствам слоев и образцов металла.

Измерение твердости (макротвердости) - в испытуемый материал вдавливаются индентор, проникающий на значительную глубину, зависящую от прилагаемой нагрузки и свойств металла. Если испытание производится шариком диаметром до 10 мм то в деформируемом объеме оказываются представленными все фазы и структурные составляющие сплава в количествах и с расположением характерным для измеряемого материала. Измеренная твердость, в этом случае, должна характеризовать твердость всего испытуемого материала.

Если материал имеет гетерогенную структуру с крупными выделениями отдельных структурных составляющих, различных по свойствам, (например серый чугун, цветные подшипниковые сплавы), то для определения твердости нужно выбирать индентор большого диаметра. Если же металл имеет сравнительно мелкую однородную структуру, то малые по объему участки могут быть достаточно характерными для оценки свойств материала в целом и его твердости в частности. В этих случаях испытания можно проводить вдавливанием индентора меньшего размера, например алмазного конуса или пирамидки, и на меньшую глубину и при небольшой нагрузке. При испытании металлов с высокой твердостью, например закаленной или низкоотпущенной стали это условие является обязательным, т.к. вдавливание шарика может вызвать деформацию шарика и некорректный результат измерения. Значительное изменение нагрузки также нежелательно так как это приведет к значительному изменению объема деформируемого металла и может дать значения нехарактерные для основной массы металла. Поэтому величины нагрузок и размеры получаемых в материале отпечатков должны соответствовать стандартам.

Измерения микротвердости имеет целью определить твердость отдельных зерен, фаз структурных составляющих сплава (а не усредненную твердость, как при измерении макротвердости). В данном случае объем, деформируемый вдавливанием должен быть меньше объема измеряемого зерна. Поэтому нагрузка должна быть небольшой и микротвердость измеряют для характеристики очень небольших по размеру деталей.

Значительное влияние на результаты измерений твердости оказывает состояние поверхности. Если поверхность криволинейная с выступами, то отдельные участки в различной степени участвуют в сопротивлении вдавливанию и деформации, что приводит к ошибкам в измерении. Чем меньше нагрузка для вдавливания, тем более тщательно должна быть подготовлена поверхность.

Макротвердость определяется на шлифованной поверхности, микротвердость на полированной. Измеряемая поверхность должна быть установлена горизонтально, т.е. перпендикулярно действию индентора. Противоположная сторона образца должна быть очищена и не иметь окалина, так как окалина при нагружении образца сминается что искажает результаты измерения

Метод измерения твердости вдавливанием шарика по Бринеллю. Этот метод используется для определения твердости металлов и полимерных материалов. В материал вдавливаются стальной шарик и значения твердости определяют по величине площади отпечатка, оставленного шариком. Шарик вдавливается с помощью пресса. На поверхности образца остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка). Диаметр отпечатка измеряется микроскопом, на окуляре нанесена шкала с делениями, соответствующими 0,05 мм. Диаметр отпечатка измеряется в двух взаимно перпендикулярных направлениях с

точностью до 0,05 мм., для определения твердости принимается среднее значение двух измерений.

Во избежание искажения результатов замеров необходимо соблюдать следующие условия:

- нельзя испытывать материалы с твердостью более НВ 450;
- расстояние от центра отпечатка до края образца не должно быть не менее двух диаметров отпечатков;
- каждое последующее измерение должно производиться на расстоянии не менее двух диаметров от предыдущего отпечатка;
- толщина измеряемого слоя должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка.

Условия испытания должны соответствовать требованиям таблицы 5.1

Таблица 5.1 - Условия в зависимости от характеристик металла и предполагаемой твердости

Металлы	Твердость, НВ	Толщина образца, мм.	Соотношение между нагрузкой и индентором	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, кгс	Выдержка под нагрузкой, с			
Черные	140 - 450	От 6 до 3.	$P = 30 D^2$	10	3000	10			
		От 4 до 2.		5	750	10			
		Менее 2		2,5	187,5	10			
Черные	Менее 140	Более 6.	$P = 10 D^2$	10	3000	10			
		От 6 до 3.		5	250	10			
		Менее 3		2,5	62,5	10			
Цветные	Более 130	От 6 до 3.	$P = 30 D^2$	10	3000	30			
		От 4 до 2.		5	750	30			
		Менее 2		2,5	187,5	30			
Цветные	35 - 130	От 9 до 3.	30	10	3000	30			
		От 6 до 3.	30				5	250	30
		Менее 3	30				2,5	62,5	30
Цветные	8 - 35	Более 6.	$P = 2,5 D^2$	10	259	60			
		От 6 до 3.		5	62,5	60			
		Менее 3		2,5	15,0	60			

Получение постоянной, одинаковой зависимости между величиной нагрузки и диаметром отпечатка, необходимое для точного определения твердости достигается при соблюдении условий в соответствии с требованиями таблицы 5.1. При вдавливании шарика на разную глубину, т.е. с разной нагрузкой для одного и того же материала не соблюдается закон подобия между получаемыми диаметрами отпечатка. Наибольшие отклонения отмечаются, если шарик вдавливается с малой нагрузкой и оставляет отпечаток небольшого диаметра или вдавливается с очень большой нагрузкой и оставляет отпечаток очень большого диаметра, приближающегося по величине к диаметру шарика. Поэтому твердость измеряется при постоянном соотношении между величиной нагрузки P и квадратом диаметра шарика D^2 . Это соотношение должно быть различным для металлов разной твердости. Деформация металла в разных участках под шариком неодинакова. Вызываемая

этим неоднородность напряженного состояния возрастает с увеличением поверхности отпечатка, т.е. величины нагрузки.

В процессе вдавливания, наряду с пластической деформацией происходит упругая деформация индентора. Величина деформации, искажающая результаты измерений возрастает с увеличением твердости измеряемых материалов, поэтому верхний предел измерений твердости не более НВ 450

Большое влияние на измерения твердости оказывает длительность выдержки под нагрузкой. Легкоплавкие металлы, имеющие низкую температуру рекристаллизации испытывают пластическую деформацию в течение некоторого времени после приложения нагрузки. Увеличение времени выдержки стабилизирует пластическую деформацию этих металлов. Для металлов с высокой температурой плавления применяются короткие выдержки (от 10 до 30 сек).

3 Описание установки

Определение твердости на твердомере ТШ-2Б производится следующим образом. Испытуемый образец устанавливается на столике 1 в нижней части неподвижной станины твердомера зашлифованной поверхностью вверх. Поворотом вручную маховика 2 по часовой стрелке столик прибора поднимают так, чтобы шарик мог вдавиться в испытуемую поверхность. Затем нажатием кнопки включают электродвигатель 5, который сначала перемещает коромысло и постепенно нагружает шток и вдавливает шарик под действием нагрузки, сообщаемой подвешенным к коромыслу грузом. Эта нагрузка действует в течение определенного времени (от 10 до 60 сек.). После чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, перемещает коромысло и снимает нагрузку. После автоматического выключения двигателя, поворачивая маховик 2 против часовой стрелки опускают столик прибора и снимается образец. Регулировка реле двигателя изменяет время приложения нагрузки.

4 Порядок выполнения работы и оформление отчета

4.1 Приборы и материалы для выполнения работы.

- Твердомер ТШ - 2.
- Микроскоп МТ.
- Образцовые меры твердости.
- Коллекция образцов.

4.2 Последовательность выполнения работы:

- изучить теоретический материал;
- получить от преподавателя раздаточный материал;
- провести замер твердости различных материалов;
- замерить твердость компаратором в двух взаимоперпендикулярных направлениях.

Число твердости определяется следующим образом:

$$HV = P/F,$$

где P – нагрузка на шарик;

F - площадь поверхности отпечатка.

Полученный результат проверить по таблицам ГОСТ 9012;

Проанализировать результаты замеров, сделать выводы о вероятных режимах термообработки, в результате которых обеспечена твердость.

4.3 Оформление отчета.

- Изобразить схематично твердомер ТШ и указать его основные узлы.
- Записать результаты замера твердости в таблицу.
- Сделать выводы о вероятных режимах термообработки, в результате которых обеспечена твердость.

5 Контрольные вопросы

- 1 Какая связь между твердостью и прочностью?
- 2 Почему нельзя определять методом Бринелля твердость более HB 450?
- 3 Опишите метод определения твердости методом Роквелла?
- 4 Опишите метод определения твердости методом Виккерса?
- 5 Почему при контроле твердости регламентировано время выдержки?

Лабораторная работа 6. Легированные конструкционные стали

1 Цель работы

- 1 Изучить структуру основных марок легированных конструкционных сталей.
- 2 Определить область применения легированных конструкционных сталей.

2 Теоретическое введение

Все применяемые стали могут классифицируются: по химическому составу, структуре, способу производства (качеству) и назначению.

Классификация по химическому составу. По химическому составу стали подразделяются на углеродистые и легированные. Легированная сталь, в которую вводят специальные элементы, изменяющие ее свойства (марганец, кремний, молибден, вольфрам, ниобий, ванадий, алюминий, хром, бор, медь, титан, азот и в некоторых случаях фосфор, сера и др.).

Кроме основных элементов железа и углерода для углеродистых сталей и легирующих элементов для легированных сталей, любая сталь содержит:

- постоянные примеси: марганец до 0,8%, кремний до 0,4%, сера и фосфор;
- скрытые примеси: азот, кислород, водород и другие газы;
- случайные примеси, которые случайно попали в сталь с рудой или ломом.

Примеси и легирующие элементы вступают в определенные взаимодействия с железом, углеродом а также друг с другом и и свойства сталей.

Кремний и марганец вводят в сталь в качестве раскислителей. Растворяясь в феррите, они существенно повышают прочностные показатели. Кроме того, марганец минимизирует вредное влияние серы.

Сера и фосфор являются вредными примесями и их содержание в стали строго регламентируется. Они снижают и прочностные и пластические характеристики и особенно ударную вязкость. Соединения серы с железом вызывает явление красноломкости. Фосфор повышает температуру порога хладноломкости. Сера и фосфор обладают большой склонностью к ликвации и они скапливаются в той части слитка, которая кристаллизуется в последнюю очередь.

Скрытые примеси (газы) находятся в свободном состоянии, в виде твердого раствора и главным образом в виде неметаллических включений (оксидов и нитридов).

По отношению к углероду все легирующие элементы делятся на некарбидообразующие- никель, кобальт, медь, в периодической системе эти элементы стоят правее железа, и карбидообразующие, марганец, хром, молибден и др., в периодической системе эти элементы стоят левее железа. Причем, чем левее стоит элемент в периодической системе, тем он активней соединяется с углеродом. При введении в сталь небольшого количества карбидообразующих элементов, они, растворяясь в цементите образуют легированный цементит. При введении в сталь большого количества карбидообразующих элементов, они образуют специальные карбиды.

Все карбиды можно разделить на две группы.

1 Сложные карбиды типа Me_3C , Me_7C_2 , Me_6C , $Me_{23}C_6$. эти карбиды имеют сравнительно низкую температуру плавления и при соответствующей температуре нагрева растворяются в аустените. Их называют вторичными карбидами.

2 Простые карбиды типа MeC и Me_2C . Эти карбиды имеют простую кристаллическую решетку и высокую температуру плавления и практически не растворяются в аустените. Они относятся к фазам внедрения и их называют первичными.

Все карбиды обладают высокой твердостью и оказывают существенное влияние на свойства стали.

При взаимодействии легирующих элементов с железом могут образовываться химические соединения (интерметаллиды) и твердые растворы замещения (кроме бора).

Легирующие элементы не образующие карбидов в стали находятся в виде твердых растворов с железом. Карбидообразующие элементы будут находиться, как в карбидах, так и в твердом растворе. Легирующие элементы оказывают различное влияние на температуру аллотропического превращения железа.

