

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Факультет среднего профессионального образования

Филин Ю.И.

Материаловедение

Сборник практических работ
для студентов технических специальностей

Брянская область
2018

УДК 620.22 (075)

ББК 30.3

Ф 84

Филин, Ю.И. *Материаловедение: сборник практических работ для студентов технических специальностей* / Ю.И. Филин. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 84 с.

Сборник практических работ по дисциплине «Материаловедение» разработан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по техническим специальностям среднего профессионального образования (23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта»; 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»; 35.02.06 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»).

Содержит практические занятия по дисциплине «Материаловедение» и позволяет ознакомиться с основными аспектами исследования материалов.

Рецензент:

к.т.н., доцент Козарез И.В. (Брянский государственный аграрный университет).

Рекомендовано к изданию решением цикловой методической комиссии общепрофессиональных дисциплин факультета СПО, протокол № 5 от 04.04.2018 г.

© Филин Ю.И., 2018

© Брянский ГАУ, 2018

Содержание

Введение	4
Практическая работа №1	8
Практическая работа №2	21
Практическая работа №3	35
Практическая работа №4	46
Практическая работа №5	54
Практическая работа №6	62
Практическая работа №7	65
Практическая работа №8	68
Практическая работа №9	73
Список литературы.....	83

Введение

Сборник практических работ разработан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по техническим специальностям среднего профессионального образования (23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта»; 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»; 35.02.06 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»).

Цель данного издания состоит в изучении свойств материалов, методов их контроля и обработки для получения заданного уровня служебных свойств при подготовке студентов по дисциплине «Материаловедение».

Представленные в сборнике теоретические сведения отражают последние научно-технические достижения в области материаловедения. Каждая практическая работа имеет индивидуальные задания и контрольные вопросы. Содержание работ поставлено таким образом, что охватывает все аспекты, необходимые как для проведения учебного процесса, так и для самостоятельной подготовки студентов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения;
- выбирать способы соединения материалов;
- обрабатывать детали из основных материалов;

знать:

- строение и свойства машиностроительных материалов;
- методы оценки свойств машиностроительных материалов;
- область применения материалов;
- классификацию и маркировку основных материалов;
- методы защиты от коррозии;
- способы обработки материалов.

Правила выполнения практических работ

В процессе проведения практических занятий по дисциплине «Материаловедение» студенты:

- 1) находят подтверждение теоретических положений, убеждаются в наличии определенных закономерностей и алгоритмов поведения;
- 2) вырабатывают умение сравнивать, анализировать, обрабатывать тео-

рию, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, оформлять результаты исследования.

Состав заданий для занятия планируется с таким расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть качественно выполнены большинством студентов. Для эффективного использования времени, отводимого на практические занятия, подобраны дополнительные задания для студентов, работающих в более быстром темпе.

Продолжительность занятия составляет не менее двух академических часов.

План занятия включает в себя следующие пункты:

- 1) внеаудиторная самостоятельная подготовка студентов к занятию;
- 2) проверка преподавателем теоретической подготовленности студентов к занятию;
- 3) инструктирование студентов по проведению ими практической работы;
- 4) выполнение практических заданий;
- 5) обсуждение итогов выполнения работы;
- 6) оформление отчета о проделанной работе;
- 7) оценка преподавателем выполненных заданий и степени овладения студентами соответствующими умениями.

Практические занятия носят репродуктивный, частично-поисковый и поисковый характер. Работы, носящие репродуктивный характер, отличаются тем, что при их проведении студенты пользуются подробными инструкциями, в которых указаны:

- цель работы;
- пояснения (теоретические положения и понятия);
- порядок выполнения работы;
- тип выводов (без формулировок);
- контрольные вопросы;
- литература.

Работы, носящие частично-поисковый характер, отличаются тем, что при их проведении студенты не пользуются подробными инструкциями, им не дается порядок выполнения необходимых действий. Такие работы требуют от студентов самостоятельного подбора материала и методики, выбора способов выполнения работы.

В работах, носящих поисковый характер, студенты должны решить новую для них проблему, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания.

При планировании практических занятий используется сочетание репродуктивных, частично-поисковых и поисковых заданий.

Оценки за выполнение работы могут выставляться в форме зачета или дифференцированно.

Практические работы выполняются каждым студентом самостоятельно в полном объеме и согласно содержанию методических указаний.

Методика проведения практических занятий

Порядок выполнения практических занятий включает:

1. Краткое сообщение преподавателя о целях практического занятия, порядке его проведения и оформления отчета.
2. Выдачу вариантов задания.
3. Выполнение задания студентами.
4. Индивидуальные консультации преподавателя в ходе проведения практического занятия.
5. Подведение итогов практического занятия преподавателем.
6. Информацию о следующих практических занятиях.

Правила оформления практических работ:

1. Практические работы выполняются в отдельной тетради.
2. Таблицы, рисунки, схемы чертят простым карандашом с помощью линейки.
3. Работы выполняются аккуратно, разборчивым почерком.
4. Практическая работа выполняется в аудитории.

Отчет о выполненной работе должен содержать:

1. Тему занятия, тему и номер практической работы.
2. Исходные данные практического занятия в соответствии с заданным вариантом.
3. Выполненное задание.
4. Ответы на контрольные вопросы.

Критерии оценки:

- «5» -правильно, грамотно выполненные задания и ответ на контрольные вопросы.
- «4» -правильно и грамотно выполненные задания.
- «3» -выполнено не менее 60 % задания.
- «2» -выполнено менее 60% задания.

Перед выполнением работы студент должен отчитаться перед преподавателем за выполнение предыдущей работы. Студент должен на уровне понимания и воспроизведения предварительно усвоить необходимую для выполнения

практических работ теоретическую и практическую информацию.

Студент, пропустивший практическую работу по какой-либо причине, выполняет пропущенную работу самостоятельно, пользуясь, при необходимости, консультациями преподавателя.

Порядок отчетности по практическому занятию

1. Студенты, отсутствующие на практическом занятии, выполняют задания практического занятия самостоятельно, получая при необходимости консультации преподавателя.

2. Не зачтенный отчет по практическому занятию должен быть исправлен и повторно сдан на проверку.

3. Все замечания, сделанные преподавателем, должны быть устранены до дифференцированного зачета.

4. Выполненные практические задания сдаются преподавателю во время зачета. Без выполнения заданий студент до зачета не допускается.

Практическая работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Цель работы:

Изучить основные методы определения твердости материалов

Краткие теоретические сведения

Выбор материала для какой-либо определенной цели делают на основе его механико-технологических, физических и химических свойств. Контролировать эти свойства необходимо как в процессе изготовления, так и в ходе эксплуатации для выявления недопустимых изменений, а в случае повреждения изделия - определять его причину.

Механические и технологические методы испытаний используются для исследования прочности, деформируемости, пластичности, вязкости и характера разрушения изделия. К этой же группе относят определение свойств поверхности, например, твердости и сопротивления износу.

Твердостью называется сопротивление материала проникновению в него другого более твердого тела. Из всех видов механических испытаний твердость определяют чаще всего. Это объясняется простотой и высокой производительностью метода измерения твердости, а также тем, что испытание можно проводить на самом изделии (полуфабрикаты или детали), не вызывая его повреждения.

Основными методами определения твердости являются методы внедрения в поверхность испытываемого металла стандартных наконечников из твердых недеформирующихся материалов под действием статических нагрузок: методы Бринелля, Роквелла и Виккерса.

Значения твердости выражаются числами твердости в различных шкалах. Кроме указанных методов измерения твердости массивных образцов, деталей и полуфабрикатов, используются методы измерения микротвердости, т. е. измерение твердости отдельных составляющих микроструктуры сплавов.

При измерении твердости любым способом поверхность испытываемого образца или детали должна быть плоской, так как при измерении твердости цилиндрических образцов наконечник вдавливается глубже, чем при испытании плоских образцов той же твердости, поэтому твердость получается заниженной.

Поверхность образца или изделия должна быть горизонтальной и не иметь таких дефектов, как окалина, забоины, грязь, различные покрытия. Все поверхностные дефекты должны быть удалены мелкозернистым наждачным кругом, напильником или наждачной бумагой. При обработке поверхности об-

разца недопустимо изменение твердости вследствие нагрева или наклепа поверхности. При нанесении отпечатка на испытуемое изделие или образец расстояние между соседними отпечатками и до края образца должно быть не менее 3 мм.

Определение твердости по методу Бринелля

Испытания по Бринеллю регламентированы ГОСТ 9012–59. Стальной закаленный шарик диаметром D , равным 10; 5; 2,5 мм вдавливается в изучаемый образец с силой $P = 29430; 9810; 7357; 2452$ Н (3000; 1000; 750; 187,5 кгс). В результате на поверхности образца остается отпечаток в форме шарового сегмента диаметром d (рисунок 1).

Число твердости по Бринеллю (НВ) определяется как отношение нагрузки, действующей на шарик P (нагрузка вдавливания), Н к площади поверхности сферического отпечатка F , мм².

$$HB = \frac{P}{F} \quad (1)$$

Для удобства вычисления значений твердости пользуются следующей формулой:

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

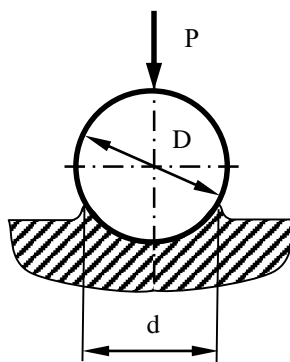


Рисунок 1 – Схема измерения твердости по Бринеллю

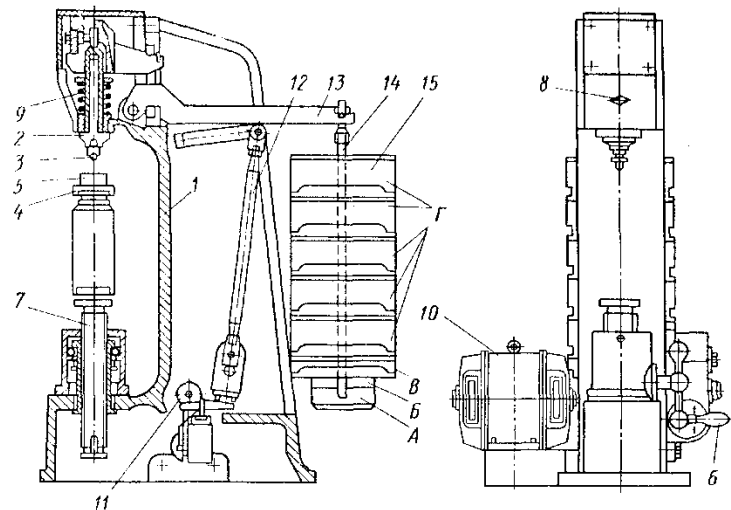
Метод Бринелля позволяет, по сравнению с другими методами, получать минимальные разбросы значений твердости для материалов с несовершенной структурой, например, чугуна, вследствие охвата пластической деформацией значительных объемов. Диаметр полученного отпечатка служит мерой твердости: диаметр d будет тем меньше, чем тверже металл.

На рисунке 2 приведена схема автоматического рычажного прибора Бринелля. В верхней части станины 1 расположен шпиндель 2, в котором крепится наконечник с шариком 3. (Устанавливается по мере надобности любой из трех наконечников с диаметрами шариков 10; 5 и 2,5 мм). Образец 5 устанавливает-

ся на столик 4. Вращением по часовой стрелке рукоятки 6, винт 7 приводится в движение, поднимает столик, и образец прижимается к шарик. Вращение осуществляется до ощутимого упора или пока указатель 8 не станет против риски. При этом пружина 9 сжимается до отказа, создавая предварительную нагрузку в 1000 Н (100 кгс). Электродвигатель 10, включенный нажатием кнопки, расположенной на станине пресса, приводит во вращение эксцентрик 11. При вращении эксцентрика шатун 12, перемещаясь вниз, опускает рычаг 13 и соединенную с ним подвеску 14 с грузами 15, создавая этим нагрузку на шарик, который вдавливаются в образец. При дальнейшем вращении эксцентрика шатун, перемещаясь вверх, поднимает рычаг и подвеску с грузами, снимая этим нагрузку с шарика. Выключение прибора происходит автоматически, когда рычаг и подвеска достигнут исходного положения. Вращая рукоятку 6 против часовой стрелки, опускают столик 4 и снимают образец.



а)



б)

Рисунок 2 – Автоматический рычажной прибор Бринелля (а) и его схема (б)

Нагрузку на шарик регулируют количеством устанавливаемых грузов:

А – подвеска, создающая нагрузку в 1875 Н;

Б – груз, создающий нагрузку в 625 Н;

В – груз, создающий нагрузку в 2500 Н;

Г – груз, создающий нагрузку в 5000 Н.

При измерении твердости диаметр шарика D и величину нагрузки выбирают исходя из толщины испытуемого изделия (таблица 1). Определенное влияние на величину HV оказывает и время выдержки под нагрузкой – τ (увеличение τ позволяет более полно пройти пластической деформации в объеме материала под шариком). При $P/D^2 = \text{const}$ твердость для различных диаметров инденторов должна оставаться неизменной.