По влиянию на температуру аллотропического превращения все легирующие элементы разделяются на легирующие элементы расширяющие γ - область (рисунок 6.1, аустенитообразующие) и расширяющие α -область (ферритизирующие, рисунок 6.2).

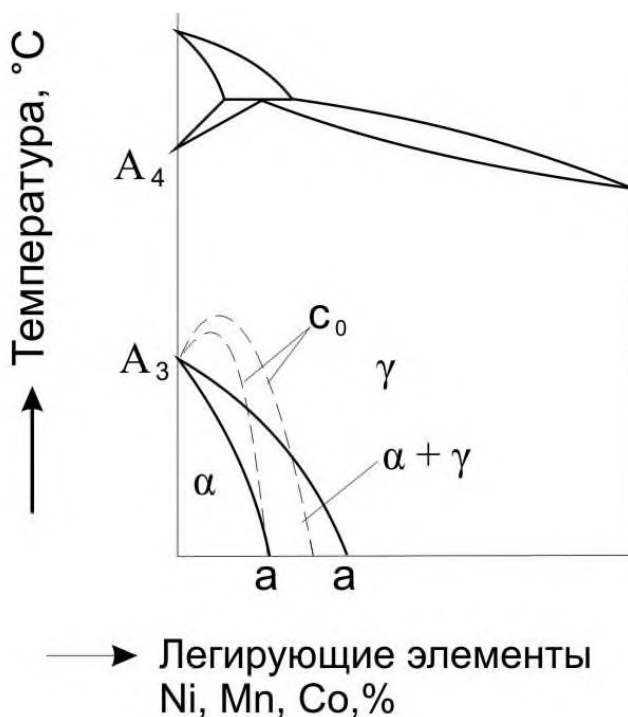


Рисунок 6.1 – Диаграмма состояния системы железа – легирующие элементы расширяющие γ -область

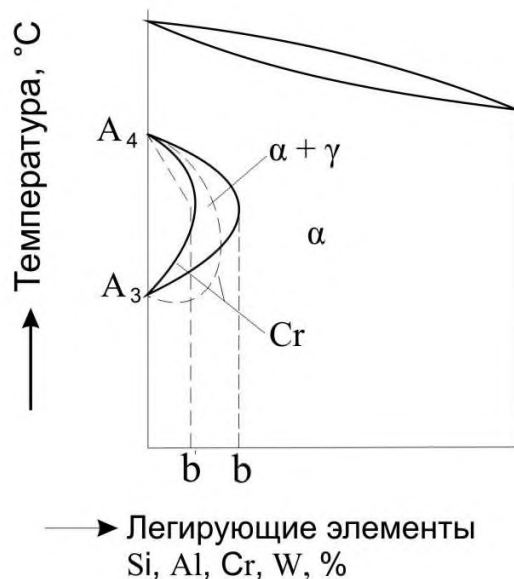


Рисунок 6.2 – Диаграмма состояния системы железо – легирующие элементы расширяющие α -область

Легирующие элементы первой группы повышают точку A_4 и понижают точку A_3 , т.е. расширяют γ - область (рисунок 6.1), к ним относятся никель, марганец, кобальт а также углерод. Сплавы претерпевают $\alpha - \gamma$ превращение.

Легирующие элементы второй группы понижают точку A_4 и повышают точку A_3 . К ним относится хром, молибден, титан и др. (рисунок 6.2). Сплавы содержащие легирующие элементы в количестве больше чем в точке b не претерпевают $\alpha - \gamma$ превращение. Все легирующие элементы сдвигают точки S и E в системе железо - цементит влево, в сторону меньших концентраций углерода. Легирующие элементы расширяющие γ - область понижают критические точки A_3 и A_1 т.е. температуры аллотропического и эвтектоидного превращения. Легирующие элементы расширяющие α -область, повышают критические точки.

Классификация сталей по структуре. Легированные стали по структуре в отожженном состоянии можно разделить на доэвтектоидные (структура легированный феррит и перлит), заэвтектоидные (структура перлит и вторичные карбиды) и ледебуритные (структура перлит, вторичные карбиды и ледебурит).

При введении в сталь легирующих элементов, расширяющих γ - область получим диаграмму приведенную на рисунке 6.3. При этом образуется пять классов сталей:

- I – доэвтектоидный;
- II – заэвтектоидный;
- III – ледебуритный;
- IV - полуаустенитный;
- V - аустенитный.

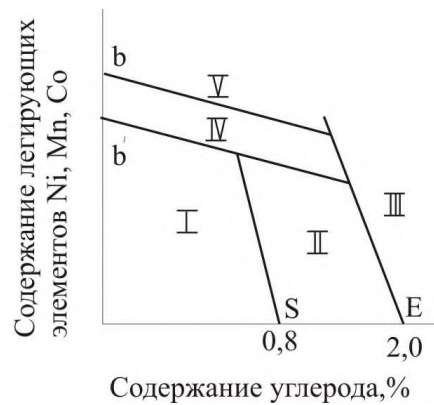


Рисунок 6.3 – Структурные диаграммы стали легированной элементами расширяющими γ -область

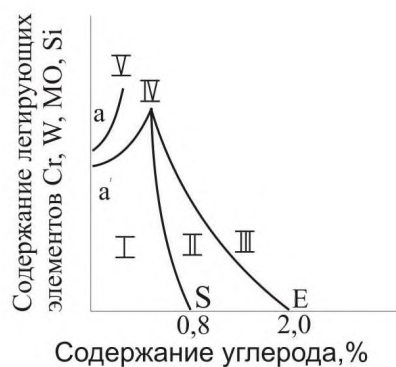


Рисунок 6.4 – Структурные диаграммы стали легированной элементами расширяющими α -область

При введении в сталь легирующих элементов расширяющих α -область получим диаграмму приведенную на рисунке 6.4 В этом случае имеется пять классов сталей:

- I - доэвтектоидный;
- II - заэвтектоидный;
- III - ледебуритный;
- IV - полуферритный;
- V - ферритный.

Классификация легированных сталей по структуре в нормализованном состоянии. В основу классификации положено влияние легирующих элементов на диаграмму изотермического распада и температуру начала и конца мартенситного превращения. В зависимости от структуры в нормализованном состоянии, полученной на образцах диаметром 25 мм. различают стали перлитного, мартенситного и аустенитного класса (рисунки 6.5 - 6.7).

К сталям перлитного класса относятся углеродистые и легированные доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали. В структуре доэвтектоидных сталей содержатся, кроме феррито - карбидной смеси избыточный феррит, а заэвтектоидные стали – избыточный вторичный цементит. По назначению это могут быть конструкционные и инструментальные стали. У сталей мартенситного класса, конечная структура состоит из мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита.

Стали мартенситного класса обязательно содержат повышенное (от 5 до 13%) количество легирующих элементов. По назначению это могут быть легированные конструкционные, инструментальные, жаропрочные стали. К сталям аустенитного класса относятся легированные стали, содержащие в сумме от 13 до 30 % легирующих элементов

Mn, Ni, Cr. По назначению это стали с особыми свойствами: нержавеющие, коррозионностойкие, кислотостойкие и т.д.

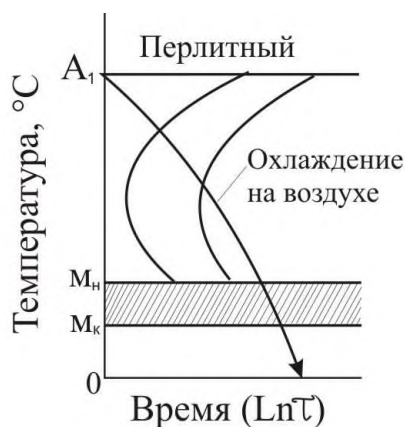


Рисунок 6.5 – Диаграмма изотермического распада аустенита различных классов сталей перлита мартенситного

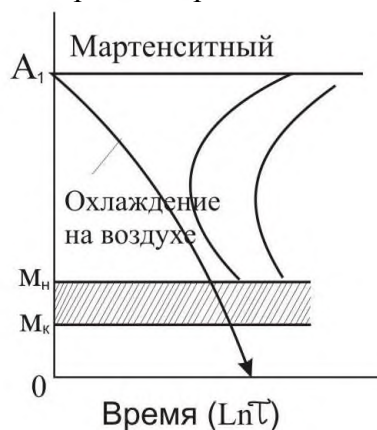


Рисунок 6.6 – Диаграмма изотермического распада аустенита различных классов сталей перлитного класса



Рисунок 6.7 – Диаграмма изотермического распада аустенита различных классов сталей аустенита

Конструкционные стали используются для изготовления деталей машин строительных конструкций и сооружений, к ним предъявляются следующие требования:

- 1 сочетание высокой прочности и достаточной пластичности;
- 2 хорошие технологические свойства;
- 3 экономичность и недефицитность.

Конструкционные стали, в зависимости от назначения можно условно разделить на следующие подгруппы.

Конструкционные стали, идущие для изготовления деталей машин, как правило, подвергаемые термической обработке.

Их можно разделить на цементуемые (подвергаемые цементации) и улучшаемые (подвергаемые закалке и высокому отпуску).

Близкие по составу к конструкционным, но не предназначенные для термической обработки у потребителя входят в группу строительных (низколегированных) сталей.

Влияние легирующих элементов на свойства стали. В конструкционных и инструментальных сталях легирующие элементы встречаются в основном в виде твердого раствора α - железа, γ - железа и карбидов, а в высоколегированных сталях могут встречаться в виде интерметаллидов.

Легирующие элементы оказывают существенное влияние на технологические механические и другие свойства стали. Легирующие элементы в свободном состоянии сильно ухудшают все свойства стали, поэтому такие элементы как серебро свинец и медь присутствуют в стали в виде примесей. Основное назначение легирующих элементов в стали определяется условиями эксплуатации деталей машин.

Все легирующие элементы в разной степени изменяют прочность феррита одновременно снижают ударную вязкость. Влияние легирующих элементов сложно и должно рассматриваться в каждом конкретном случае.

Влияние легирующих элементов на термическую обработку стали. Все легирующие элементы уменьшают теплопроводность, поэтому нагрев, во избежание возникновения внутренних напряжений следует производить медленно. Все легирующие элементы, кроме марганца и никеля повышают, температуру нагрева стали при термообработке. Аналогично, увеличивается время технологической выдержки. Все легирующие элементы, кроме марганца тормозят рост зерна при нагреве, а также измельчают зерно при выплавке. Все легирующие элементы, кроме кобальта, уменьшают критическую скорость закалки (сдвигают диаграмму изотермического превращения вправо), следовательно, увеличивают прокаливаемость стали. Все легирующие элементы, кроме алюминия, кобальта и кремния снижают температуры начала и конца мартенситного превращения, увеличивают количество остаточного аустенита. Легирующие элементы оказывают существенное влияние на превращения при отпуске и соответственно влияют на механические свойства стали.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Металлографический микроскоп «МЕТАМ ЛВ-41».

3.1.2 Коллекция шлифов.

3.2 Последовательность выполнения работы:

- изучить теоретический материал;
- получить от преподавателя раздаточный материал - коллекцию шлифов или альбом микрофотографий;
- исследовать микроструктуру различных марок конструкционных сталей;
- определить химический состав по марке, исходя из химического состава, ориентировочно определить класс стали по структуре;
- описать влияние легирующих элементов на свойства стали в исходном состоянии и указать основное назначение легирующих элементов;
- охарактеризовать и схематично зарисовать микроструктуру конструкционных сталей в соответствии с таблицей 6.1.