Твердость изучаемого материала не должна превышать HB 450 из-за деформации шарового индентора и как следствия получение неправильного результата. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2d, а расстояние между центрами соседних отпечатков не менее 4d. Уменьшение этих расстояний приводит к изменению диаметра лунки и неверному результату вследствие наведения пластических деформаций от предыдущих отпечатков.

Таблица 1 – Рекомендуемые параметры при измерении твердости

HB	Минимальная толщина образца h, мм	P/D2	D, мм	P, Н	τ , с	Материал
1400...4500	6...3	300	10	30000	10	Черные металлы
1400	4...2	300	5	7500	10	
	2	300	2,5	1875	10	
	6	100	10	10000	10	
	6...3	100	5	2500	10	
	3	100	2,5	625	10	
130	6...3	300	10	30000	30	Цветные металлы
35...130	4...2	300	5	7500	30	
	2	300	2,5	1875	30	
	9...3	100	10	10000	30	
	6...3	100	5	2500	30	
	3	100	2,5	625	30	
6...35	6	25	10	2500	60	
	6...3	25	5	625	60	
	3	25	2,5	156	60	

Примечание: Нагрузки P даны приблизительно, для упрощения выполнения работы.

Подготовка образца или поверхности детали для измерения твердости ведется таким образом, чтобы отчетливо были видны края полученного отпечатка при измерении его диаметра. С этой целью зачистка места проведения испытаний производится до металлического блеска. Окончательную обработку следует проводить напильником с мелкой насечкой либо грубой наждачной бумагой. Полученная поверхность должна быть ровной, гладкой без следов видимых дефектов, но в то же время не полированной во избежание размытия контура отпечатка при его измерении.

Измерение полученного отпечатка производится с помощью микроскопа

Бринелля (рисунок 3 а) (можно использовать и другие оптические приборы), шкала которого имеет цену деления 0,05 мм. Однако, для удобства пользования и не снижения при этом точности пользуются большими делениями 0,1 мм (рисунок 3. б). На представленной шкале малые деления не показаны.

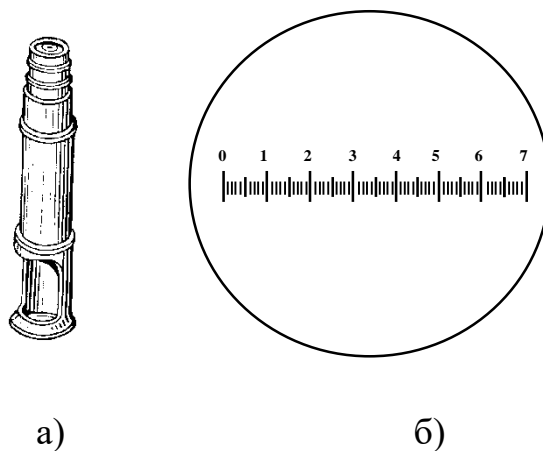


Рисунок 3 – Микроскоп Бринелля для измерения отпечатков: а – внешний вид; б – шкала микроскопа

Микроскоп нижней опорной частью устанавливается на испытываемую поверхность образца над отпечатком. Четкость контура отпечатка регулируется вращением окуляра. Совмещают любой край отпечатка с нулевым отсчетом шкалы (рисунок 4). Количество делений шкалы, попадающие в зону отпечатка, и будут являться его диаметром (на рисунке 4 диаметр отпечатка равен 4,3 мм). Для упрощения измерений следует учесть, что деления между цифрами соответствуют 1 мм.

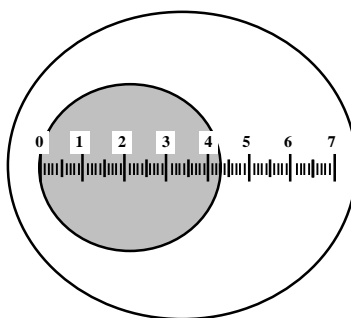


Рисунок 4 – Измерение отпечатка по шкале микроскопа

Вследствие того, что рекомендуется принимать среднее арифметическое двух взаимно-перпендикулярных диаметров, необходимо измерения повторить, повернув микроскоп на 90°. Определить число твердости можно расчетным путем по формуле (2) и (или) по специальной таблице (приложение А, таблица 1). Для точного определения НВ необходимо проводить несколько испытаний (не

менее 3-х). Если сплав имеет несовершенную структуру, то количество испытаний следует значительно увеличить, например до 10.

Обозначение твердости имеет буквенно-цифровой вид. Встречаются две системы обозначений (пояснение на примерах):

1 HB150, где HB – твердость по Бринеллю, а цифра указывает значение твердости – 1500 МПа.

2 150HB 2,5/1875/10 – цифра – значение твердости; HB – твердость по Бринеллю; 2,5 – диаметр шарика; 1875 – нагрузка на индентор в Н; 10 – время выдержки, с.

По значению HB можно с определенной достоверностью судить о прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву σ_B).

$$\sigma_B \approx K \cdot HB, \quad (3)$$

где K – коэффициент, учитывающий специфику материала: для стали $K = 3,4 \dots 3,5$; меди, латуни отожженной $K = 3,5$; алюминия, алюминиевых сплавов $K = 3,3 \dots 3,6$.

Определение твердости по методу Роквелла

Для определения твердости материала по Роквеллу в поверхность испытуемого образца (детали) вдавливаются стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм (1/16") или алмазный конус с углом при вершине 120°. Вдавливание производится двумя последовательно прилагаемыми нагрузками – *предварительной* P_0 и *основной* P_1 . Общая нагрузка P будет равна сумме предварительной и основной нагрузок (рисунок 5).

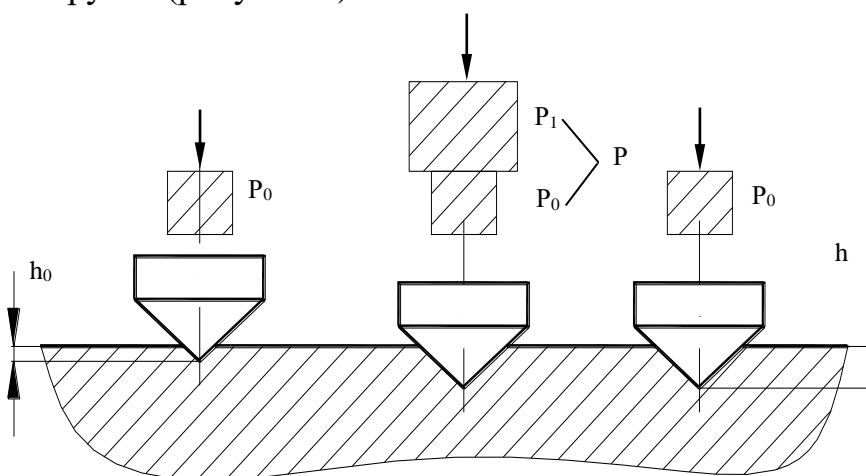


Рисунок 5 – Схема измерения твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу (условные единицы) является мерой глубины вдавливания индентора под определенной нагрузкой.

$$P = P_0 + P_1 . \quad (1)$$

Измерение твердости производится по трем шкалам, которым соответствуют определенные нагрузки.

Проводятся испытания прочности основными шкалами - А, В, С:

1. Шкала А: испытания алмазным конусом с нагрузкой 60 кгс. Обозначение – HRA. Такие испытания проводятся для тонких твердых материалов (0,3-0,5 мм);

2. Шкала В: испытания стальным шариком с нагрузкой 100 кгс. Обозначение – HRB. Испытания проводятся на отожженной мягкой стали и цветных сплавах;

3. Шкала С: испытания конусом с нагрузкой 150 кгс. Обозначение – HRC. Испытания проводятся для металлов средней твердости, закаленной и отпущенной стали или слоев толщиной не более 0,5 мм.

В зависимости от применяемого индентора (конус, шарик) и нагрузки, при которой проводят испытания (шкалы А; В; С), числа твердости обозначают HRA; HRB; HRC. Примеры обозначений: 78 HRA; 44 HRB; 37 HRC. Числа твердости HRC шкалы С Роквелла, ранее применявшиеся в промышленности, заменены на числа твердости HRC, шкалы С Роквелла, воспроизводимые государственным специальным эталоном. В ряде литературных источников встречается и другое обозначение: HRA 78; HRB 44; HRC 37.

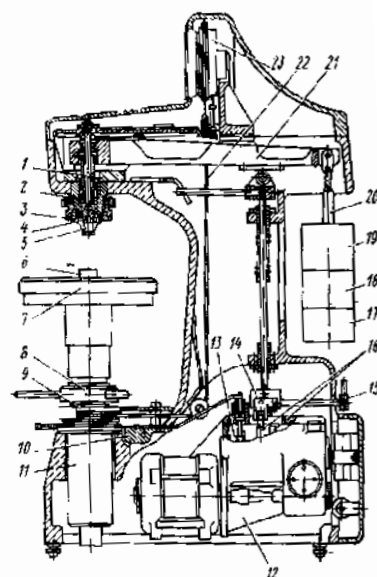
Определение твердости на приборе типа Роквелла имеет очень широкое применение в силу ряда положительных факторов:

- возможность испытаний широкого диапазона;
- высокая производительность испытаний;
- большая точность измерений;
- небольшой размер отпечатка,
- простота техники испытаний,
- возможность измерения достаточно тонких изделий.

Существует несколько разновидностей приборов для измерения твердости по Роквеллу. Наиболее распространенным является прибор типа ТК–2 (рисунок б).



а)



б)

Рисунок 6 – Твердомер ТК–2 (а) и его схема (б)

Шпиндель 1 служит для закрепления на его конце с помощью винта 4 оправки 5 с шариком или алмазным конусом. Груз 17 установлен постоянно и на него навешиваются грузы 18 и 19 (соответственно шкалам А; В и С). На стол 7 устанавливают испытываемый образец 6. При вращении по часовой стрелке маховика 8 перемещается винт 11, который поднимает стол 7, и образец 6 вводится в соприкосновение с индентором. При дальнейшем вращении маховика 8 сжимается пружина 2, шарик или алмазный конус начинает внедряться в испытываемый образец 6, а стрелки поворачиваются по шкале индикатора 23. При вращении маховика 8 до тех пор, пока образец не упрется в ограничительный чехол 3, малая стрелка индикатора дойдет до красной точки, а большая стрелка установится (с погрешностью ± 5 делений) приблизительно в вертикальном положении, создается предварительная нагрузка 100 Н. Точную установку шкалы индикатора на нуль производят при помощи барабана 9 тросиком 22, закрепленным на ранте индикатора.

Циферблат индикатора имеет две шкалы – черную (С) (А) и красную (В). Независимо от того, что вдавливается в испытываемый образец – алмазный конус или шарик, с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы со значком «С». Большую стрелку с нулевым штрихом красной шкалы со значком «В» не совмещают ни в каком случае.

Приведение в действие основной нагрузки осуществляется с помощью привода 12 от электродвигателя, работающего непрерывно и отключаемого с помощью тумблера 13 только при длительных перерывах в работе прибора.

Нажатием клавиши 10 приводят в действие кулачковый блок 16 механизма привода 12, передача от которого к грузовому рычагу 21 осуществляется с помощью штока 14. При этом подвеска 20 с грузами 17-19 опускается, и этим обеспечивается действие основной нагрузки и создается общая нагрузка (предварительная+основная).

Под действием основной нагрузки шарик или алмазный конус все глубже проникает в испытуемый образец, при этом большая стрелка индикатора поворачивается против часовой стрелки. После окончания вдавливания основная нагрузка, действовавшая на образец, автоматически снимается и остается предварительная нагрузка. При этом большая стрелка индикатора перемещается по часовой стрелке и указывает на шкале индикатора число твердости по Роквеллу. При испытании алмазным конусом под нагрузкой 1500 или 600 Н отсчет производят по черной шкале, а при испытании шариком под нагрузкой 1000 Н – по красной шкале.

По окончании цикла испытания кулачковый блок автоматически отключается и фиксируется в исходном положении. Нормальная продолжительность цикла испытания 4 с (при положении рукоятки 15 указателя против буквы Н). Ускоренный цикл испытания 2 с (при положении рукоятки указателя против буквы У).

При вращении маховика 8 против часовой стрелки стол 7 опускается и образец 6 освобождается от действия предварительной нагрузки.

Испытуемый образец должен отвечать следующим требованиям:

1. поверхность не должна иметь грубых дефектов (грязь, забоины, окалина и т.д.);
2. поверхности (испытуемая и опорная) должны быть плоскими, параллельными;
3. поверхность должна быть обработана мелкозернистым наждачным кругом либо наждачными шкурками. Температура поверхности при этом не должна превышать 100...150° С.

Определение твердости по Виккерсу

По этому способу в металл вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида с углом в вершине 136° и твердость характеризует площадь получаемого отпечатка. При вдавливании пирамиды соотношение между диагоналями получаемого отпечатка при изменении нагрузки остается постоянным, что позволяет в широких пределах в зависимости от целей исследования увеличивать или уменьшать нагрузку.