Таблица 6.1 – Список марок исследуемых сталей

№ п/п	Марка стали	Вид термической обработки	Увеличение	Травитель	Примечание
1	40X	Отжиг при температуре 860°С	100-500	4% р-р HNO ₃ в спирте	
2	40X	Улучшение	"	"	
3	09Г2С	Нормализация при температуре 920°С	"	"	
4	40ХН	Улучшение	"	"	
5	38ХМ	Улучшение	"	"	

Для шлифов 1, 3, 4, 5 указать класс по структуре в отожженном и нормализованном состоянии и схематично начертить диаграммы изотермического распада аустенита, указать критические скорости закалки и показать структуры, получаемые при различных скоростях охлаждения.

3.3 Данные, полученные п.3.2 оформить в отчет.

4 Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение аллотропического превращения.
- 2 По каким характеристикам можно судить о конструктивной прочности стали?
- 3 Приведите специфические недостатки легированных сталей.
- 4 Какой легирующий элемент одновременно увеличивает и прочность и ударную вязкость?
- 5 Какие легирующие элементы наиболее сильно измельчают зерно в сталях?
- 6 Дайте определение, что такое закаливаемость и прокаливаемость сталей.
- 7 Какие факторы определяют критическую скорость закалки?
- 8 Какие требования предъявляются к строительным сталям?
- 9 Какие требования предъявляются к инструментальным сталям?
- 10 Какую структуру должна иметь инструментальная заэвтектоидная сталь после неполной закалки и почему этот режим является оптимальным?
- 11 Чем сорбит закалки отличается от сорбита отпуска?

Лабораторная работа 7. Инструментальные стали

1 Цель работы

- 1 Изучить структуру важнейших марок легированных инструментальных сталей.
- 2 Определить область применения легированных инструментальных сталей.

2 Теоретическое введение

Инструментальные стали применяются для обработки материалов резанием и давлением и обладают определенными свойствами (твердостью, теплостойкостью, износостойкостью и др.

Классификация и основные свойства сталей.

Основными свойствами инструментальных сталей для всех видов инструментов являются твердость, вязкость, износостойкость, теплостойкость (красностойкость) прокаливаемость. Кроме того для отдельных видов инструментов большое значение имеют такие свойства, как теплопроводность, разгаростойкость, окалиностойкость, устойчивость против схватывания (адгезия) и налипания, некоторые механические свойства.

Твердость является главным показателем качества инструмента. Величина твердости назначается в зависимости от условий эксплуатации инструмента и определяется химическим составом и прежде всего содержанием углерода. Твердость зависит от

полученной структуры. Мартенсит и избыточная карбидная фаза увеличивают твердость, остаточный аустенит ее уменьшает.

Вязкость инструментальной стали характеризует эксплуатационную надежность инструмента и зависит от структуры, карбидной неоднородности, неметаллических включений и прежде всего от твердости. Твердость и вязкость - противоположные свойства инструментальных сталей. Повышение твердости, как правило, вызывает понижение вязкости.

По твердости и вязкости инструментальные стали классифицируются на стали высокой твердости (HRC от 58 до 65), пониженной вязкости и стали повышенной вязкости но пониженной твердости (HRC от 40 до 55).

Износостойкость инструментальной стали, т.е. способность сопротивляться различным видам изнашивания поверхности является характеристикой долговечности работы инструмента. Она определяется составом, структурой и свойствами стали, а также свойствами обрабатываемого изделия, условиями эксплуатации инструмента.

Характер износа различается: абразивный, эрозионный, адгезионный, диффузионный. Сталь одной и той же марки может обладать различной износостойкостью, в зависимости от технологии обработки и условий эксплуатации. Общей классификации по износостойкости нет, поскольку на нее влияет большое количество различных факторов.

Теплостойкость или красностойкость инструментальных сталей характеризуется температурой, до которой сохраняется заданная высокая твердость, прочность и износостойкость стали, т.е. обеспечиваются свойства инструмента, необходимые для его эксплуатации. Теплостойкость характеризует способность инструмента сопротивляться изменению структуры и свойств рабочих поверхностей инструмента при разогреве в процессе эксплуатации. Теплостойкость определяет стойкость стали против отпуска.

По теплостойкости стали разделяют на нетеплостойкие (сохраняющие твердость при нагреве в интервале температур от 200 до 300°C), полутеплостойкие (от 400 до 500°C) и теплостойкие от 550 до 600°C. Увеличение температуры теплостойкости существенно повышает срок службы инструмента. Так повышение температуры эксплуатации до 640 °C повышает срок эксплуатации в 3 раза, а до 700 °C в 15 раз.

Прокаливаемость инструментальных сталей характеризует твердость инструмента по сечению. Она определяется устойчивостью переохлажденного аустенита. Прокаливаемость во многом определяет твердость инструмента на поверхности после закалки.

По прокаливаемости инструментальные стали делят на стали неглубокой прокаливаемости (углеродистые и низколегированные) и стали глубокой прокаливаемости (легированные и высоколегированные).

Основные признаки, по которым классифицируют стали: структура, состав, назначение.

По составу инструментальные стали подразделяют на углеродистые, низколегированные, легированные и высоколегированные.

По структуре в равновесном состоянии, определяемым составом стали на доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные и ледебуритные. Большинство инструментальных сталей являются заэвтектоидными и ледебуритными. Как правило, такие стали имеют высокую твердость и низкую вязкость. Небольшое количество инструментальных сталей является доэвтектоидными. Они обладают повышенной твердостью и повышенной вязкостью

По назначению инструментальные стали делят на стали для режущего инструмента, штамповые для холодного деформирования, штамповые стали для горячего деформирования и стали для измерительного инструмента.

Стали для режущего инструмента изготавливают из нетеплостойких или теплостойких высоколегированных сталей.

Нетеплостойкие стали для режущего инструмента. Из этих сталей можно изготавливать инструмент, который в процессе резания не разогревается выше 100 - 150°C. Инструменты, не подвергаемые в процессе эксплуатации ударным нагрузкам, можно

изготавливать из сталей повышенной твердости. При выборе стали необходимо учитывать прокаливаемость. Эксплуатационные свойства прочность, твердость, износостойкость, пластичность определяется прежде всего количеством углерода в стали. Технологические свойства и прежде всего прокаливаемость, определяется легированием. Основными легирующими элементами в этих сталях являются хром, кремний, марганец, вольфрам, ванадий. Особенно высокую прокаливаемость имеют комплекснолегированные стали ХВГ, ХВСГ. Вольфрам и ванадий, главным образом предотвращают рост зерна аустенита при нагреве.

Хром. Увеличивает прокаливаемость и является наиболее упрочняющим компонентом т.к. является основой специального карбида $Me_{23}C_6$.

Кремний и марганец существенно повышают прочностные показатели и прокаливаемость. Присадка кремния также повышает стойкость против отпуска. В сталях легированных кремнием пониженное количество остаточного аустенита. Недостатками кремнийсодержащих сталей являются склонность к обезуглероживанию, пониженная обрабатываемость резанием.

Быстрорежущие стали. Имеют в своем составе сравнительно невысокое содержание углерода (0,7 - 0,95 %С) и высокое содержание легирующих элементов (до 25 %). Основными легирующими элементами являются вольфрам (6 - 18%); хром (до 4%); ванадий (1 - 6%); молибден (до 5 %).

Дополнительное повышение теплостойкости осуществляется легированием кобальтом (5 - 10 %). Быстрорежущие стали относятся к ледебуритному классу и равномерное распределение карбидов по структуре обеспечивает оптимальные технологические свойства стали. Структура отожженной быстрорежущей стали – сорбитообразный перлит избыточные карбиды (до 25%). Структура закаленной стали мартенсит и значительное количество (до 25%) остаточного аустенита. Максимальную твердость (65HRC) обеспечивает трехкратный отпуск при температуре 550°C

Штамповые стали.

Стали для штампов холодной штамповки. Основные требования: высокая твердость, износостойкость, прочность, сопротивление пластическим деформациям и повышенная вязкость.

Для штампов холодного деформирования в большинстве случаев используются стали применяемые для изготовления режущих инструментов. Для деталей небольшого сечения (до 20 мм) применяют углеродистые стали с твердостью от 57 до 59 HRC.

В случае сечений большего размера применяются стали X, 9XC, ХВГ.

Быстрорежущие стали, вследствие пониженной вязкости используются очень редко.

Особую группу составляют высокохромистые стали (6 - 12 %) эти стали относятся к ледебуритному классу и являются полутеплостойкими. Эти стали в литом состоянии содержат первичные карбиды, соответственно. Для устранения карбидной неоднородности эти стали подвергаются интенсивной пластической деформации. Для них характерна глубокая прокаливаемость (до 300 мм), высокая твердость и износостойкость. Деформации после закалки сводятся к минимуму.

Стали для штампов горячего деформирования. Дополнительными требованиями к сталям этого назначения будут: высокая разгаростойкость (устойчивость против образования трещин при многократном нагреве и охлаждении), высокая окалиностойкость, хорошая теплопроводность для обеспечения хорошего теплоотвода тепла от рабочих поверхностей, глубокая прокаливаемость, для обеспечения высокой прочности по всему сечению инструмента.

Для изготовления молотовых штампов, работающих при незначительной длительности соприкосновения с горячим металлом применяются стали 5ХНМ, 5ХНВ. Эти стали имеют хорошую прокаливаемость, высокую прочность и вязкость. Структура после отпуска - сорбит. Для штампов, работающих в условиях длительного контакта с горячим металлом применяют стали повышенной теплостойкости: 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 3Х2В8Ф.

Влияние легирующих элементов на свойства стали.

В инструментальных сталях легирующие элементы встречаются главным образом в виде твердого раствора α -железа, γ -железа и карбидов, а в высоколегированных сталях могут встречаться в виде интерметаллидов. Легирующие элементы оказывают существенное влияние на технологические, механические и другие свойства стали. Основное назначение легирующих элементов в стали определяется условиями эксплуатации деталей машин

Все легирующие элементы в разной степени изменяют прочность феррита одновременно снижают ударную вязкость. Влияние легирующих элементов сложно и не аддитивно и должно рассматриваться в каждом конкретном случае.

Влияние легирующих элементов на термическую обработку стали.

Все легирующие элементы уменьшают теплопроводность, поэтому нагрев, во избежание возникновения внутренних напряжений следует производить медленно. Все легирующие элементы, кроме марганца и никеля повышают, температуру нагрева стали при термообработке. Аналогично, увеличивается время технологической выдержки. Почти все легирующие элементы, кроме марганца тормозят рост зерна при нагреве, а также измельчают зерно. Легирующие элементы, кроме кобальта уменьшают критическую скорость закалки (сдвигают диаграмму изотермического превращения вправо), следовательно, увеличивают прокаливаемость стали. Все легирующие элементы, кроме алюминия, кобальта и кремния снижают температуры начала и конца мартенситного превращения, количество остаточного аустенита. Легирующие элементы оказывают существенное влияние на превращения при отпуске и соответственно влияют на механические свойства стали.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Металлографический микроскоп «МЕТАМ ЛВ-41».

3.1.2 Коллекция шлифов.

3.2 Последовательность выполнения работы:

- изучить теоретический материал;
- получить от преподавателя раздаточный материал - коллекцию шлифов и альбом микрофотографий;

- исследовать микроструктуру различных марок инструментальных сталей.

Определить химический состав по марке, исходя из химического состава, ориентировочно определить класс стали по структуре. Описать влияние легирующих элементов на свойства стали в исходном состоянии и указать основное назначение легирующих элементов.

Исследовать, охарактеризовать и схематично зарисовать микроструктуру инструментальных сталей в соответствии с таблицей 7.1.

Таблица 7.1 – Марки исследованных сталей

№ п/п	Марка стали	Вид термической обработки	Увеличение	Травитель
1	9ХС	Отжиг	100 - 500	4% р - р HNO ₃ в спирте
2	Р6М5	Закалка и 3-х кратный отпуск	"	"
3	Х12М	Закалка и низкотемпературный отпуск	"	"
4	5ХНМ	Улучшение	"	"
5	4Х5МФС	Улучшение	"	"

Для шлифов 1, 3, 4, 5 указать класс по структуре в отожженном и нормализованном состоянии и схематично начертить диаграммы изотермического распада аустенита, указать критические скорости закалки и показать структуры, получаемые при различных скоростях охлаждения.

3.3 Данные, полученные в п.3.2 оформить в отчет.

4 Контрольные вопросы

- 1 Почему заэвтектидные стали подвергают неполной закалке?
- 2 Как маркируют быстрорежущие стали?
- 3 Приведите специфические недостатки легированных сталей.
- 4 Что такое теплостойкость, как влияет легирование на эту характеристику?
- 5 Какие легирующие элементы наиболее сильно измельчают зерно в сталях?
- 6 Дайте определение закаливаемости и прокаливаемости сталей.
- 7 Какие факторы определяют критическую скорость закалки?
- 8 Какие требования предъявляются к штамповым сталям?
- 9 Какие требования предъявляются к штамповым сталям для горячего деформирования?
- 10 Какую структуру должна иметь инструментальная заэвтектоидная сталь после неполной закалки и почему этот режим является оптимальным?
- 11 Чем сорбит закалки отличается от сорбита отпуски?
- 12 Какими способами можно уменьшить коробление деталей в процессе закалки?

Лабораторная работа 8. Стали с особыми свойствами

1 Цель работы

- 1 Изучить структуру важнейших марок сталей с особыми свойствами.
- 2 Определить область применения сталей с особыми свойствами.

2 Теоретическое введение

Стали с особыми свойствами объединяют большую группу высоколегированных сталей общим для всех является наличие какого либо специального качества, отличающего от других .

Классификация и основные свойства. К сталям с особыми свойствами относятся:

- а) нержавеющие (коррозионностойкие);
- б) жаропрочные, окалиностойкие;
- в) износостойкие;
- г) сплавы с особым тепловым расширением;
- д) стали с особыми магнитными свойствами;
- е) сплавы с высоким электросопротивлением;
- ж) стали для криогенной техники.

В криогенной технике основным конструкционным материалом являются коррозионно-стойкие аустенитные стали. Они отличаются от хладостойких особо высокими пластичностью и вязкостью, их применяют при температурах (до - 269 °С). Из них изготовляют криогенное оборудование с применением любых способов холодной обработки давлением и сварки.

Аустенитные стали применяют в закаленном состоянии: нагрев до 1050 - 1150°С с охлаждением в воде или на воздухе с интенсивным обдувом (тонкостенные изделия). Закаленные аустенитные стали имеют наивысшие пластичность и вязкость, а также коррозионную стойкость. Из-за выделения карбидов и карбонитридов по границам зерен аустенита при замедленном охлаждении или при последующем нагреве закаленной стали в процессе сварки либо пайки может снизиться ударная вязкость, что особенно нежелательно при низких температурах. Выделение карбидов может способствовать развитию межкристаллитной коррозии (МКК).

Аустенитные хромоникелевые стали. Благодаря сохранению высокой пластичности и вязкости (до - 269 °С), коррозионной стойкости и хорошим технологическим свойствам эти стали являются основным конструкционным материалом для криогенной техники.

Стабильность аустенитной структуры зависит от химического состава, температуры и деформации стали.

В первую группу входят стали: 12X18H9, 08X18H10, 12X18H10T и др.

Их высокая коррозионная стойкость обусловлена высоким содержанием хрома. При сварке или пайке из-за образования по границам зерен карбидов хрома и обеднения пограничного слоя хромом, у этих сталей появляется склонность к межкристаллитной коррозии.

Стали этого типа, характеризуются высокой технологичностью. Они хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях, хорошо подвергаются пайке и свариваются. После сварки термообработка обычно не требуется. Лишь в отдельных случаях при сложной форме свариваемых элементов рекомендуется термообработка после сварки.

Пайку производят серебряными, оловянно - свинцовыми и свинцово - кадмиевыми припоями и рекомендуется термообработка после сварки. Последние обладают наиболее высокой прочностью из всех применяемых припоев. Наиболее широко применяют сталь 12X18H10T.

Модуль упругости стали 12X18H10T с понижением температуры увеличивается.

Сталь 12X18H10T характеризуется относительно малой чувствительностью к многократно повторяемым сменам температуры под нагрузкой.

Хромоникелевые аустенитные стали типа 12X18H10T и стали с большим содержанием никеля применяют для изготовления сварных элементов химических аппаратов, емкостей, трубопроводов (обечаек, днищ, патрубков, фланцев), деталей арматуры (штоков, клапанов, седел и т. п). Температура эксплуатации сварных соединений от —269 до + 600 °С.

Таблица 8.1 - Механические свойства сварных соединений из стали 12X18H10T при низких температурах

Вид сварки	Т, °С	σ _в шва, МПа		КСУ*, Дж/см ²
		с усилением	без усиления	
Односторонняя	20	600	550	-
	-196	800	-	-
Двусторонняя	20	620	580	150
	-196	960	920	60

К недостаткам аустенитных хромоникелевых сталей относятся низкий предел текучести при 20 °С и высокая стоимость.

Аустенитные хромомарганцевые стали. По комплексу механических свойств оптимальными являются стали с содержанием Сг от 12 до 14 % и Мп от 17 до 20%. Дополнительное упрочнение достигается за счет введения азота.

Сталь 03X13AG19 применяется до температур - 196° С для статически нагруженных сварных конструкций, с понижением температуры происходит более интенсивный рост предела текучести, чем у хромоникелевых сталей. Она достаточно технологична, хорошо деформируется, является коррозионно - стойкой формируется в горячем и удовлетворительно в холодном состоянии. Термическая обработка: закалка с температуры 980° С с охлаждением в воде. Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием и хорошо сваривается всеми видами сварки. Вязкость сварных соединений удовлетворяет требованиям криогенной техники.

Сталь 03X13AG19 используется в атмосфере и неагрессивных средах. Ее применяют для изготовления элементов сварных конструкций обечаек, днищ, патрубков, фланцев. Минимальная температура эксплуатации статически нагруженных конструкций -196° С, при динамических нагрузках до -120 °С.

В криогенной технике применяется экономнолегированная коррозионно-стойкая хромоникельмарганцевая аустенитная сталь 10X14Г14Н4Т, удовлетворительно обрабатывается давлением и резанием, хорошо сваривается. Ее применяют в криогенной

технике для изготовления сварных элементов сосудов (обечаек, днищ, фланцев патрубков) и трубопроводов, работающих при температуре - 196...+500 °С, а также сосудов, работающих под давлением.

Таблица 8.2 - Механические свойства стали 10Х14Г14Н4Т при различных температурах

Температура, °С	σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²
	МПа		%		
20	710	270	61	67	210
-196	1360	430	40	55	200
-253	1400	450	20	35	170

В криогенной технике применяются следующие хромоникельмарганцевые стали с азотом: 07Х21Г7АН5, 07Х13Н4АГ20 и 03Х20Н16АГ6.

Сталь 07Х21Г7АН5 применяют для изготовления несварных крепежных деталей типа подвесок, шпилек, гаек, болтов, работающих при температурах до - 253°С. Сталь удовлетворительно обрабатывается давлением, резанием.

Сталь 07Х13Н4АГ20 используют для изготовления сварных элементов сосудов и аппаратов обечаек, днищ, патрубков, температуры эксплуатации до -196 °С. Применяют для изготовления сосудов, работающих под давлением. Сталь удовлетворительно деформируется в горячем и холодном состояниях, удовлетворительно обрабатывается резанием и хорошо сваривается. Термообработка: нагрев до температуры 1000°С, охлаждение в воде или на воздухе при интенсивном обдуве.

Сталь 04Х20Н16АГ8М2Ф имеет удовлетворительную обрабатываемость давлением и резанием, хорошо сваривается с применением всех видов сварки. Эту сталь рекомендуется использовать для силовых элементов сверхпроводящих устройств и криогенных установок, работающих при температурах до - 269 °С.

Аустенитные метастабильные стали. Существует ряд деталей и узлов, стабильности структуры которых в процессе эксплуатации не требуется. Для их изготовления применяют аустенитные метастабильные стали. Образующийся в процессе низкотемпературного деформирования мартенсит может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на механические свойства.

Сталь применяют для изготовления топливных баков, сосудов для жидкого водорода и природного газа. Термообработка: горячая прокатка при температурах 1200 - 900°С и аустенитизации при температуре 1150 °С с охлаждением в воде. Сталь обладает хорошей свариваемостью, механические свойства сварных соединений близки к свойствам основного металла.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы.

3.1.1 Металлографический микроскоп «МЕТАМ ЛВ-41».

3.1.2 Коллекция шлифов.

3.2 Последовательность выполнения работы:

- изучить теоретический материал;
- получить от преподавателя раздаточный материал - коллекцию шлифов и альбом микрофотографий;
- изучить микроструктуру различных марок сталей с особыми свойствами;
- определить химический состав по марке, исходя из химического состава, ориентировочно определить класс стали по структуре;
- описать влияние легирующих элементов на свойства стали в исходном состоянии и указать основное назначение легирующих элементов;
- охарактеризовать и схематично зарисовать микроструктуру сталей в соответствии с таблицей 8.3.

Таблица 8.3– Марки исследуемых сталей

№ п/п	Марка стали	Вид термической обработки	Увеличение	Травитель	Примечание
1	30X13	Отжиг	100 - 500	4% р-р HNO ₃ в спирте	
2	12X18 Н10Т	Закалка	"	"	
3	ШХ15	Закалка и низкотемпературный отпуск	"	"	

Для шлифов 1, 3 указать класс по структуре в отожженном и нормализованном состоянии и схематично начертить диаграммы изотермического распада аустенита, указать критические скорости закалки и показать структуры, получаемые при различных скоростях охлаждения.

3.3 Данные, полученные в п.3.2 оформить в отчет.

4 Контрольные вопросы

1 Почему электротехнические стали подвергают деформации с критической степенью?

2 Как маркируют электротехнические стали?

3 В чем преимущества коррозионностойких сталей аустенитного класса?

4 Что такое жаропрочность, как влияет легирование на эту характеристику?

5 Какие легирующие элементы наиболее сильно измельчают зерно в сталях?

6 Перечислите износостойкие стали.

7 Какие факторы определяют критическую скорость закалки?

8 Какое минимальное содержание хрома должно быть в стали, чтобы она стала нержавеющей?

9 Дайте определения жаропрочности и жаростойкости.

Лабораторная работа 9. Выбор режимов термической обработки

1 Цель работы

1 Изучить превращения переохлажденного аустенита при охлаждении.

2 Изучить превращения при нагреве закаленной стали.

3 Получить практические навыки назначения режимов термической обработки.

2 Теоретическое введение

В процессе изготовления, различные изделия подвергаются упрочняющей термической обработке. Наиболее распространенным видом термической обработки углеродистых сталей является закалка с последующим отпуском.

Закалка стали - термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали выше температур фазовых превращений, выдержке при этой температуре и охлаждении со скоростью выше критической. Возможность изменения структуры и свойств сталей при термической обработке обусловлена наличием фазовых превращений в твердом состоянии. При охлаждении аустенита с различными скоростями достигается разная степень его переохлаждения. Вследствие этого возможно получение продуктов распада аустенита, отличающихся по строению и свойствам.