Испытания проводят на приборе (рисунок 7), имеющем неподвижную станину, в нижней части которой установлен столик 1, перемещающийся по вертикали вращением маховика 2.

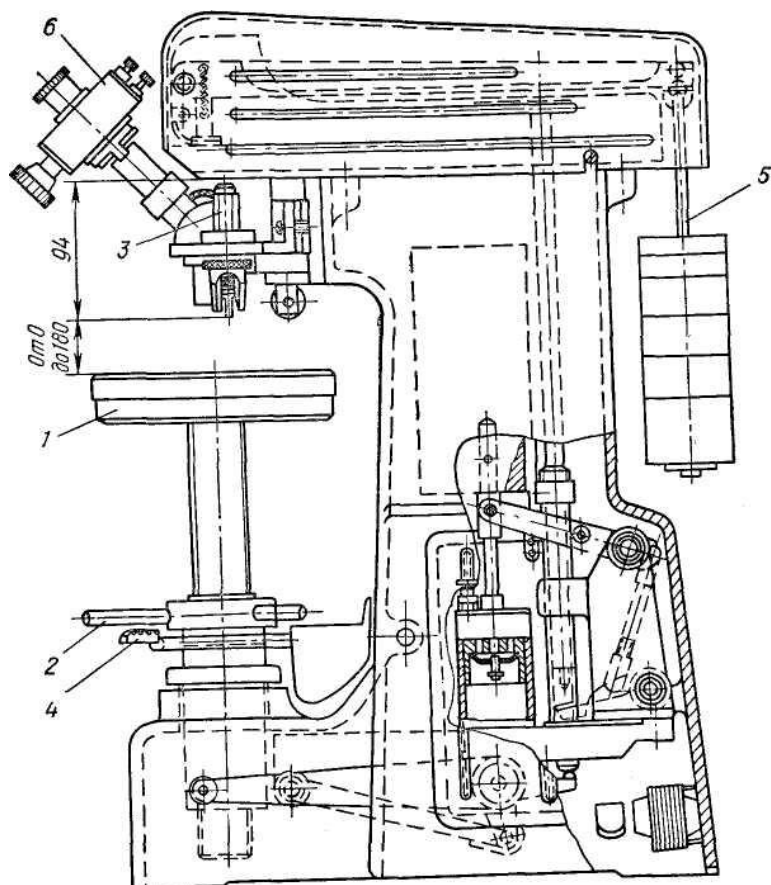


Рисунок 7 - Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Виккерсу): 1- столик для установки образца; 2- маховик; 3 — шток с алмазной пирамидой; 4 - педаль пускового рычага; 5 - подвеска с призмой; 6 – микроскоп.

Образец устанавливают на столике испытуемой поверхностью (перпендикулярной действующей силе) сверху и затем поднимают столик почти до соприкосновения образца с алмазной пирамидой, закрепленной в шпинделе 3. Нажатием педали пускового рычага 4 приводят в действие нагружающий механизм, который через рычаг передает давление грузов 5, предварительно поднятых на алмазную пирамиду. После этого опускают столик прибора и подводят микроскоп, установленный на штанге, прикрепленной к станине. С помощью микроскопа определяют длину диагонали полученного отпечатка.

В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида.

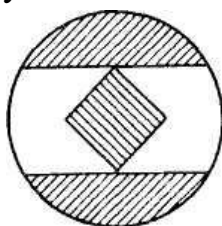


Рисунок 8 - Схема измерения отпечатка, полученного вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Виккерсу)

Поверхность образцов для определения твердости пирамидой должна быть тщательно отшлифована бумагой с мелким зерном или даже отполирована. Толщина испытуемого образца должна быть не меньше чем 1,5 диагонали отпечатка.

Твердость по Виккерсу HV, так же как и по Бринеллю, определяется как усилие, приходящееся на единицу поверхности отпечатка:

$$HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2} \quad (\text{кгс} / \text{мм}^2)$$

где P — нагрузка на пирамиду, кгс; α — угол между противоположными гранями пирамиды (136°); d — среднее арифметическое длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Числа твердости по Виккерсу и по Бринеллю имеют одинаковую размерность и для материалов твердостью до HB 450 практически совпадают. Вместе с тем измерения пирамидой дают более точные значения для металлов с высокой твердостью, чем измерения шариком или конусом. Алмазная пирамида имеет большой угол в вершине (136°) и диагональ её отпечатка примерно в семь раз больше глубины отпечатка, что повышает точность измерения отпечатка даже при проникновении пирамиды на небольшую глубину и делает этот способ особенно пригодным для определения твердости тонких или твердых сплавов.

При испытании твердых и хрупких слоев (азотированного, цианированного) около углов отпечатка иногда образуются трещины (отколы), по виду которых можно судить о хрупкости измеряемого слоя.

Порядок выполнения работы

1. Изобразить схему испытания на приборе Бринелля и схему измерения диаметра отпечатка (рисунок 1).
2. Изобразить схему измерения твердости по Роквеллу (рисунок 5).
3. Изобразить схему измерения отпечатка по Виккерсу (рисунок 8)
4. Записать основные теоретические сведения об измерениях твердости различными методами. Сравнить их.
5. Используя таблицу 2 «Результаты измерений твердости на приборе Бринелля» внести результаты испытаний, приведенные для вашего варианта, в таблицу 2 «Результаты измерений и расчетов»
6. Произвести расчет твердости по методу Бринелля, используя формулы 1 и 2. Данные даны в таблице 3.
7. Перевести рассчитанную твердость по Бринеллю в твердость по Роквеллу и Виккерсу.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схемы испытаний.
3. Основные теоретические сведения об испытаниях материалов.
4. Расчеты.
5. Ответы на вопросы.

Таблица 2 Результаты измерений и расчетов

№ варианта	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, Н (кгс)	Измерения диаметра отпечатка d, мм	Среднее значение диаметра отпечатка d, мм	Число твердости НВ	
					По таблице	По расчету

Таблица 3 Результаты измерений твердости на приборе Бринелля

№ варианта	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, Н	Измерения диаметра отпечатка d, мм		
			1	2	3
1	2,5	1875	0,313	0,315	0,320
2	2,5	1875	0,323	0,321	0,326
3	2,5	1875	0,326	0,330	0,323
4	2,5	1875	0,344	0,339	0,340
5	2,5	1875	0,345	0,348	0,346
6	2,5	1875	0,363	0,357	0,360
7	2,5	1875	0,366	0,361	0,359
8	2,5	1875	0,380	0,386	0,385
9	2,5	1875	0,395	0,399	0,391
10	2,5	1875	0,412	0,404	0,399
11	5	2500	2,401	2,409	2,420
12	5	2500	2,630	2,651	2,657
13	5	7500	3,456	3,501	3,485
14	5	7500	3,987	4,152	4,203
15	5	7500	5,234	5,360	5,346
16	5	7500	6,025	5,870	5,924
17	5	7500	4,576	4,612	4,487
18	5	7500	5,123	5,078	5,220

19	5	7500	4,382	4,350	4,400
20	5	2500	3,185	3,206	3,210
21	5	7500	4,412	4,399	4,391
22	10	10000	2,651	2,420	2,630
23	10	30000	5,360	5,397	5,520
24	10	10000	2,461	2,649	2,566
25	10	30000	4,152	3,986	4,087
26	10	10000	3,210	3,425	3,333
27	10	30000	5,870	5,934	5,822
28	10	10000	3,485	3,327	3,923
29	10	10000	2,657	2,521	2,582
30	10	30000	5,873	5,726	5,804

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики механических свойств металлов.
2. Что такое твердость?
3. Причины широкого применения твердости по сравнению с другими механическими характеристиками.
4. Как определяется число твердости по Бринеллю?
5. Преимущества и недостатки способа Бринелля.
6. Как изменяется диаметр отпечатка с увеличением твердости образца?
7. Методика проведения испытаний на прессе Бринелля.
8. Принцип работы прибора.
9. Что влияет на выбор нагрузки вдавливания и диаметр шарика?
10. Влияние времени выдержки под нагрузкой на изменение значений НВ.
11. Почему ограничивается измеряемое значение твердости?
12. Чем обусловлены ограничения по расстоянию между отпечатками?
13. Подготовка образцов к испытанию.
14. Методика измерения отпечатка.
15. Обозначение твердости.
16. Как определяется твердость по Роквеллу, Бринеллю и Виккерсу?
17. Что показывает число твердости по Роквеллу?
18. Что принимается за единицу твердости по Роквеллу?
19. Формулы для определения твердости.
20. Обозначения твердости.
21. Преимущества и недостатки различных методов измерения твердости.
22. Требования к поверхности образцов.

Практическая работа №2

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Цель работы:

Научиться строить кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с определенным содержанием углерода по диаграмме состояния сплавов; пояснить структурные превращения для заданного сплава в критических точках кривой охлаждения.

Краткие теоретические сведения

Для определения температурных интервалов, видов термической обработки, температуры плавления и заливки сплава в литейные формы пользуются специальными диаграммами состояния сплавов.

Диаграмма состояния сплавов - графическое изображение фазового состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов.

Для построения диаграмм состояния сплавов используют множество кривых охлаждения сплавов с различными концентрациями компонентов в зависимости от температуры и времени охлаждения (рисунок 1). Однотипные критические точки (например, соответствующие температурам плавления сплавов) кривых охлаждения соединяют линией. Замкнутая область на диаграмме состояния, ограниченная линиями, имеет однотипную структуру.

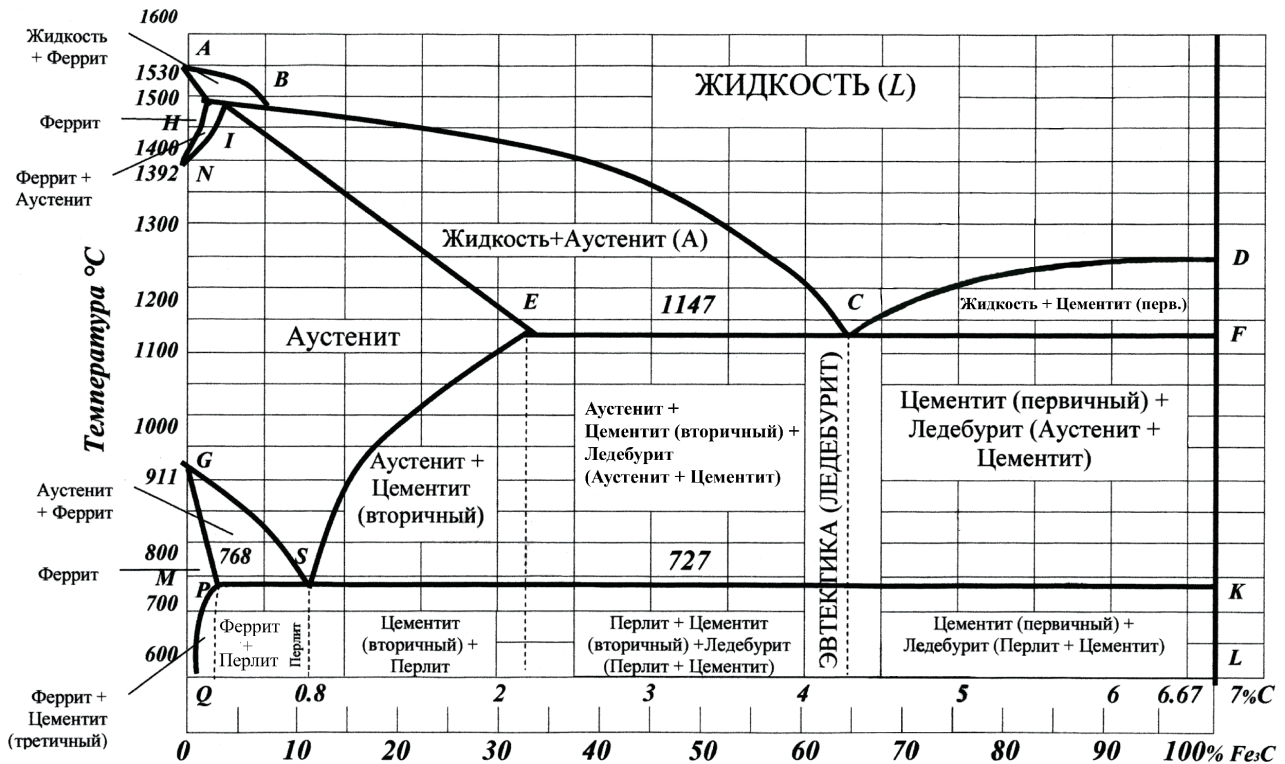


Рисунок 1 – Диаграмма состояния сплавов Fe-Fe₃C

Левая крайняя точка на горизонтальной оси соответствует 100 % содержанию одного компонента (в данном случае – железа), правая – 100 % второго (углерод или цементит). Процентное содержание компонента откладывается по этой оси слева направо.