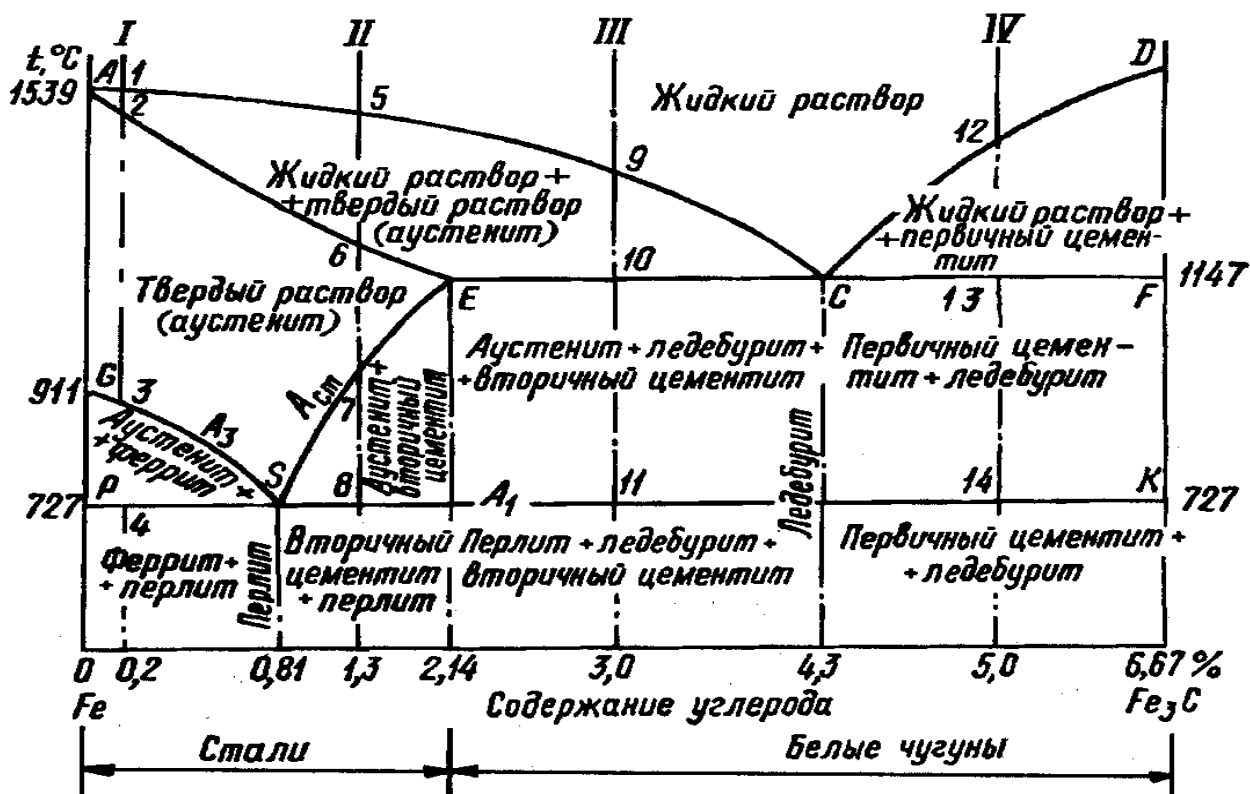


Рисунок 9.1 – Критические точки на диаграмме состояния Fe—Fe₃C в сплавах

Структура доэвтектоидной стали при нагреве ее до критической точки A_{c1} представляет собой смесь перлита и феррита (рисунок 9.1). В точке A_{c1} начинается фазовая перекристаллизация перлита, т. е. превращение его в мелкозернистый аустенит. При дальнейшем нагреве (от точки A_{c1} до точки A_{c3}) избыточный феррит растворяется в аустените, при достижении точки A_{c3} , (линия GS) этот процесс заканчивается. Выше точки A_{c3} структура стали становится аустенитной.

При нагреве заэвтектоидной стали выше температуры точки A_{c1} в аустените начинает растворяться избыточный цементит. Выше точки A_{cm} (линия ES) сталь состоит только из аустенита, неоднородного по химическому составу. В тех местах, где был цементит, аустенит богаче углеродом, а там, где был феррит, — беднее. Поэтому при термической обработке для выравнивания химического состава аустенита сталь нагревают до температуры, немного выше верхней критической точки A_{c3} , и выдерживают при этой температуре.

При повышении температуры выше точки A_{c3} мелкие зерна аустенита соединяются между собой, размеры их увеличиваются.

Важной характеристикой структуры стали является размер зерна аустенита. При охлаждении стали аустенит испытывает превращения и формирование новой структуры, что существенно зависит от размера зерна аустенита. Чем меньше зерна аустенита, тем меньше будут размеры зерен феррита и перлита, а в закаленных сталях меньше размеры кристаллов мартенсита. Мелкозернистый аустенит способствует улучшению механических свойств стали. Увеличивается сопротивление хрупкому разрушению. Снижается температурный порог хрупкости T_{50} . В закаленных сталях со структурой мартенсита сопротивление хрупкому разрушению увеличивается при уменьшении размеров кристаллов мартенсита. Размер зерна аустенита в сталях может быть от миллиметра до микронов. Его определяют различными способами, но в основном металлографическим анализом. ГОСТ 5639-82 регламентирует размеры зерен, которые характеризуются его номером: -3, -2, -1, 0, 1, 2 ... 14. Чем больше номер, тем мельче зерно. Например: средний диаметр зерна номера -3

составляет 0,001 мм, номера 7 — 0,031 мм, номера 14 — 0,0027 мм. Крупные зерна: с номерами от -3 до 4; мелкие — с номерами от 5 до 8.

При скорости нагрева в термических печах начальное зерно аустенита имеет номера 8 - 10. При нагреве концентрированными потоками энергии (лазер, электронный луч, ТВЧ и др.) начальное зерно получается более мелким — вплоть до номера 14.

Аустенит устойчив только при температурах выше 727 °С (рисунок 9.1, точка A_{r1}). При охлаждении стали, нагретой до аустенитного состояния, ниже точки A_{r1} начинается распад аустенита. При медленном охлаждении эвтектоидной углеродистой стали (0,81 % углерода) при температуре, соответствующей линии PSK происходит превращение аустенита в перлит. Кристаллическая решетка γ -железа перестраивается в α -железо, выделяется цементит. Изучение процесса превращения аустенита в перлит проводится при постоянной температуре (в изотермических условиях) и непрерывном охлаждении.

На рисунке 9.1 показана диаграмма изотермического превращения аустенита при постоянной температуре. По оси ординат указана температура, по оси абсцисс — время. Для удобства построения диаграммы время распада обычно дают по логарифмической шкале, так как оно может колебаться в широких пределах — от долей секунды до десятков минут и даже часов.

Для изучения изотермического превращения аустенита небольшие образцы стали нагревают до температур, соответствующих существованию стабильного аустенита, т. е. выше критической точки, а затем быстро охлаждают, например до 700, 600, 500, 400, 300 °С и выше, затем выдерживают при этих температурах до полного распада аустенита. Изотермическое превращение аустенита эвтектоидной стали происходит в интервале температур от 727 до 250 °С (температуры начала мартенситного превращения M_n).

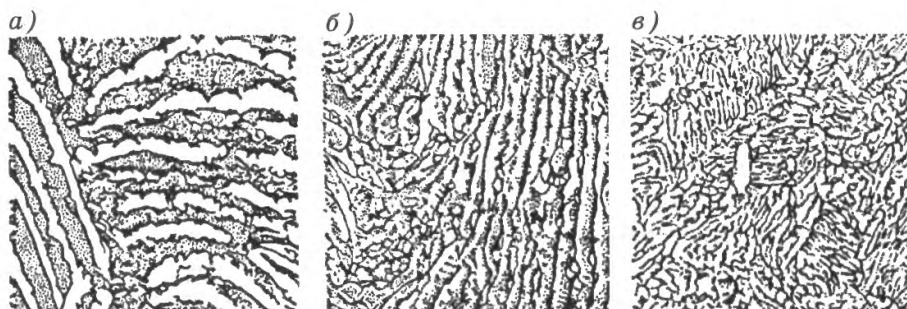


Рисунок 9.2 – Диаграмма изотермического превращения аустенита стали, содержащей 0,8 % углерода

На диаграмме видны две С-образные кривые. Кривая I указывает время начала превращения, кривая II — время конца превращения переохлажденного аустенита. Период времени до начала распада аустенита называют инкубационным. При 700°С превращение

аустенита начинается в точке *a* и заканчивается в точке *b*, в результате этого процесса образуется перлит (рисунок 9.3, а). При 650 °С распад аустенита происходит между точками *a*₁ и *b*₁. В этом случае образуется сорбит — тонкая (дисперсная) механическая смесь феррита и цементита (рисунок 9.3, б). Сталь, в которой преобладает структура сорбита, имеет твердость 30-40 HRC₃. Такая сталь обладает высокой прочностью и пластичностью.

Устойчивость аустенита в значительной мере зависит от степени переохлаждения. Наименьшую устойчивость аустенит имеет при температурах, близких к 550 °С. Для эвтектоидной стали время устойчивости аустенита при 550 - 560 °С - около 1 с. По мере удаления от температуры 550 °С устойчивость аустенита возрастает. Время устойчивости при 700 °С составляет 10 с, а при 300 °С — около 1 мин. При охлаждении стали до 550 °С (точки начала и конца распада — *a*₂ и *b*₂ соответственно, аустенит превращается в троостит — смесь феррита и цементита, которая отличается от перлита и сорбита высокой степенью дисперсности составляющих и обладает повышенной твердостью (40 - 45 HRC₃), прочностью, умеренной вязкостью и пластичностью. Ниже температуры 550 °С в результате промежуточного превращения аустенита (в температурном интервале, расположенном ниже перлитного, но выше мартенситного превращения) образуется структура бейнита, состоящая из смеси перенасыщенного углеродом феррита и карбидов (цементита). Различают верхний бейнит перистого строения, появляющийся при 500 - 350 °С, и нижний (пластинчатого, игольчатого строения), образующийся при 350 - 250 °С.



а — перлит; б — сорбит; в — троостит

Рисунок 9.3 – Микроструктура, полученная электронным микроскопом (X 7500)

Верхний бейнит имеет пониженную прочность, невысокую пластичность, вязкость и твердость 43 - 46 HRC₃. У нижнего бейнита показатели прочности, пластичности и вязкости более высокие, твердость 52 - 55 HRC₃. Превращения аустенита при температурах *A*_r 550 °С называют перлитными, при температурах 550 °С *M*_n - промежуточными, при температурах *M*_n - мартенситными. Если на диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита нанести кривые охлаждения, то можно проследить превращение аустенита при непрерывном охлаждении.

При медленном охлаждении аустенит превратится в перлит. При большей скорости охлаждения переохлажденный аустенит полностью перейдет в сорбит. При еще больших скоростях охлаждения образуется новая структура - троостит. С увеличением скорости охлаждения лучи будут становиться все круче, поэтому превращение аустенита в троостит не закончится. Кроме троостита в структуре стали появится мартенсит.

При наибольших скоростях охлаждения образуется только мартенсит (рисунок 9.4), т. е. пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе. При образовании мартенсита происходит перестройка гранцентрированной решетки аустенита в объемно-центрированную решетку α -железа. Избыточное количество углерода, находящегося в α -железе, искажает эту решетку и превращает ее в тетрагональную, в которой отношение параметров *c/a* не равно единице, как у куба. Степень тетрагональности тем выше, чем больше углерода в стали. Скорость охлаждения, при которой из аустенита образуется только

мартенсит, называют критической скоростью закалки. При закалке стали ее охлаждают со скоростью больше критической.

Мартенситное превращение протекает при непрерывном охлаждении аустенита ниже точки M_n . По достижении определенной температуры (точка M_k) превращение аустенита в мартенсит заканчивается. Температуры в точках M_n и M_k зависят от химического состава стали. Углерод и легирующие элементы (за исключением кобальта и алюминия) понижают эти температуры. Мартенсит обладает самой высокой твердостью наряду со значительной хрупкостью. Он имеет пластинчатое строение, но в плоскости микрошлифа пластинки приобретают вид игл, поэтому мартенсит часто называют игольчатым.

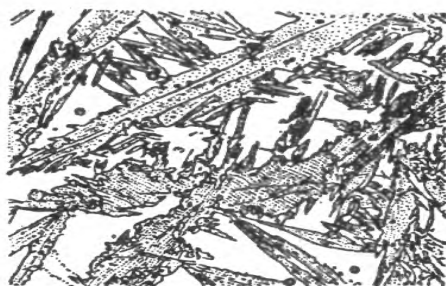


Рисунок 9.4 – Микроструктура мартенсита

У многих сталей температура в точке M_k ниже комнатной, поэтому распад аустенита не заканчивается, если сталь охлаждается только до комнатной температуры.

Аустенит, который сохраняется в структуре стали при комнатной температуре, наряду с мартенситом называют остаточным. Закаленные высоколегированные стали содержат остаточный аустенит в больших количествах, а низкоуглеродистые его почти не имеют.

Мартенсит, получаемый при закалке стали, представляет собой неустойчивую структуру, стремящуюся к превращению в более равновесное состояние. Нагрев ускоряет этот переход, так как подвижность атомов при этом сильно возрастает.

Отпуск и старение.

Отпуском называется процесс термической обработки, при котором закаленная сталь нагревается ниже критической точки A_{c1} , выдерживается при этой температуре и затем охлаждается. В процессе отпуска уменьшаются или устраняются внутренние напряжения, повышаются вязкость и пластичность стали, снижается ее твердость, улучшается структура.

При отпуске в стали происходят определенные структурные превращения.

Первое превращение совершается при температурах 80 - 200 °С. Из раствора выделяется углерод, при этом исчезает искажение кристаллической решетки. Образующийся в процессе отпуска мартенсит, имеющий кубическую решетку, называют отпущенным.

Второе превращение происходит при температурах 200 - 300 °С. Остаточный аустенит переходит в отпущенный мартенсит, который является менее напряженной структурой, чем мартенсит закалки.

Третье превращение происходит при температурах 300 - 400 °С. В этот период завершается процесс выделения углерода из раствора, образуется цементит (Fe_3C), одновременно уменьшаются внутренние напряжения. При 400°С сталь состоит из ферритно - цементитной смеси (троостит отпуска). При дальнейшем повышении температуры начинается коагуляция - частицы феррита и цементита разрастаются и приобретают округлую форму. Отпущенная при 350 - 500 °С сталь имеет структуру троостита, при 500 - 600 °С - структуру сорбита и при 600 - 700 °С - структуру перлита.

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска — низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный .

Низкотемпературный (низкий) отпуск проводят с нагревом до 150 - 300 °С. Этот отпуск снижает внутренние напряжения в стали при сохранении высокой твердости (58 - 63

HRC₃). Его применяют преимущественно для инструмента из углеродистых и низколегированных сталей, а также для деталей, подвергаемых поверхностной закалке, цементации и нитроцементации, к которым предъявляются высокие требования по твердости и износостойкости.

Среднетемпературный (средний) отпуск осуществляют при температурах 350 - 500°С. Целью этого отпуска является получение структуры троостита. Твердость закаленной стали при этом снижается до 40 - 50 HRC₃, предел упругости достигает максимального значения. Среднему отпуску подвергают рессоры и пружины.

Высокотемпературный (высокий) отпуск проводят при температурах 550 - 680 °С. Сталь при этом приобретает структуру сорбита (сорбит отпуска). Твердость закаленной стали снижается до 250-350 НВ, прочность уменьшается в 1,5-2 раза, пластичность и вязкость увеличиваются в несколько раз, внутренние напряжения полностью снимаются. Закалка с высоким отпуском называется улучшением. Улучшенная сталь по сравнению с отожженной или нормализованной имеет более высокие показатели прочности, пластичности и вязкости. Улучшению подвергают изделия из конструкционных сталей марок: 40, 45, 40Х, 40ХНМ, 40ХМФ и др. (полуоси, коленчатые валы, шатуны, поворотные кулаки, рычаги, балки передних осей автомобилей, а также болты, гайки, винты и др.), испытывающие большие нагрузки.

При отпуске некоторых легированных сталей в определенном интервале температур наблюдается резкое снижение ударной вязкости, возникает отпускная хрупкость. Чтобы избежать развития отпускной хрупкости, изделия, изготовленные из хромоникелевых и марганцевых сталей, после высокого отпуска быстро охлаждают в масле или воде. С этой же целью сталь легируют молибденом или вольфрамом (не более 0,6 %).

Температура отпуска и время выдержки зависят от марки стали, требований, предъявляемых к свойствам изделий из этой стали, и их массы.

Отпуск закаленных изделий, особенно инструмента проводят непосредственно после закалки в целях предотвращения образования трещин из-за возникших внутренних напряжений. При заниженных температурах отпуска или сокращении времени выдержки в стали сохраняется повышенная хрупкость, для устранения которой производят повторный отпуск. Повышенная температура отпуска приводит к снижению твердости и прочности. Эти недостатки устраняют отжигом изделий и повторной их закалкой с последующим отпуском. Температуру отпуска можно определить по цветам побежалости.

На рисунке 9.5 показана зависимость механических свойств стали 40 от температуры отпуска.

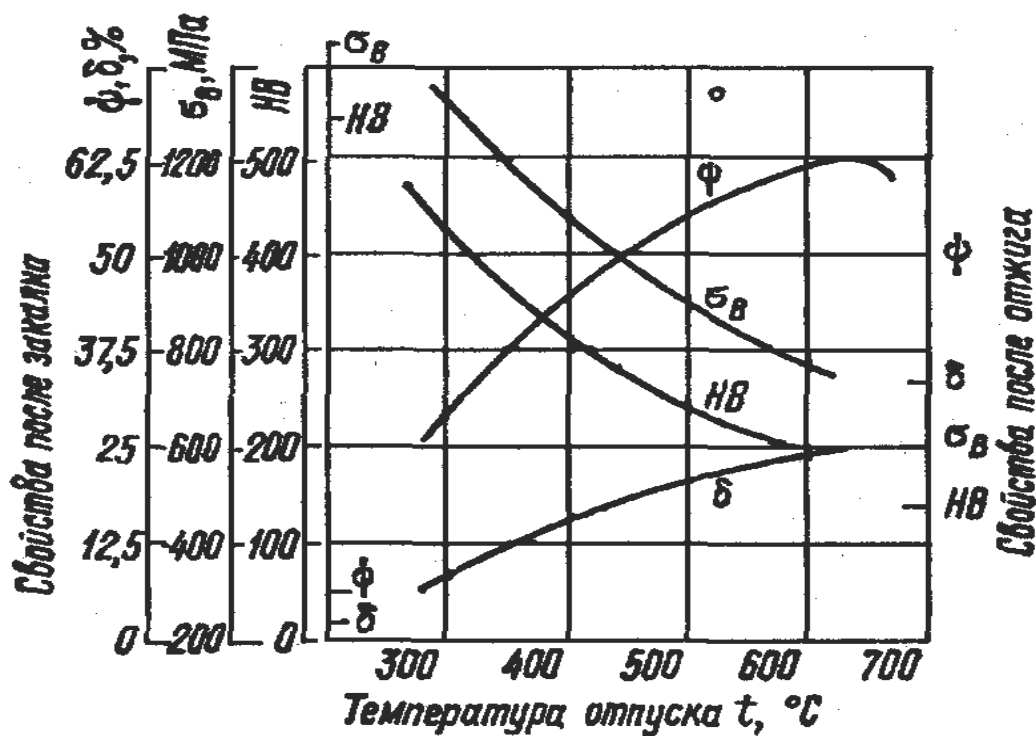


Рисунок 9.5 – Зависимость механических свойств стали 40 от температуры отпуска

Старение - изменение свойств стали с течением времени без заметного изменения микроструктуры. В результате старения прочность и твердость повышаются, а пластичность и вязкость снижаются. Старение приводит к изменению размеров и короблению изделий. Если старение производят при комнатной температуре, его называют естественным, если при повышенной температуре, - искусственным. Старению подвергают станины станков, плунжеры, калибры, скобы и другие изделия, размеры и геометрическая форма которых не должны изменяться в процессе их эксплуатации.

Известны два вида старения — термическое и деформационное (механическое).

Термическое старение происходит в результате изменения растворимости углерода в α -железе в зависимости от температуры.

Деформационное старение протекает в сплаве, подвергнутом пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации. Процесс этого старения длится 15 суток и более при комнатной температуре и всего несколько минут при температурах 200 - 350 $^\circ\text{C}$.

Искусственное старение закаленных и отпущенных при низкой температуре изделий производят после предварительной механической обработки при 100 - 180 $^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 18 - 35 ч и медленным охлаждением. Естественное старение осуществляется на открытом воздухе под навесом, где на изделия воздействуют атмосферные факторы: температура, влажность и давление воздуха. Оно длится от 3 месяцев до 2 лет. Естественному старению подвергают станины прецизионных станков, корпусные детали ответственного назначения. Его результатом является снижение внутренних напряжений, стабилизация размеров и геометрической формы изделий.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Взять три образца закаленной углеродистой стали.

3.2 Выполнить низкий, средний и высокий отпуск закаленных образцов при температурах: 200, 400 и 600 $^\circ\text{C}$. Продолжительность отпуска от 20 до 30 минут.

3.3 Измерить твердость на твердомере ТШ - 2Б.

3.4 Подготовить шлифы и описать микроструктуру образцов после отпуска.

3.5 По результатам измерений заполнить таблицу.

Таблица 9.1 Показатели стали после термической обработки

№	Марка стали	Микроструктура и твердость после закалки	Тем - ра отпуска, °С	Твердость после отпуска	Микроструктура после отпуска
1					
2					
3					

3.6 Сделать выводы о влиянии температуры отпуска на свойства стали.

3.7 Данные, полученные в п.п. 3.2 - 3.6 оформить в отчет.

4 Контрольные вопросы

4 1 Каковы цели проведения отпуска углеродистой стали?

4 2 Назовите основные превращения при отпуске сталей.

4 3 Какие виды отпуска вы знаете? Как изменяются механические свойства сталей при отпуске?

4 4 Чем отличается мартенсит закалки от мартенсита отпуска?

4.5 Какие структуры приобретает сталь после различных видов отпуска?

4.6 Назовите примеры назначения различных видов отпуска.

4.7 В чем заключается сущность термической обработки, именуемой улучшением?

Лабораторная работа 10. Анализ микроструктур после термической обработки

1 Цель работы

1 Ознакомиться с основами легирования. Изучить влияние легирующих элементов на структуру и свойства легированных сталей.

2 Изучить маркировку и классификацию легированных сталей, научиться по марке стали определять ее химический состав.

3 Приобрети навыки анализа микроструктур легированных сталей.

2 Теоретическое введение

Легированными называют стали, в которые для изменения структуры и свойств, кроме углерода, вводят следующие легирующие элементы: хром, никель, вольфрам, кобальт, титан, ванадий, цирконий и другие, а также марганец и кремний при их повышенном, против обычного, содержании. В легированных сталях, также как и в конструкционных, содержатся постоянные примеси: марганец, кремний, фосфор, сера и другие.

Легирование применяется в двух основных направлениях:

- для повышения технологичности термической обработки конструкционных и инструментальных сталей (закаливаемость в масле, прокаливаемость и др.);

- для получения сталей особого назначения, обладающих тем или иным комплексом специальных свойств (коррозионной стойкостью, жаропрочностью, особыми магнитными свойствами и т.д.).