Диаграмма состояния Fe–Fe₃C характеризует фазовый состав и превращения в системе железо-цементит (6,69 % C). Ее особенностью является наличие на оси состава двух шкал, показывающих процентное содержание углерода и цементита. Эта особенность объясняется тем, что при взаимодействии железа с углеродом в сплавах последний может растворяться в кристаллических решетках железа по механизму внедрения и образовывать железоуглеродистые соединения, в частности цементит Fe₃C, который содержит наименьшее количество углерода (6,69 % C). Поэтому можно рассматривать часть диаграммы состояния от железа до цементита как самостоятельную диаграмму Fe–Fe₃C.

Система Fe–Fe₃C является метастабильной, так как при определенных условиях нагрева цементит неустойчив и распадается с образованием свободного углерода – графита. При охлаждении обратного процесса в действительности не происходит (то есть он не является полностью обратимым). Система железо–углерод – стабильная.

Основными *компонентами*, определяющими тип диаграммы Fe–Fe₃C, являются полиморфные элементы: железо и углерод.

ЖЕЛЕЗО – блестящий светло-серый металл. Атомный номер 26. Плотность $\rho = 7840 \text{ кг/м}^3$. Температура плавления $t_{\text{пл}} = 1539^\circ \text{C}$, температура кипения $t_{\text{кип}} = 2880^\circ \text{C}$. Механические свойства железа зависят от его чистоты. Временное сопротивление при растяжении $\sigma_{\text{в}} = 300 \dots 400 \text{ МПа}$; предел текучести – $\sigma_{0,2} = 100 \dots 250 \text{ МПа}$; относительное удлинение – $\delta = 30 \dots 50 \%$; относительное сужение – $\psi = 70 \dots 80 \%$; твердость – 60...90 НВ.

Железо имеет две модификации Fe_α и Fe_γ.

Fe_α (*α-железо*), с кубической объемноцентрированной решеткой (О.Ц.К.), существует при температуре до 911° С и в интервале температур от 1392° С до 1539° С. Важной особенностью Fe_α является ферромагнетизм ниже $t = 768^\circ \text{C}$ (точка Кюри).

Fe_γ (*γ-железо*) имеет кубическую гранцентрированную решетку (Г.Ц.К.) и существует при температуре от 911° С до 1392° С.

УГЛЕРОД – неметалл. Атомный номер 6. Плотность $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$. Температура плавления $t_{\text{пл}} = 4000^\circ \text{C}$, температура кипения $t_{\text{кип}} = 4200^\circ \text{C}$. Существуют в двух модификациях: графит и алмаз. При нормальных условиях устойчивым является графит. Алмаз получают при высоких давлениях и темпе-

ратурах. В железоуглеродистых сплавах находится в химически связанном или свободном состояниях.

Углерод широко используется в металлургии как восстановитель, а также в качестве топлива (в доменном производстве восстановление элементов происходит за счет углерода кокса), сырья для графитовых электродов, огнеупоров и пр.

В зависимости от температуры и содержания углерода железоуглеродистые сплавы образуют ряд структурных составляющих.

– *ФЕРРИТ* (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α -железо, с ограниченной растворимостью, обусловленной малым размером межатомных пор в ОЦК. Магнитен. Максимальная концентрация углерода – 0,025 % при $t = 727^\circ \text{C}$. Феррит мягкая пластичная форма: $\sigma_{\text{в}} = 300 \text{ МПа}$; $\delta = 40 \%$; $\psi = 80 \%$; $\text{КСУ} = 2,5 \text{ МДж/м}^2$; 80...100 НВ. На диаграмме состояния занимает область GPQ (рисунок 1).

– *АУСТЕНИТ* (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо. Имеет ГЦК решетку, растворимость углерода достигает 2,14 %. С понижением температуры концентрация углерода снижается до 0,8 %. Пластичен – $\delta = 40 \dots 50 \%$; значительно тверже феррита – 160...200 НВ; $\sigma_{\text{в}} = 600 \text{ МПа}$. Сталь со структурой аустенита немагнитна. На диаграмме состояния занимает область AESG (рисунок 1).

– *ЦЕМЕНТИТ* (Ц) – карбид железа Fe_3C , химическое соединение железа с углеродом. Содержит 6,69 % С и имеет сложную ромбическую решетку. Очень твердый – 800 НВ и хрупкий $\delta = 0 \%$; $\sigma_{\text{в}} = 30 \dots 50 \text{ МПа}$; $t_{\text{пл}} = 1260^\circ \text{C}$. Цементит слабо ферромагнитен до $t = 210^\circ \text{C}$.

В зависимости от условий образования различают цементит:

1. *первичный*, образуется из жидкости при затвердевании расплавленного сплава (по линии CD);

2. *вторичный*, выделяется при распаде аустенита (линия SE);

3. *третичный*, образуется при выделении углерода из феррита (линия QP).

– *ПЕРЛИТ* (П) – эвтектоидная механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % С. Образуется при температуре 727°C в результате распада аустенита в процессе его охлаждения. Перлит может быть пластинчатым или зернистым. Механические свойства перлита: $\sigma_{\text{в}} = 800 \dots 900 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 450 \text{ МПа}$; $\delta = 15 \%$; 180...220 НВ.

– *ЛЕДЕБУРИТ* (Л) – эвтектическая механическая смесь аустенита и цементита, образующаяся из жидкого расплава при температуре 1147°C и при концентрации углерода 4,3 %. Так как при температуре ниже 727°C аустенит превращает перлит, то ледебурит ниже эвтектоидной прямой E'K состоит из це-

ментита и перлита. Ледебурит очень твердая (более 700 НВ) и хрупкая ($\delta = 1 \dots 2 \%$) структура.

– *ГРАФИТ* (Г) представляет собой свободный углерод. В чугунах и графитизированной стали содержится в виде включений, форма которых влияет на механические и технологические свойства сплавов.

На диаграмме железо–цементит можно выделить следующие фазы:

- **Ж** – жидкая находится выше линий **АВСД**;
- **А** – аустенит, участок **АЕGS**;
- **Ф** – феррит, область, ограниченная точками **GPQ**;
- **Ц** – цементит;
- **Г** – графит.

Помимо упомянутых составляющих, в железоуглеродистых сплавах могут быть неметаллические включения – соединения с кислородом, азотом, серой, фосфором и т.д.

Основные точки диаграммы состояния Fe–Fe₃C обозначают латинскими буквами. Точка **А** определяет температуру плавления чистого железа; **Д** – температуру плавления цементита; **Г** – температуру полиморфного превращения железа; **Р** – характеризует предельную концентрацию углерода в феррите; **Е** – наибольшую концентрацию углерода в аустените (стали). Превращения в сплавах системы Fe–Fe₃C происходят как при затвердевании жидкой фазы, так и в твердом состоянии. Их координаты приведены в таблице 1.

Первичная кристаллизация идет в интервале температур, определяемых на линиях *ликвидус* (**ACD**) и *солидус* (**AECSF**). По линии **GSE** происходит начало, а по линии **PSK** конец вторичной кристаллизации. Вторичная кристаллизация вызвана превращением железа одной модификации в другую и переменной растворимостью углерода в аустените и феррите.

В твердых растворах избыток углерода выделяется в виде цементита. Линии **ES** и **PQ** характеризуют изменение концентрации углерода соответственно в аустените и феррите. Состав цементита почти не меняется и определяется линией **DFKL**.

В системе Fe–Fe₃C происходят два изотермических превращения:

- *эвтектическое*, при $t = 1147^\circ \text{C}$, линия **ESF**;
- *эвтектоидное*, при $t = 727^\circ \text{C}$, линия **PSK**.

Краткая характеристика фазовых превращений на линиях диаграммы железо–цементит дана в в таблице 1

Таблица 1 – Фазовые превращения в точках диаграммы железо–цементит

Обозначение точек	Фазовые превращения в точках (при нагревании и охлаждении)	Содержание углерода, %	Соответствующая температура, °С	Перечень фаз	Количество фаз	Число степеней свободы
A	Температура плавления и затвердевания чистого железа	0	1539	Жидкость + кристаллы железа	2	–
D	Температура плавления и затвердевания цементита	6,67	1600	Жидкость + цементит (первичный)	2	–
C	Плавление и образование ледебурита	4,3	1147	Жидкость + цементит + аустенит	3	0
E	Максимальное растворение углерода в аустените	2,14	1147	Жидкость + аустенит + цементит	3	0
S	Минимальное растворение углерода в аустените	0,8	727	Аустенит + феррит + цементит	3	0
G	Превращение γ -железа в α -железо или α -железа в γ -железо	0	911	γ -железо + α -железо	2	–
P	Максимальное растворение углерода в α -железе	0,025	727	Аустенит + феррит + цементит (вторичный)	3	0
Q	Минимальное растворение углерода в α -железе	0,006	0	Феррит + цементит (третичный)	2	1
K	Нет фазовых превращений	6,67	727	Цементит (первичный)	1	–
F	Нет фазовых превращений	6,67	1147	Цементит (первичный)	1	–
M	Магнитное превращение	0	768	Чистое железо	1	–

Таблица 2 – Фазовые превращения на линиях диаграммы Fe–Fe₃C

Обозначение линий	Фазовые превращения на линиях (при охлаждении)	Перечень фаз	Количество фаз	Число степеней свободы
АС	Начало выделения аустенита из жидкости	Аустенит + жидкость	2	1
АЕ	Конец выделения аустенита из жидкости	Аустенит + жидкость	2	1
ЕС	Конец выделения аустенита из жидкости и образование ледебурита	Аустенит + цементит + жидкость	3	0
СD	Начало выделения цементита (первичного) из жидкости	Жидкость + цементит	2	1
СF	Конец выделения цементита (первичного) из жидкости и образование ледебурита из жидкости	Жидкость + цементит + аустенит	3	0
ЕСF	Образование ледебурита из жидкости	Жидкость + аустенит + цементит	3	0
GS	Начало выделения феррита из аустенита	Аустенит + феррит	2	1
PS	Конец выделения феррита из аустенита и образование перлита из аустенита	Аустенит + феррит + цементит	3	0
PSK	Образование перлита из аустенита	Аустенит + феррит + цементит	3	0
SE	Начало выделения цементита (вторичного) из аустенита	Аустенит + цементит	2	1
SK	Конец выделения цементита (вторичного) из аустенита и образование перлита из аустенита	Аустенит + цементит + феррит	3	0
PQ	Начало выделения цементита (третичного) из феррита	Феррит + цементит	2	1

Построение кривых охлаждения

Диаграмма состояния характеризует процессы превращений, протекающих различно в зависимости от состава сплава. Следовательно, сплавы могут иметь разные по характеру температурные кривые охлаждения (нагрева).

Кристаллизация сплавов происходит в интервале температур. Этот процесс идет с выделением тепла, с замедлением скорости охлаждения сплава, что меняет наклон кривой охлаждения. Точки пересечения линии сплава с кривыми линиями диаграммы состояния соответствуют перегибам на кривых охлаждения.

В сплавах, образующих эвтектику, в момент окончания затвердевания, в равновесии находятся три фазы. Согласно правилу фаз Гиббса число степеней свободы в этом случае равно нулю. Поэтому окончание первичной кристаллизации происходит при постоянной температуре, а на кривой охлаждения наблюдается горизонтальный участок (остановка) при этой температуре. Следовательно, пересечение линией сплава горизонтальных линий на диаграмме состояния дают на кривых охлаждения горизонтальные площадки.

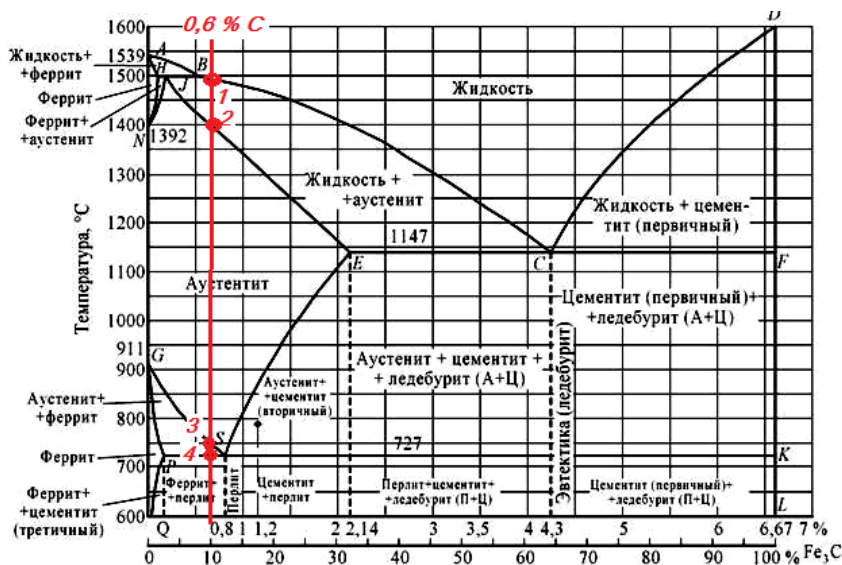
При вторичной кристаллизации также наблюдается остановка на кривой охлаждения, но в силу того, что тепловой эффект превращения в твердом состоянии меньше, горизонтальная площадка на кривой охлаждения принимается в меньшем масштабе.