Влияние легирующих элементов на свойства стали.

Преимущества легированных сталей, а также характерные для них специальные свойства проявляются только после соответствующей термической обработки. Поэтому из легированных сталей изготавливают детали, обязательно подвергаемые термической обработке. Улучшение механических свойств обусловлено влиянием легирующих элементов

на свойства феррита, дисперсность карбидной фазы, устойчивость мартенсита при отпуске, прокаливаемость, размер зерна.

Для достижения высокой прокаливаемости сталь чаще легируют более дешевыми элементами - марганцем, хромом, бором, а также более дорогими и дефицитными - никелем и молибденом.

Хром (вводят в количестве до 2 %) растворяется в феррите и цементите, что повышает механические свойства и коррозионную стойкость.

Никель (вводят в количестве от 1 % до 5 %) наиболее резко снижает порог хладноломкости и увеличивает пластичность, вязкость и трещиностойкость. Кроме того, никель повышает электросопротивление.

Марганец (вводят в количестве до 1,5 %) заметно повышает предел текучести стали, однако делает сталь чувствительной к перегреву, увеличивает рост зерна. Содержание в стали хрома или марганца до 1 % практически не влияет на порог хладноломкости. Однако при больших их концентрациях порог хладноломкости повышается. Вместе с марганцем вводят карбидообразующие элементы для измельчения зерна.

Кремний (ограничивают 2 %) сильно повышает предел текучести, несколько затрудняет разупрочнение стали при отпуске; снижает вязкость и повышает порог хладноломкости при содержании свыше 1 %.

Вольфрам и молибден - дорогие и дефицитные карбидообразующие элементы, которые большей частью растворяются в феррите.

Вольфрам (0,8 - 1,2 %) измельчает зерно, повышает твердость, прочность, улучшает режущие свойства при повышенных температурах.

Молибден (0,2 - 0,4 %) действует также, как и вольфрам, повышает статическую, динамическую и усталостную прочность стали и коррозионную стойкость.

Легирование стали в небольших количествах (0,05 - 0,15 %) ванадием, титаном, ниобием и цирконием, образующих труднорастворимые в аустените карбиды, измельчает зерно, что понижает порог хладноломкости.

Бор в микродозах (0,002-0,005%) вводят для увеличения прокаливаемости. Так как он оказывает существенное влияние на свойства стали (он записывается в маркировку стали, например, 20ХГР).

Характеристика основных структурных классов сталей.

Стали ферритного, аустенитного, аустенитно - ферритного, аустенитно - мартенситного и мартенситно - ферритного классов относятся к коррозионно - стойким и жаропрочным и содержат не менее 12 % хрома.

При низком содержании углерода и большом количестве легирующего элемента, ограничивающего область существования аустенита (Cr, W, Mo, V и др.), образуется сталь ферритного класса, к ним относятся: хромистые нержавеющие стали 08Х13, 15Х25Т и другие. Они не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не упрочняются термической обработкой.

При увеличении содержания углерода или аустенизаторов в хромистых нержавеющих сталях (12Х13, 20Х13 и др.) при нагреве часть феррита превращается в аустенит, который при быстром охлаждении переходит в мартенсит (имеют мартенситно - ферритную структуру) и, следовательно, могут упрочняться термической обработкой.

Аустенитные стали обычно легируют хромом и никелем (или марганцем).

Самую большую группу высоколегированных сталей составляют хромоникелевые и хромоникельмарганцевые стали. В равновесном состоянии они имеют легированный аустенит, а также некоторое количество карбидов и интерметаллидов. При закалке с 1000 - 1100 °С в них получается чисто аустенитная структура, так как вторые фазы (карбиды, интерметаллиды) растворяются при нагреве под закалку. При этом получают наибольшую коррозионную стойкость и высокую пластичность, а упрочнения не происходит. Последнее резко отличает аустенитные стали от низко - и среднелегированных.

Однако, если в результате закалки аустенит достаточно пересыщен углеродом и другими легирующими элементами, то старение при 650 - 700 °С может вызвать упрочнение

за счёт выделения вторых фаз в мелкодисперсном виде. Таким образом, аустенитные стали могут быть гомогенными, неупрочняемыми термической обработкой (12X18H9 и др.).

Стали переходного аустенитно - мартенситного класса (09X15H9T и др.) при высоких температурах являются полностью аустенитными и при охлаждении до 20°C сохраняют это состояние, которое является неустойчивым. Это достигается подбором химического состава и, главным образом, путем снижения содержания никеля, по сравнению со сталями аустенитного класса. Неустойчивый после закалки аустенит при обработке холодом частично (до 50 - 70 %) превращается в мартенсит, увеличивая прочностные свойства. Дополнительное упрочнение стали происходит при старении при 350 - 500 °С. Эти стали, как и аустенитные, обладают высокими технологическими дисперсионно - твердующими, упрочняемыми закалкой и старением (40X14H14B2M). Они используются как нержавеющие для работы при обычных и высоких температурах (до 500 - 550 °С).

Нержавеющие стали аустенитно - ферритного класса (12X22H5T и др.), в связи с более высоким содержанием хрома и пониженным содержанием никеля имеют двухфазную структуру при всех температурах твердого состояния. Количественное соотношение аустенита и феррита в них зависит не только от химического состава, но и температуры нагрева под термическую обработку и может меняться в широких пределах. Стабильность механических свойств этих двухфазных сплавов достигается только при относительно небольших колебаниях химического состава.

3 Порядок выполнения работы и оформления отчета

3.1 Изучить микроструктуры образцов легированных сталей в отожженном и термообработанном состояниях. Зарисовать каждую исследованную микроструктуру.

3.2 Измерить твердость отожженных и закаленных образцов сталей: У10, 9ХС, ХВГ, ХВ5, Х12 в центре и с края шлифа.

3.3 Провести отпуск предварительно закаленных по оптимальным режимам сталей: У10, 9ХС, Х12 при температурах 300 °С и 500 °С в течение 30 минут.

3.4 Измерить твердость образцов после отпуска.

3.5 Составить отчет о работе.

Отчет должен содержать:

- перечень и анализ основных преимуществ легированных сталей и целей легирования.

- рисунки микроструктур легированных сталей с указанием марок сталей, основных фаз, присутствующих в стали, структурного класса, назначения.

- выводы о влиянии хрома, кремния, марганца и вольфрама на структуру и свойства сталей.

4 Контрольные вопросы

1 С какой целью производится легирование стали?

2 В каких количествах содержатся легирующие элементы в низколегированных, легированных и высоколегированных сталях?

3 Каково влияние легирующих элементов на свойства стали?

4 Как влияет большинство легирующих элементов на температуру перлитного превращения и содержание углерода в перлите?

5 В виде каких основных фаз находятся легирующие элементы в стали?

6 Основные преимущества легированной стали перед углеродистой?

7 Что такое теплостойкость и какие факторы на нее влияют?

8 Особенности термической обработки легированной стали?

9 Место и значение термической обработки легированных сталей?

10 Чем объясняется высокая прокаливаемость легированных сталей и их способность закаливаться при охлаждении в масле?

Лабораторная работа 11. Анализ микроструктур цветных металлов

1 Цель работы

1 Изучить состав, классификацию, маркировку, термическую обработку, свойства и области применения алюминиевых сплавов.

2 Изучить влияние термической обработки на свойства дуралюмина.

2 Теоретическое введение

Свойства алюминия.

Алюминий кристаллизуется в гранцентрированной кубической решетке. Аллотропических превращений не имеет. ГЦК решетка предопределяет высокий (с учетом, что температура плавления всего 660 °С) комплекс механических свойств алюминия при комнатной и при повышенных температурах. Алюминий относится к группе легких металлов, его плотность – 2700 кг/м³. Он обладает высокой электрической проводимостью и теплопроводностью.

Механические свойства алюминия характеризуются низкими значениями абсолютной прочности и твердости и высокой пластичностью. Алюминий обладает высокой химической активностью и одновременно исключительной коррозионной стойкостью. На воздухе он покрывается тонкой, но очень прочной беспористой оксидной пленкой надежно защищающей металл от дальнейшего окисления. Из-за низких прочностных свойств алюминий применяют для ненагруженных деталей.

Сплавы алюминия.

Преимущества сплавов на основе алюминия: малая плотность, высокие удельные механические свойства, высокая коррозионная стойкость, широкий температурный диапазон работы, высокая вязкость разрушения, свариваемость, хорошая обрабатываемость резанием.

В настоящее время алюминиевые сплавы являются важнейшим конструкционным материалом летательных аппаратов.

В качестве основных легирующих элементов в алюминиевых сплавах применяют: Cu, Mg, Si, Mn, Zn, реже используют Ni, Li, Ti, Be, Zr и др.

Промышленные алюминиевые сплавы базируются на ряде многокомпонентных систем: Al -Si; Al - Mg; Al - Cu; Al - Cu-Mg; Al - Cu-Mn; Al – Cu - Li; Al – Mg - Si; Al – Be - Mg; Al – Zn –Mg -Cu; Al - Mg - Si - Cu и др.

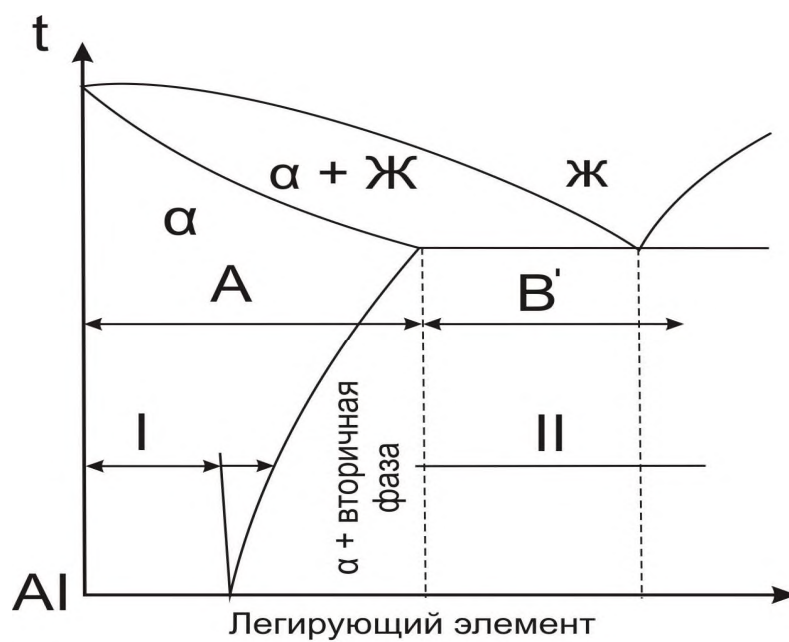
Для физико-химического взаимодействия алюминия с легирующими элементами характерна низкая (за исключением Zn), зависящая от температуры, растворимость их в алюминии. В условиях равновесия сплавы состоят из низколегированного твердого раствора и интерметаллидных фаз.

Классификация и маркировка алюминиевых сплавов.

Алюминиевые сплавы классифицируют следующим образом:

- по технологии изготовления (деформируемые, литейные, порошковые);
- способности к упрочнению термической обработкой (упрочняемые и неупрочняемые);
- свойствам (жаропрочные, ковочные, высокопрочные, сплавы для заклепок и др.).

Основой для разделения сплавов по технологии изготовления и способности к термической обработке являются диаграммы состояния. На рисунке 11.1 представлена схема подобного разделения для двойных и тройных сплавов алюминия.



A – деформируемые сплавы; B – литейные сплавы;
 I, II – сплавы неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой
 Рисунок 11.1 – Классификация алюминиевых сплавов

Принята буквенная и буквенно - цифровая система маркировки алюминиевых сплавов.

Деформируемые сплавы обозначают буквами:

Д – дуралюмины, например: Д1, Д16, Д19;

АД – деформируемый алюминий, например: АД0, АД1, АД33;

АК – ковочные алюминиевые сплавы, например: АК4-1, АК6, АК8;

АМг – сплавы алюминия с магнием, например: АМг5, АМг6;

АМц - сплавы алюминия с марганцем;

АВ – авиали, например АВ;

В - высокопрочные сплавы (например: В93, В95, В96).

Литейные сплавы обозначают буквами АЛ, например: АЛ2, АЛ27 и др.

Цифры, следующие за буквами означают систему легирования (в дуралюминах, в высокопрочных сплавах, в деформируемом алюминии).

В сплавах АМг цифры указывают на содержание магния в процентах. Дополнительная цифра в обозначениях сплавов типа АК4 -1, АК6 -1 и др. обозначает, что новый сплав является близкой модификацией старого АК4, АК6 и т.д.

Введена единая четырехцифровая система маркировки сплавов. Единица, стоящая в начале марки, характеризует основу сплава – алюминий. Вторая цифра обозначает основной легирующий элемент (или группу элементов). Третья и вторая цифры – те же, что и в старой маркировке. Нечетное число или ноль, стоящие на четвертом месте, обозначают деформируемый сплав, цифра 7 соответствует проволочному сплаву, 9 – спеченному сплаву. У литейных сплавов четвертая цифра четная.

Опытные сплавы обозначаются цифрой 0, ставящейся в начале марки, перед единицей. При такой маркировке сплав Д16, например, обозначается 1150.

Чистота сплавов по контролируемым примесям (Fe, Si и др.) обозначается буквами: «пч» (повышенной чистоты), «ч» (чистый), «оч» (очень чистый), стоящими после марки сплава.

Состояние деформируемых сплавов, отражающее термическое и термомеханическое воздействие, имеет следующие обозначения:

М – мягкий, отоженный;

Т – закаленный и естественно состаренный;
Т1 – закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность;
Н – нагартованный (деформация 1 – 7 %);
Н1 или НН – усиленно нагартованный;
ТН – закаленный, естественно состаренный и нагартованный.

Состояние литейных сплавов, отражающее особенности технологии литейного производства и виды термической обработки, имеет обозначения:

З – литье в песчаные формы;
В – литье по выплавляемым моделям;
О – литье в оболочковые формы;
К – литье в кокили;
Д – литье под давлением;
М – модифицированный сплав;
Т1 – старение;
Т2 – отжиг;
Т4 – закалка;
Т5 – закалка и частичное старение;
Т6 – закалка и полное старение;
Т7 – закалка и стабилизирующий отпуск;
Т8 – закалка и смягчающий отпуск.

Термическая обработка дуралюминов.

Дуралюминами называют сплавы на основе системы Al – Cu – Mg с добавками марганца. Большинство промышленных дуралюминов содержат около 4 % Cu, до 2,5 % Mg, менее 1 % Mn. Кроме того, в сплавах присутствуют небольшие количества постоянных примесей: Fe и Si. Структура дуралюминов в отожженном состоянии представлена твердым раствором – альфа легирующих элементов в Al с включениями интерметаллидных фаз: $CuAl_2$ (тета - фаза), $CuMgAl_2$ (S - фаза), Cu_2AlFe (N - фаза), Mg_2Si и других (рисунок 11.2 а).



Рисунок 11.2 - Микроструктура сплавов типа Д в отожженном (а) и искусственно состаренном состоянии (б)

Упрочнение дуралюминов достигают закалкой и последующим старением.

Для выбора температуры закалки, а также для объяснения превращений, протекающих в сплавах при термообработке, можно использовать диаграмму состояния Al – Cu (рисунок 11.3), поскольку в дуралюминах медь является главным легирующим элементом.

Из диаграммы видно, что растворимость меди в алюминии зависит от температуры и меняется от 0,5 % при 20 °С до 5,7 % при температуре эвтектики (548°С). Следовательно возможен перевод двухфазных (состоящих из альфа - фазы и вторичных кристаллов $CuAl_2$) сплавов с концентрацией Cu до 5,7 % нагревом в однофазное состояние (альфа - твердый раствор) с последующей фиксации его быстрым охлаждением.

При нагреве дуралюминов до температур закалки ($500 \pm 5^\circ\text{C}$) Mg_2Si – тета - и S-фазы растворяются в алюминии. После охлаждения в холодной воде структура закаленного сплава состоит из твердого раствора альфа с включениями малорастворимой при нагревании N-фазы (рисунок 11.3).

Свежезакаленные дуралюмины имеют невысокую твердость и прочность, но повышенную пластичность, лишь несколько сниженную по сравнению с отожженным состоянием.

Пересыщенный по отношению к равновесному (отожженному) состоянию сплав является метастабильным и при длительном пребывании в области нормальных температур (естественном старении) или при сравнительно непродолжительном нагреве (искусственном старении) изменяет свое состояние, приближаясь к равновесному.

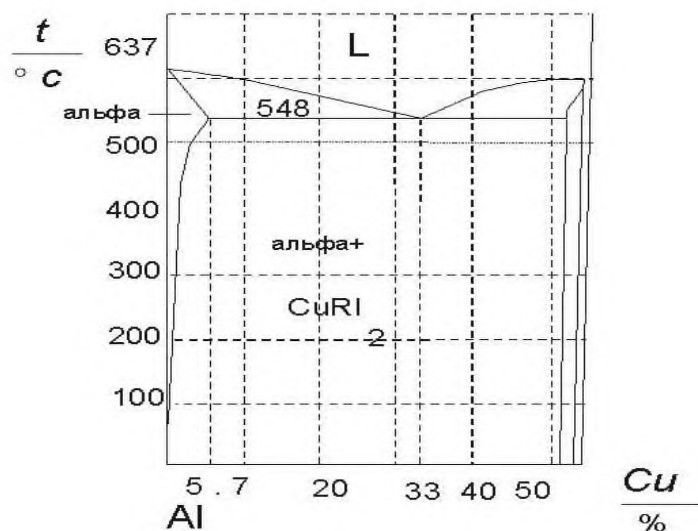


Рисунок 11.3 - Диаграмма состояния алюминий-медь

Превращения при старении приводят к значительным изменениям свойств сплава: возрастают прочность и твердость при заметном снижении пластичности.

В процессе старения, на его начальной стадии, атомы легирующих элементов (в сплавах системы Al - Cu – атомы меди), расположенные в свежезакаленном сплаве случайно, собираются в определенных местах кристаллической решетки, образуя участки с резко повышенной концентрацией растворенного компонента, называемые зоны Гинье - Престона (зоны Г – П).

В результате естественного старения образуются зоны толщиной от 0,5 до 1 мм и протяженностью от 3 до 6 нм (их называют зоны Г – П - 1), вызывая упрочнение сплава.

Если естественно состаренный сплав подвергнуть кратковременному нагреву до температуры 250 - 270 °С, то зоны Г - П растворятся и сплав возвратится в свежезакаленное состояние с характерными для него свойствами (низкой твердостью и высокой пластичностью). Это явление получило название возврат. После возврата сплав может быть вновь упрочнен при естественном или искусственном старении.

При искусственном старении зоны Г - П укрупняются, достигая от 1 до 4 нм по толщине и от 20 до 30 нм по протяженности (зоны Г – П - 2). Концентрация меди в них приближается к стехиометрическому соотношению в соединении CuAl_2 .

Дальнейшее развитие процессов искусственного старения приводит к преобразованию зон Г - П - 2 в частицы промежуточной тета-фазы, имеющий такой же химический состав, как тета-фаза, но с отличной от нее кристаллической решеткой, когерентно связанной с α -твердым раствором. При дальнейшем повышении температуры тета-фаза обособливается от твердого раствора и превращается в стабильную коагулирующую тета - фазу.

Таким образом, различают два вида старения: зонное, связанное с образованием только зон Г - П, и фазовое, при котором возникают метастабильные и стабильные фазы.

Скорость искусственного старения сильно зависит от температуры (рисунок 11.2 б): повышение температуры ускоряет процесс. В сплавах системы Al - Cu с 3-5 % меди получаемая при этом максимальная прочность тем ниже, чем выше температура старения. Наибольшее упрочнение получают при естественном старении в результате образования зон Г-П-1.

Не всегда максимум прочности достигается естественным старением, более того, во многих высокопрочных сплавах естественное старение не протекает вообще. В более сложных по химическому составу сплавах наибольшая прочность наблюдается при искусственном старении в результате образования метастабильных фаз.

3 Порядок выполнения работы и оформление отчета

3.1 Провести закалку 6 образцов дуралюмина (температура $500 \pm 5^\circ\text{C}$, время нагрева образцов в печи – 30 мин, охлаждение в воде). Определить твердость НВ образцов до и после закалки.

3.2 Провести искусственное старение закаленных образцов при температуре 250°C в течение: 1, 3, 5, 10, 15 и 30 мин. Измерить твердость НВ состаренных образцов.

3.3 Провести термическую обработку "возврат" естественно состаренных образцов, температура нагрева 250°C , время 3 мин. Измерить твердость НВ образцов до и после возврата.

3.4 Рассмотреть микроструктуры отожженных, закаленных, искусственно и естественно состаренных образцов.

Привести краткие сведения о составе, свойствах, маркировке, термической обработке и применении алюминиевых сплавов.

Кратко описать процессы, протекающие при термической обработке алюминиевых сплавов.

Представить результаты экспериментальной работы (марка сплава, режимы термообработки, твердость образцов до и после каждого вида термообработки, график изменения твердости сплава в зависимости от времени старения).

Оформить рисунки рассмотренных микроструктур образцов.

Сделать выводы по экспериментальной работе.

3.3 Данные, полученные в п.п.л.3.1 – 3.4 оформить в отчет.

4 Контрольные вопросы

1 В чем заключаются особенности термического упрочнения алюминиевых сплавов?

2 Особенность легирования литейных алюминиевых сплавов?

3 Опишите процессы проходящие при старении сплавов легированных медью.

4 В чем отличие между искусственным и естественным старением?

5 Области применения деформируемых алюминиевых сплавов не упрочняемых при термообработке?

6 Почему у алюминиевых сплавов очень узкий температурный интервал при нагреве под закалку?

Библиографический список

- 1 Геллер Ю.А. Инструментальные стали. - М.: Metallurgy, 1975. - 584 с.
- 2 Гринберг Б.Г. Ивашенко Т.М. Лабораторный практикум по металлосведению и термической обработке. - М.: Высшая школа, 1968. - 320 с.
- 3 Гуляев А.П, Гуляев А.А. Металловедение. - Издание 9. М.: Metallurgy, 2012. - 648 с.
- 4 Материалосведение / Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г./, М.: Metallurgy, 1975. - 449 с.
- 5 Металловедение и термическая обработка стали. Справочник в трех томах. /Под редакцией М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта М.: Metallurgy, 1983. -720 с.
- 6 Мозберг Р.К. Материалосведение. - Таллин: Валгус. 1976 – 554 с.
- 7 Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. - М.: Metallurgy, 1981. – 648 с.
- 8 Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. - М.: Metallurgy, 1967 – 798 с.
- 9 Химушин Ф.Ф. Жаропрочные металлы и сплавы. - М.: Metallurgy, 1969. -748 с.

БРАТКОВСКИЙ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

ДОРОШ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум

для студентов направления подготовки 150400 «Металлургия»
всех форм обучения

Подписано в печать 16.04.2014		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег.№ 35	Печать офсетная Тираж 30 экз.	Уч.-изд.л. 3,75

ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nfmisis@yandex.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.