Критические точки на линиях диаграммы принято обозначать буквой А с индексом г, если точка находится на кривой охлаждения, и индексом с – на кривой нагрева. Например: критическую точку перехода α -железа в γ -железо при 911°C при нагреве обозначают $A_{с3}$, при охлаждении – $A_{г3}$.

Примеры построения кривой охлаждения

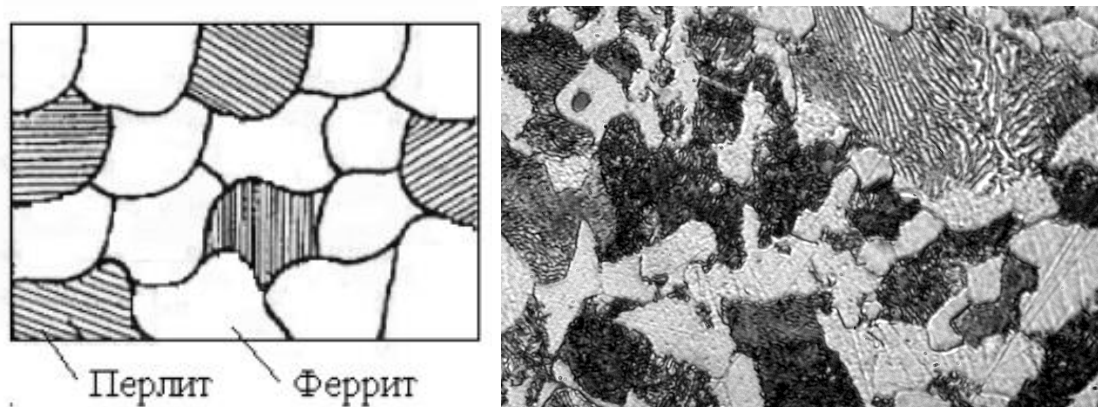
Пример 1

Вычертите диаграмму состояния железо-цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения для сплава, содержащего 0,6 % С. Какова равновесная структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?



Сплав с содержанием углерода **0,6 %** называется *доэвтектоидной сталью*.

В исходном состоянии сталь имеет структуру, состоящую из зерен феррита (твердый раствор внедрения углерода в ОЦК-решетке железа) и зерен перлита (механическая смесь из феррита и цементита).



Микроструктура доэвтектоидной стали

Для того, чтобы проследить, какие превращения претерпевает сплав (сталь 60) при охлаждении, проведем линию сплава и пронумеруем точки пересечения линии сплава с линиями диаграммы. Это и есть критические точки.

Критическая точка – это температура, при которой начинается, заканчивается или полностью протекает фазовое или другое превращение в сплаве. На кривых охлаждения им соответствуют остановки или линии перегиба.

1 – температура Ликвидус (линия ABCD) – при охлаждении начинается процесс кристаллизации, из жидкого раствора выпадают кристаллы аустенита;

2 – температура Солидус (линия AECF) – при охлаждении заканчивается кристаллизация аустенита;

3 – критическая точка A_3 (линия GS) – температура начала выделения феррита из аустенита;

4 – критическая точка A_1 (линия PSK) – превращение (распад) оставшегося аустенита в перлит – эвтектоидное превращение;

5 – (на диаграмме не обозначена) – магнитное превращение цементита – 210°C .

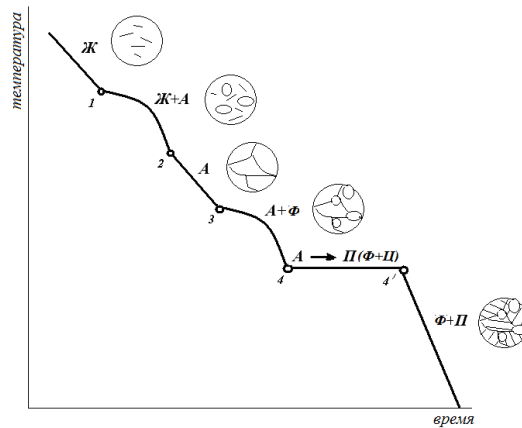
Превращения, протекающие при охлаждении (цифры рядом с буквами обозначают содержание углерода в данной фазе)

1. Кристаллизация аустенита из жидкости $J_{0,6} \rightarrow A_{0,6}$ (в интервале 1–2)

2. Превращение части аустенита в феррит (путем полиморфного превращения): $A_{0,6} \rightarrow F_{0,02}$ (в интервале 3–4)

3. Эвтектоидное превращение оставшейся части аустенита $A_{0,8} \rightarrow P_{0,8}$ ($F_{0,02} + C_{6,67}$) (на кривой охлаждения – горизонтальная линия 4–4')

Кривая охлаждения:



Равновесная структура этого сплава – смесь феррита и перлита (рис. в начале). Количественное соотношение феррита и перлита можно определить следующим образом:

0,8 % C → 100 % перлита

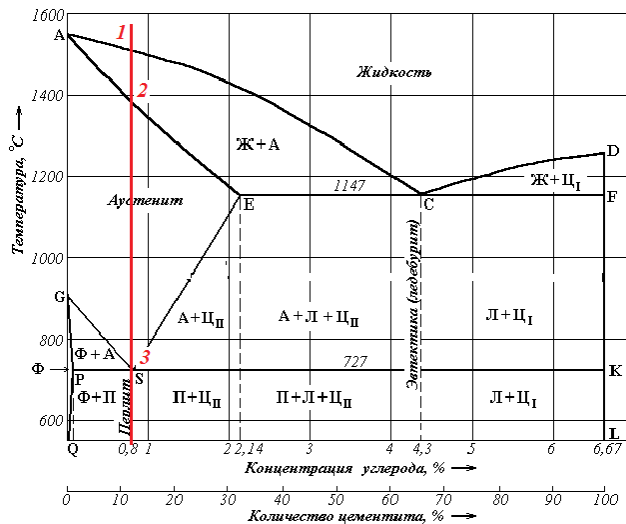
0,6 % C → % перлита для данной марки стали

$$\% \text{ перлита} = \frac{0,6 \times 100}{0,8} = 75\% \text{ – это столько перлита содержится в стали с}$$

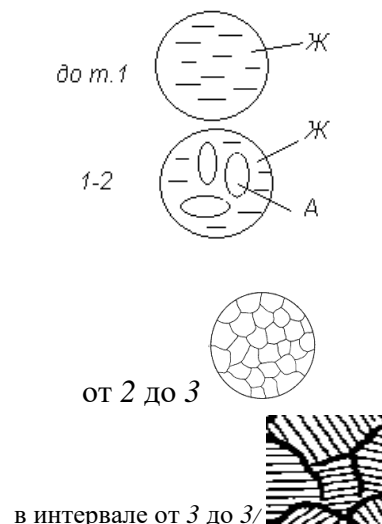
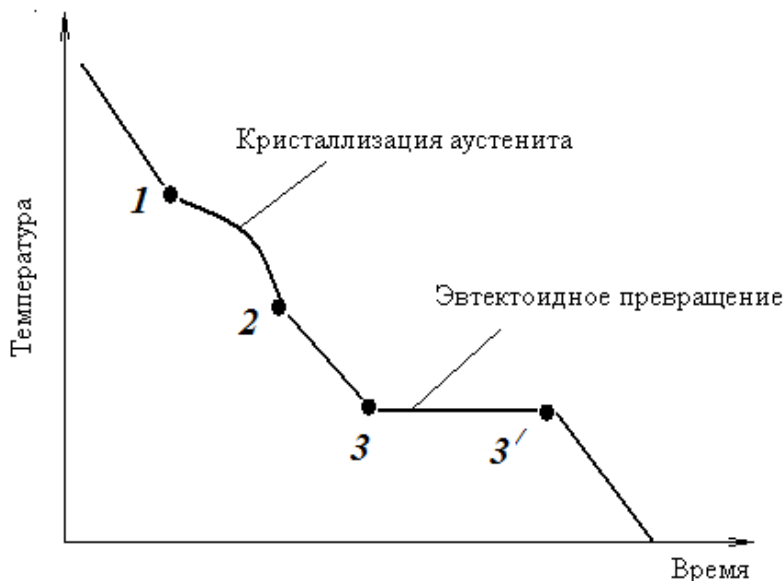
0,6% углерода

Пример 2

Вычертите диаграмму состояния железо-цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения для сплава, содержащего 0,8 % C. Какова равновесная структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

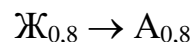


Кривая охлаждения:

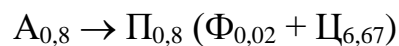


Превращения, протекающие при охлаждении

1. Кристаллизация аустенита из жидкости

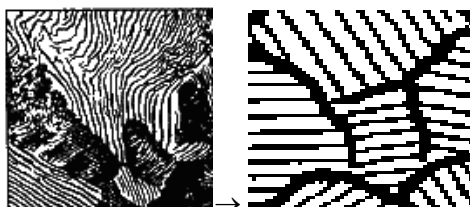


2. Эвтектоидное превращение



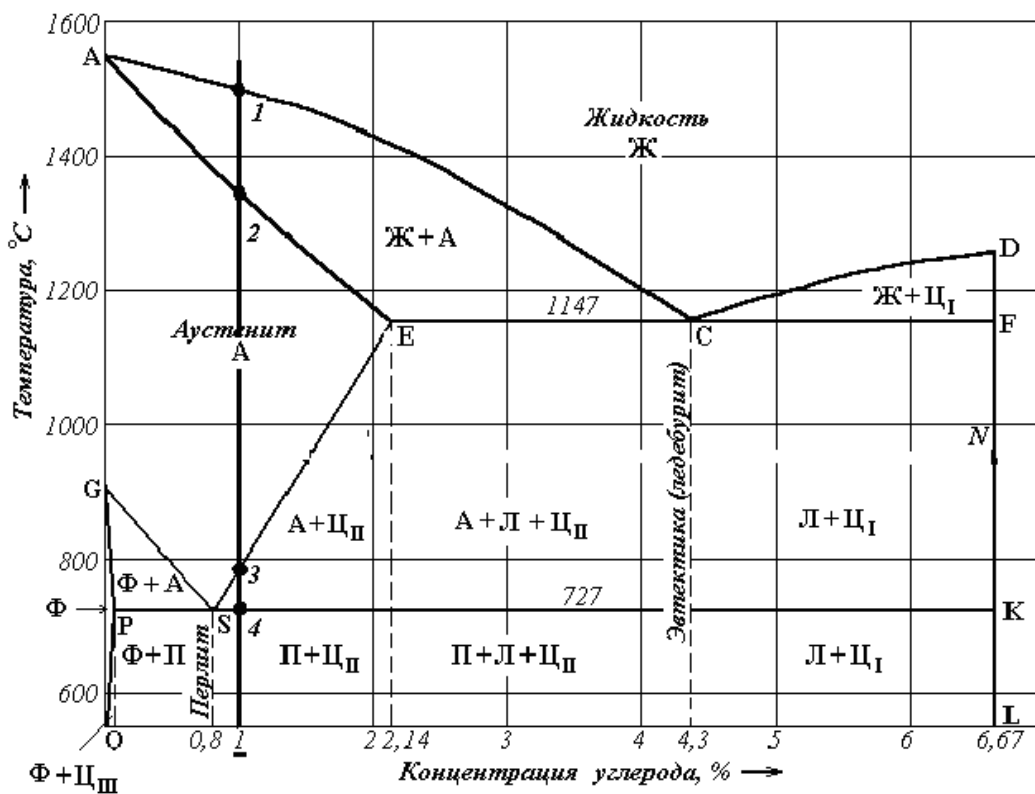
Сплав с содержанием углерода 0,8 % называется **эвтектоидная сталь**.

Равновесная (окончательная) структура этого сплава – **перлит** (механическая смесь феррита и цементита).

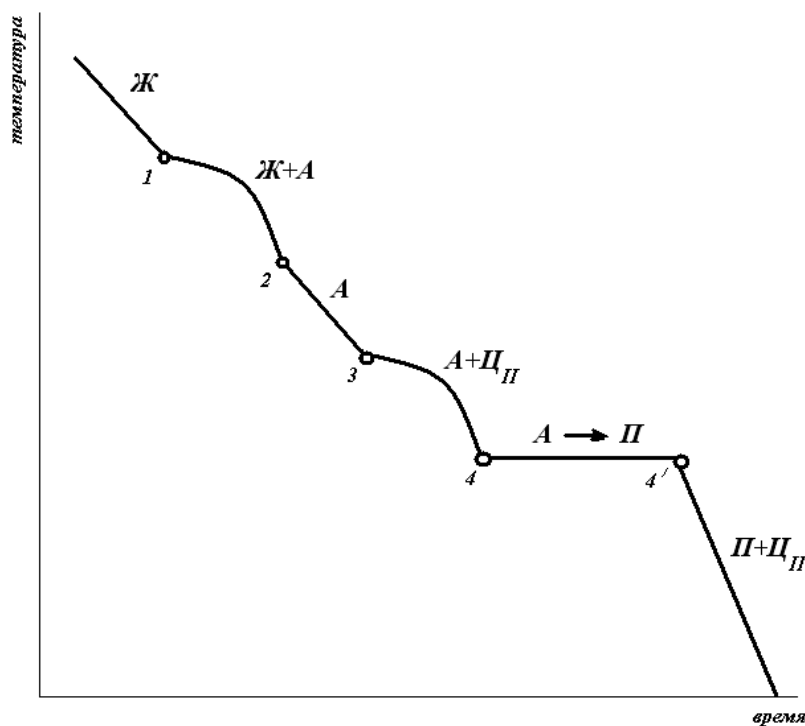


Пример 3

Вычертите диаграмму состояния железо–цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения для сплава, содержащего 1,0 % углерода. Какова равновесная структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

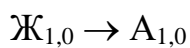


Кривая охлаждения



Превращения, происходящие при охлаждении сплава от жидкого состояния до комнатной температуры

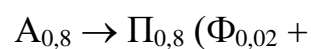
1. Кристаллизация аустенита из жидкости (от 1 до 2)



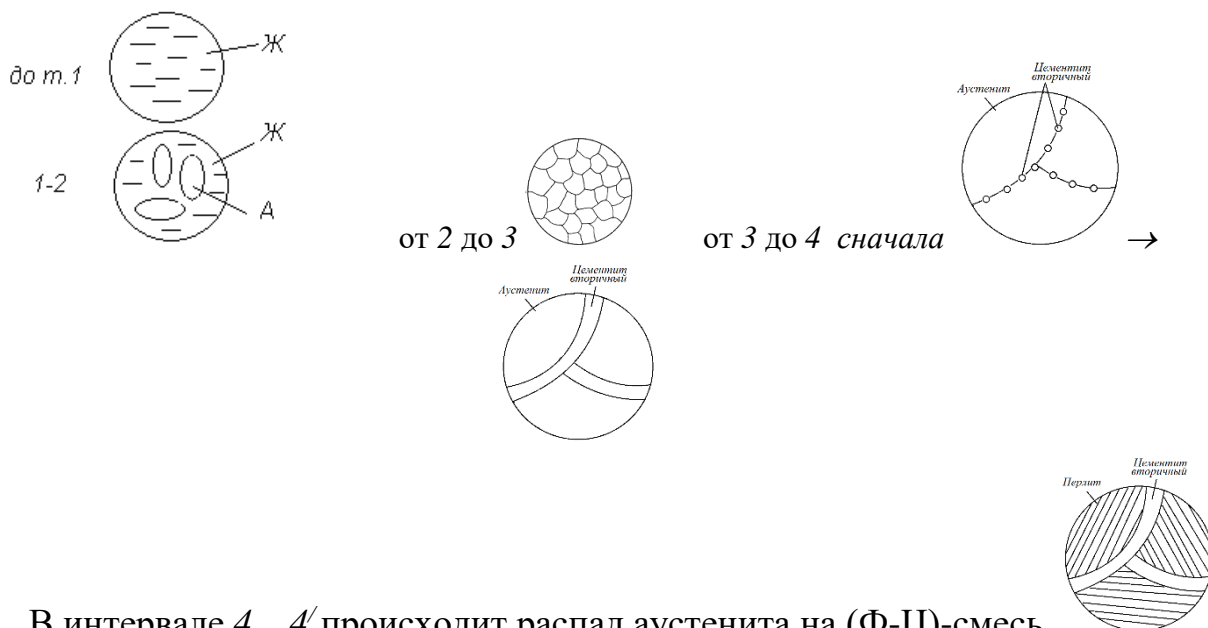
2. Выделение избыточного цементита вторичного из аустенита (от 3 до 4)



3. Эвтектоидное превращение (4–4') Ц_{6,67})



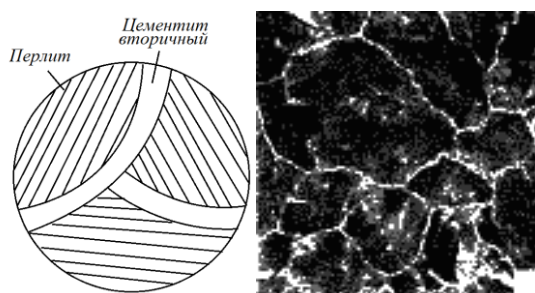
Формирование структуры



В интервале $4 \dots 4'$ происходит распад аустенита на (Ф-Ц)-смесь
Сплав, содержащий **1,0 % C** – это заэвтектоидная сталь.

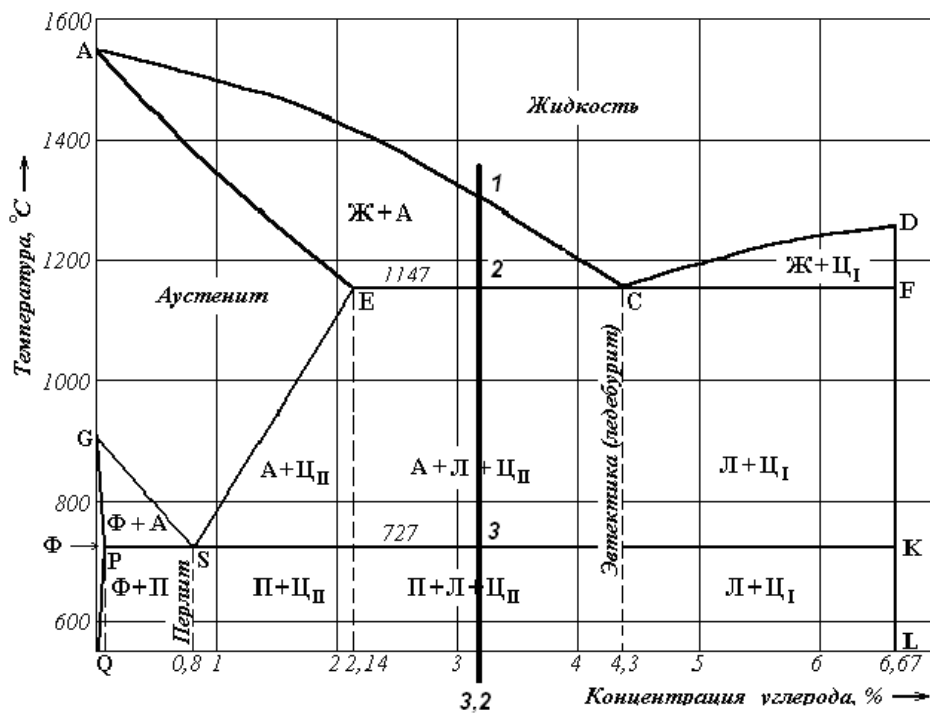
Структура при комнатной температуре – перлит + цементит вторичный

Структура после медленного охлаждения – перлит и цементит вторичный
в виде сплошной цементитной сетки, что является браком.



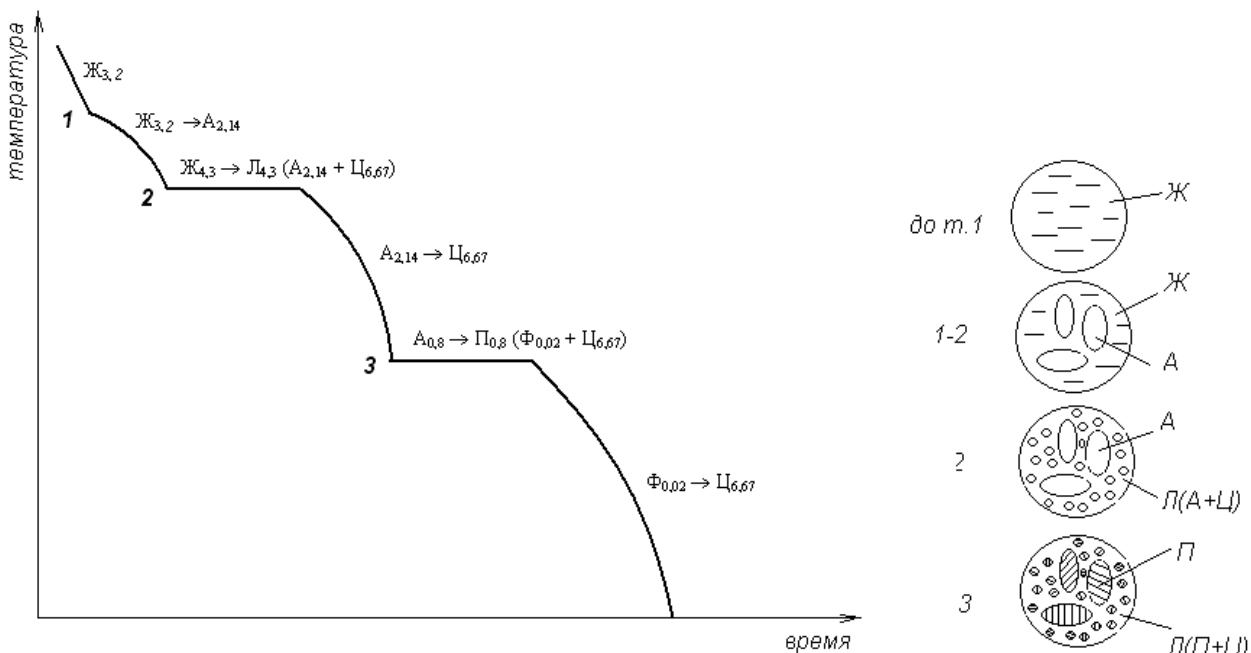
Пример 4

Вычертите диаграмму состояния железо-цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения для сплава, содержащего 3,2 % углерода. Какова равновесная структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?



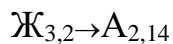
Сплав, содержащий 3,2 % С называется *доэвтектическим чугуном*.

Кривая охлаждения

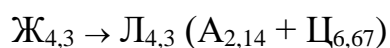


Превращения, протекающие при охлаждении

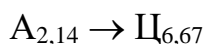
1. Кристаллизация аустенита из жидкости



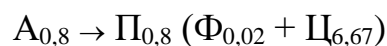
2. Кристаллизация из оставшейся жидкости эвтектики (ледебурита), состоящей из кристаллов аустенита и цемента



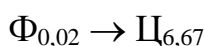
3. Выделение избыточного цементита вторичного (Ц_{II}) из аустенита



3. Эвтектоидное превращение



4. Выделение избыточного цементита третичного (Ц_{III}) из феррита



Равновесная структура состоит из перлита (П), ледебурита (Л) и цементита (Ц_{II}).

Порядок выполнения работы

1. Изобразить диаграмму состояния железо-цементит, описать ее основные структурные составляющие.
2. Изучить пример построения кривых охлаждения.
3. По диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов построить кривую охлаждения для сплава с указанным в таблице 3 содержанием углерода.
4. Провести анализ структурных превращений для заданного сплава в критических точках кривой охлаждения

Таблица 3

Вариант	Содержание углерода в сплаве	Вариант	Содержание углерода в сплаве
1	0,2	16	0,5
2	0,6	17	0,8
3	1	18	1,2
4	1,4	19	1,8
5	2	20	2,5
6	3	21	3,5
7	4	22	4,5
8	5	23	1,2
9	2,6	24	1,5
10	1,6	25	2,4
11	2,8	26	3,2
12	3,4	27	3,6
13	3,8	28	4,3
14	0,7	29	0,9
15	1,1	30	1,3

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Кривая охлаждения.
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Анализ структурных превращений в критических точках кривой охлаждения.

Контрольные вопросы

- 1 Основные компоненты железоуглеродистых сплавов.
- 2 Краткие характеристики фаз диаграммы железо–цементит.
- 3 Различие между α -железом и γ -железом.
- 4 Дать определение стали.
- 5 Какая точка на диаграмме состояния определяет температуру полиморфного превращения железа? Температуру плавления?
- 6 По какой линии идет первичная кристаллизация?
- 7 По каким линиям определяется концентрация углерода в аустените и феррите?
- 8 Когда выделяются цементит первичный, вторичный, третичный?
- 9 Какие изотермические превращения, и по каким линиям происходят в сплавах?
- 10 Почему стали обладают пластичностью, а чугуны хрупкие?

Практическая работа №3

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

Ознакомиться с понятием «структура материалов» и методами подготовки образцов к микроскопическому анализу

Краткие теоретические сведения

Фундаментальным понятием курса материаловедения является понятие структуры (т.е. строения) различных материалов. Структура материалов определяет их свойства. Воздействием внешних (температуры, давления, облучения и т.п.) и внутренних (химического состава) факторов можно изменять строение материалов и тем самым изменять их свойства, добиваясь их оптимального сочетания.

Под *структурой* понимают совокупность отдельных элементов строения материалов, которые можно выявлять и изучать с помощью различных методов.

По признаку размера элементов могут быть выделены следующие уровни структуры материалов:

- *макроструктура*, или макроскопическая структура, включающая такие крупные элементы, как зоны кристаллитов (зерен), волокна, поры, изломы, химические неоднородности вследствие ликвации по удельному весу и т.п.;
- *микроструктура*, или микроскопическая структура, состоящая из таких элементов, как кристаллиты (зерна) и их границы, частицы фаз, домены, неоднородности кристаллитов вследствие дендритной (внутрикристаллитной) ликвации и т.п.;
- *субструктура* (подструктура), включающая такие элементы, как дислокации, дефекты упаковки, блоки (субзерна) в кристаллитах (зернах);
- *кристаллическая структура*, состоящая из таких элементов, как ионы, атомы, молекулы;
- *атомная структура*, элементами которой являются элементарные частицы.

При переходе от макроструктуры к атомной структуре происходит углубление уровня структуры материала.

Каждый уровень структуры можно прямо или косвенно наблюдать или исследовать экспериментально различными методами. Для изучения макроструктуры достаточно наблюдений невооруженным глазом или с помощью лупы. Микроструктуру исследуют при сильных увеличениях с применением световой или электронной микроскопии, кристаллическую структуру - дифракционными, рентгенографическими, электронографическими методами и др., а электронную и ядерную структуры - резонансными методами.

Микроанализ - метод изучения структуры материала с помощью микроскопа при увеличении до 3000 раз. Исследование микроструктуры возможно в проходящих и отраженных лучах, поляризованном свете, при косом освещении и т.д. Микроанализ осуществляется на микрошлифах (небольших образцах, имеющих подготовленную для изучения микроструктуры поверхность) в режиме качественной и количественной оценок структуры металлов и сплавов.

При изучении микроструктуры пользуются понятием «структурная составляющая». *Структурной составляющей* называется часть микроструктуры, имеющая под микроскопом вид обособленных участков, отличающихся цветом

(травимостью), размерами и формой. По физико-химической природе структурные составляющие могут быть чистыми компонентами, твердыми растворами, химическими соединениями, эвтектическими и эвтектоидными смесями фаз.

Под микроскопом чистые компоненты и их твердые растворы в поликристаллических материалах выглядят как светлые зерна, разделенные между собой темными границами. Границы зерен являются областями несовершенного строения, некомпенсированных химических связей и скопления примесных атомов, а следовательно, областями с повышенной свободной энергией. При выявлении микроструктуры химическим травлением вещество на поверхности границы зерен растворяется интенсивнее, образуются канавки, в которых происходит гашение световых лучей при исследовании образца под микроскопом, поэтому границы зерен в однофазном и многофазном материале всегда выглядят темными. Эвтектические и эвтектоидные смеси фаз всегда имеют вид темной неоднородной массы, так как в них поверхность раздела фаз велика.

При описании микроструктуры учитывают такие факторы, как размеры зерен и форма частиц, взаимное распределение структурных составляющих, их количественное соотношение. От однородности микроструктуры, наличия или отсутствия мелких включений зависят электросопротивление, прочность, коррозионная стойкость и другие структурночувствительные свойства материалов. Для полупроводниковых материалов весьма важное значение имеет субструктура, косвенное изучение которой осуществляется с помощью световой, а прямое - с помощью электронной микроскопии.

В современной микроскопии, наряду с качественными описательными методами, широко используются количественные методы оценки микроструктуры. Такой оценке подвергаются количественное соотношение структурных составляющих, протяженность границ зерен, количество и размеры частиц фаз, входящих в структуру, и т.п.

Последовательность проведения операций при микроструктурном методе исследования материалов следующая:

- вырезка образцов для изучения;
- подготовка микрошлифа;
- выявление микроструктуры травлением поверхности микрошлифа специальными реактивами;
- исследование шлифа под микроскопом.

Место вырезки образцов для изучения диктуется задачами микроскопиче-

ского анализа. После определения направления резки, что очень важно для анизотропных, деформированных материалов и монокристаллов, осуществляется вырезка образцов таким способом, чтобы микроструктура материала не была видоизменена. Для резки образцов используются ножовки, абразивные диски, дисковые пилы, установки анодномеханической резки. Удобны образцы с площадью шлифа 2 - 3 см .

В тех случаях, когда размеры образцов малы (например, образцы проволоки) или требуется исследовать край либо приповерхностный слой, шлифы делают в заливке. Образцы помещают в оправку (металлический полый цилиндр) и заливают легкоплавким сплавом или эпоксидной смолой, а также запрессовывают в пластмассу.

Подготовка микрошлифа состоит из трех последовательных операций:

- получения плоской поверхности;
- шлифовки поверхности;
- полировки поверхности.

Плоскую поверхность получают путем механической обработки: напильником, на станке, шлифовальным кругом. Обязательное условие на этом этапе подготовки микрошлифа состоит в том, чтобы применяемые способы и режимы обработки поверхности не изменили ее микроструктуру.

Абразивная подготовка шлифов заключается в срезании неровностей поверхности образца абразивными частицами. Ее осуществляют в несколько стадий, постепенно уменьшая крупность этих частиц. В качестве абразивных материалов используют порошки алмаза, кварца, карбида и нитрида бора и кремния, окислов хрома, алюминия. Абразивная обработка, состоящая в подготовке поверхности образца на шлифовальной бумаге с различным размером абразивных частиц, называется шлифовкой. Шлифовать следует не менее чем в 4 - 5 переходов, т.е. на 4 - 5 типах шлифовальной бумаги.

При переходе от одного номера бумаги к следующему необходимо очищать образцы от остатков абразива и менять направление шлифовки на 90°. После шлифовки образцы должны быть обязательно промыты в воде для удаления частиц абразива, после чего приступают к более тонкой обработке - полировке.

Полировку производят на вращающемся круге с натянутым полировальным материалом (фетр, сукно, драп). Полирующим веществом является бедная суспензия (5 - 10 г на 1 л воды) абразива (окиси хрома или алюминия) с размерами частиц около 1 мкм.

Для полировки твердых материалов, например кремниевых пластин, используют алмазные порошки.

Кроме механической полировки существует химико-механическая, при которой в состав полирующей смеси вводится химически активное вещество, подтравливающее поверхность образца. Такова полировка на пастах Государственного оптического института (ГОИ), в состав которых входят абразивные частицы, стеарин и олеиновая кислота.

Известны методы неабразивной полировки - химическая и электролитическая. Они состоят в выравнивании поверхности образца за счет процесса анодного растворения. Химическая полировка осуществляется в реактивах определенного состава. Электролитическая полировка состоит в анодном растворении поверхности образца, помещенного в электролит и включенного в цепь постоянного тока в качестве анода. Электролит, плотность тока на образце и время полировки подбирают для каждого материала таким образом, чтобы происходило растворение без выявления микроструктуры. Методы неабразивной полировки используются для полировки чистых металлов, пластин полупроводников, а также для снятия искаженного механической обработкой поверхностного слоя.

Находят применение и другие методы полировки: химико-механическая (на абразивных взвесьях с окислительными свойствами или на пастах ГОИ с применением вибрации) и электромеханическая (на абразивных взвесьях с приложением электрического тока, например, для благородных металлов).

Качество поверхности образцов после полировки контролируют с помощью микроскопа или лупы. Поверхность должна быть плоской, зеркальной, без локальных дефектов и не иметь следов абразивной обработки (царапин).

Ключевым методом *выявления микроструктуры материалов* является химическое травление в водных и спиртовых растворах кислот, щелочей, солей и их смесях, а также в расплавах и газах. Принципиально процесс травления основан на растворении элементов микроструктуры, протекающем с различной скоростью.

Под действием химических реагентов на поверхности образцов чистых компонентов и однофазных материалов прежде всего выявляются границы между зернами.

При двух и более структурных составляющих в материале задача травления сводится к наиболее четкому выявлению границ между ними. В общем

случае чем больше физикохимическое различие структурных составляющих в многофазном материале (по растворимости, электрохимическому потенциалу и т.д.), тем успешнее удастся их выявить.

Иногда в однофазной структуре после травления можно наблюдать различную окраску (или потемнение) зерен. Это объясняется тем, что из-за различной ориентировки относительно плоскости шлифа зерна имеют неодинаковую химическую активность и их травление протекает по-разному.

Химическим называется травление, осуществляемое под действием реактива при погружении в него образца. Иногда реактив втирается в поверхность образца ватным тампоном. Травитель, время травления и температурные условия подбираются для каждого материала. При травлении важно не допустить перетравливания. Улучшать контрастность выявленной микроструктуры целесообразно не путем излишнего травления, а оптическими средствами.

Электролитическим называется травление, осуществляемое под действием реактива с приложением электрического тока. Принципиально механизм выявления микроструктуры во всех видах травления один и тот же и сводится к анодному растворению, однако действие электрического тока ускоряет этот процесс. Электролитическое травление проводят при меньшей плотности тока, чем электролитическую полировку, чтобы анодное растворение происходило не со всей поверхности шлифа, а имело избирательный характер с преимущественной интенсивностью по границам структурных составляющих.

Для выявления микроструктуры материалов используется также метод окисного травления, основанный на различной способности структурных составляющих к окислению и, следовательно, к образованию окисных пленок различной толщины (с увеличением толщины окисной пленки окраска зерен меняется от соломенно-желтой до темно-синей). Для разделения фаз этим методом должен быть строго выдержан режим окисного травления: температура нагрева, время выдержки и окислительная среда.

Для исследования микроструктуры материалов при повышенных температурах используется метод высокотемпературной (вакуумной) металлографии. Этот метод основан на явлении термического травления, которое заключается в избирательном испарении атомов с поверхности полированного образца, помещенного в вакуумную камеру и нагретого до определенной температуры. Метод термического травления используется для исследования фаз, существующих при повышенных температурах. Картина микроструктуры, выявленная

этим методом, имеет свои специфические особенности и для ее расшифровки требуются определенные навыки.

В тех случаях, когда обычными методами выявить микроструктуру материала не удастся, используют травление в расплавах и газовых средах. При травлении в расплавах на поверхность образца наносят вещество (металл, соль или окисел) с температурой плавления ниже, чем у исследуемого материала. Далее его подвергают нагреву, нанесенный слой плавится и растворяет поверхностный слой образца. После затвердевания травитель удаляется с помощью реактива, не действующего на образец.

Этим методом выявляют не только микроструктуру, но и субструктуру ряда полупроводников. Так, германий и кремний хорошо поддаются травлению в расплавах металлов, а полупроводниковые соединения типа $A^{III}B^V$ и $A^{IV}B^{VI}$ - в расплаве индия при температуре 300 - 350 °С. Последующее удаление реактива проводится соляной кислотой.

Для выявления микроструктуры многофазных сплавов применяется метод катодного вакуумного травления. Образец-катод помещается в вакуумную трубку, а его поверхность подвергается бомбардировке ионами аргона, неона, азота и других газов. В поверхности образца выбиваются атомы, количество которых зависит от физико-химической природы фазы.

Микроструктура железоуглеродистых сплавов

Микроструктура железоуглеродистых сплавов формируется под влиянием эвтектического и эвтектоидного превращений аустенита. Во всех сплавах системы, начиная с содержания углерода 0,025%, происходит эвтектоидное превращение. При температуре 723 °С аустенит распадается на физико-химическую смесь кристаллов двух фаз: феррита и цементита. Продукт эвтектоидного превращения - эвтектоид - носит название перлита (от слова «перл» - жемчуг), так как при его наличии в микроструктуре после травления на поверхности шлифа наблюдается жемчужный отлив. Эвтектоидное превращение называют также перлитным. *Перлит* - структурная составляющая, которая под микроскопом имеет вид темной массы вследствие большой поверхности раздела между ферритом и цементитом.

Микроструктура сталей формируется под влиянием эвтектоидного превращения. Эвтектоидная сталь с 0,8% углерода содержит в своей структуре одну структурную составляющую - перлит. В структуре доэвтектоидных сталей имеются две структурные составляющие - феррит и перлит. Структура заэвтек-

тоидных сталей состоит из перлита и вторичного цементита. Фазовый состав всех сталей: феррит + цементит. На рисунке 1 схематически показано формирование микроструктур доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей при охлаждении.

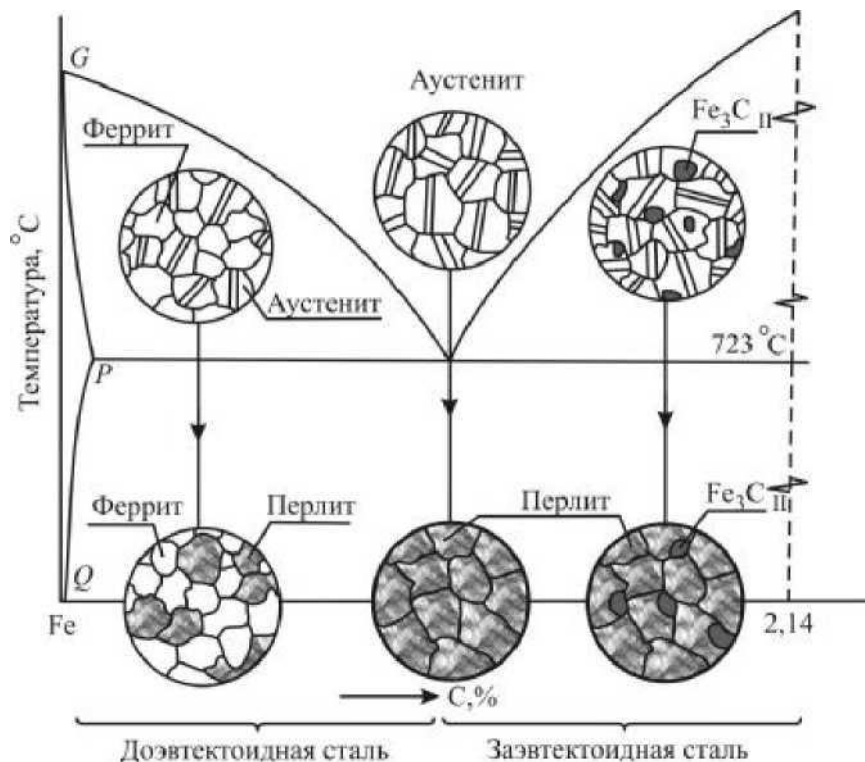


Рисунок 1 - Схема формирования микроструктур углеродистых сталей при охлаждении

По форме частиц цементита различают перлит пластинчатый и зернистый. Для перлита характерна мелкодисперсность частиц цементита, благодаря чему при небольших увеличениях под микроскопом перлит кажется сплошной темной структурной составляющей. Чем более тонкое строение имеет перлит, тем выше его твердость и прочность.

В доэвтектоидных сталях с увеличением содержания углерода содержание перлита увеличивается, вместе с этим увеличивается прочность, а пластичность уменьшается. В заэвтектоидных сталях присутствие в структуре частиц цементита, расположенных, как правило, по границам зерен перлита, очень сильно повышает твердость и прочность, а вместе с тем и хрупкость.

Для доэвтектоидных сталей по микроструктуре возможно определение содержания углерода. Известно, что в микроструктуре эвтектоидной стали (содержание углерода - 0,8%) имеется одна структурная составляющая - перлит. Если пренебречь растворимостью углерода в феррите, можно считать, что весь углерод в доэвтектоидных сталях находится в перлите, поэтому задача сводится к

определению объемной доли перлитной составляющей одним из методов количественной микроскопии (например, точечным методом или методом секущих).

Микроструктура чугунов

Микроструктура чугунов формируется под влиянием двух превращений: сначала эвтектического, а затем эвтектоидного.

По виду излома и микроструктуре чугуны делят на *белые* и *серые*. В белых чугунах весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Излом белого чугуна светлый, блестящий. В серых чугунах углерод находится как в связанном (в виде цементита), так и в свободном (в виде графита) состоянии. Излом серого чугуна серый, матовый. Белые чугуны получают в соответствии с метастабильной диаграммой состояния, а серые - со стабильной диаграммой состояния.

Рассмотрим структурообразование в белом чугуне. По своему положению на диаграмме состояния белый чугун делят на доэвтектический, эвтектический и заэвтектический.

В белом эвтектическом чугуне с содержанием углерода 4,3% кристаллизация заключается в образовании эвтектики, состоящей из двух фаз: цементита и аустенита. Такая эвтектика носит название ледебурита. Непосредственно после затвердевания в эвтектическом сплаве одна структурная составляющая - эвтектика (ледебурит). Охлаждение сплава до температуры эвтектоидного превращения не вносит изменения в микроструктуру. При температуре 723 °С аустенит, входящий в эвтектику, претерпевает эвтектоидный распад с образованием перлита. Полученная микроструктура носит название перлитного ледебурита, в отличие от эвтектики, которую можно также называть аустенитным ледебуритом. Фазовый состав перлитного ледебурита - феррит и цементит.

Кристаллизация доэвтектического белого чугуна начинается с выпадения первичных кристаллов аустенита, затем оставшаяся жидкость превращается в аустенитный ледебурит. В интервале температур между эвтектическим и эвтектоидным превращениями происходит выделение вторичного цементита вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените. При температуре эвтектоидного превращения кристаллы как первичного, так и входящего в эвтектику аустенита, превращаются в перлит. В таком сплаве после охлаждения имеется три структурные составляющие: перлит, перлитный ледебурит и вторичный цементит при том же фазовом составе - феррит и цементит.

Кристаллизация заэвтектического белого чугуна начинается с выпадения крупных первичных кристаллов цементита Fe₃C. Далее оставшийся расплав превращается в аустенитный ледебурит, который затем при температуре эвтек-

тоидного превращения заменяется перлитным ледебуритом. В этом сплаве при комнатной температуре имеются две структурные составляющие: первичный цементит Fe_3C и перлитный ледебурит при том же фазовом составе - феррит и цементит.

На рисунке 2 схематически показано формирование микроструктур белых чугунов.

Белый чугун очень тверд и хрупок вследствие большого количества цементита в его структуре. Этим объясняется область его применения: небольшая часть идет на литье износостойких деталей и получение так называемого «ковкого» чугуна, а большая часть - на передел в сталь.

Серый чугун является важным литейным сплавом для машиностроения. Механические свойства серого чугуна определяются главным образом его структурой, которая состоит из металлической основы и графита. Прочность, твердость и износостойкость растут с увеличением содержания перлита в металлической основе, которая по строению аналогична сталям, может обладать микроструктурой феррита, феррита с перлитом или перлита. Графитные выделения могут иметь различную форму: крупных и мелких пластин, хлопьев, глобул. Наиболее благоприятна глобулярная (шаровидная) форма графита, при наличии которой металлическая основа становится менее разобщенной, а сплав - более пластичным при значительной прочности. Чугун, имеющий в структуре глобулярный графит, называется модифицированным высокопрочным.

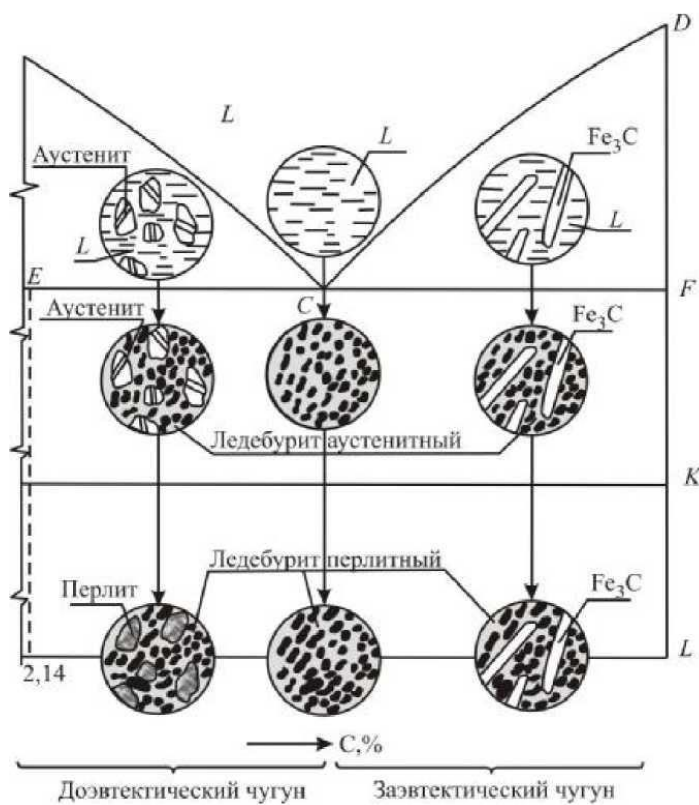


Рисунок 2 - Схема формирования микроструктур белых чугунов при охлаждении

Модифицирование означает управление структурой и свойствами литейного чугуна посредством минимизации переохлаждения и увеличения количества центров кристаллизации графита во время затвердевания отливки. *Модификатор* - это материал, вводимый в жидкий чугун непосредственно перед его разливкой и обеспечивающий наличие в расплаве подходящих фаз для образования графита во время последующего охлаждения. Традиционно модификаторы производились на основе графита, ферросилиция или силикокальция. Наиболее популярный в настоящее время модификатор - ферросилиций - содержит небольшие количества таких элементов, как Al, Ba, Ca, Sr, Zr, редкоземельные металлы.

Порядок выполнения работы

1. Изучить микроструктуры доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных сталей, их свойства.
2. Исследовать под микроскопом шлифы углеродистых сталей, схематически зарисовать наблюдаемую структуру, указать структурные составляющие.
3. Определить содержание углерода и марку доэвтектоидной стали точечным или линейным методом количественной металлографии.
4. Указать химический состав и описать процесс образования структуры серых чугунов.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы;
2. Конспект теоретической части;
3. Схемы микроструктур изученных образцов сталей и чугунов, описание их структурных и фазовых составляющих;

Контрольные вопросы

1. Как изменяется структура железа при полиморфных превращениях?
2. Что понимается под структурой материалов?
3. Микроструктура – понятие.
4. Подготовка микрошлифа.
5. Назовите линии эвтектоидного превращения.
6. Дайте определения сталей.
7. Как изменяется структура стали при увеличении содержания углерода?
8. Как изменяются механические свойства стали с увеличением содержания углерода?
9. Перечислите виды чугунов, дайте их определения.
10. Чем отличается белый чугун от серого?

Практическая работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЧУГУНОВ

Цели работы

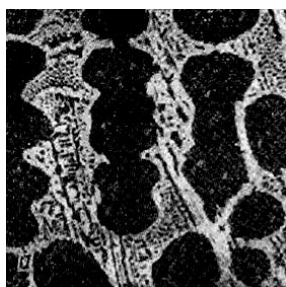
Научиться определять свойства, химический состав, структуру и назначение чугунов.

Краткие теоретические сведения

Сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % углерода, называют *чугунами*. Наличие эвтектики в структуре чугуна обуславливает его использование в качестве литейного сплава. В результате различных условий кристаллизации в структуре чугунов углерод может находиться как в связанном, так и в свободном состоянии (в виде графита). Наличие углерода в связанном или свободном состоянии определяет название чугунов (излом чугунов, где углерод связан – носит белый, блестящий вид; излом чугунов, где углерод находится в несвязанном состоянии – серый): *белый, половинчатый, серый*. Чугуны так же, как и стали, подвергают легированию. Легирование осуществляется следующими металлами: хромом, кремнием, алюминием, марганцем и никелем.

Белый чугун

Весь углерод в белом чугуне находится в связанном состоянии в виде цементита – Fe_3C . Наличие большого количества цементита обуславливает значительную его твердость (НВ 450...500), хрупкость, и он не поддается обработке резанием. Вследствие этого белый чугун для изготовления деталей машин не используется. По структуре белые чугуны подразделяются на: *доэвтектические*, структура – перлит, цементит, ледебурит; *эвтектические*, структура – ледебурит; *заэвтектические*, структура – цементит, ледебурит (рисунок 1). На шлифах темное поле – ледебурит, серое поле – перлит, белое поле – цементит.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Микроструктура белых чугунов: а – доэвтектического 3 % С (перлит+ледебурит); б – эвтектического 4,3 % С (ледебурит); в – заэвтектического 5 % С (цементит+ледебурит)

Половинчатый чугун

Половинчатым называют чугун, в котором часть углерода находится в связанном состоянии (0,8 %), а другая – в свободном. Разновидностью половинчатых чугунов следует считать отбеленные чугуны, у которых поверхность отливки имеет структуру белого чугуна, а сердцевина структуру серого графитизированного чугуна. Отбеленные чугуны имеют применение при изготовлении деталей, хотя и весьма ограниченное. Из них изготавливают прокатные валки, тормозные колодки и другие детали, работающие в условиях износа. Структура половинчатых чугунов может быть представлена в виде перлита, цементита, графита или перлита, ледебурита и графита (рисунок 2).



Рисунок 2 – Микроструктура половинчатого чугуна. х500

Серые чугуны

Серые чугуны представляют собой группу чугунов, отличающихся друг от друга формой графитовых включений и свойствами. Различают три группы чугунов:

1. *серый чугун* – пластинчатый графит;
2. *ковкий чугун* – хлопьевидный графит;
3. *высокопрочный чугун* – шаровидный графит.

Серый чугун

Эти чугуны имеют достаточно сложный химический состав и по сути представляют сплав Fe–C–Si при наличии постоянных примесей: Mn, P, S. Содержание этих элементов находится в следующих пределах: C – 2,2...3,7 %; Si – 1...3 %; Mn – 0,2...1,1 %; P – 0,02...0,3 % и S – 0,02...0,15 %. В небольших количествах также могут содержаться Cr, Ni и Cu. Эти элементы влияют на:

- 1) условия графитизации;
- 2) количество и дисперсность графитовых включений;
- 3) структуру металлической основы, что во многом определяет свой-

ства чугунов.

Углерод – оказывает определяющее влияние на качество чугуна. Увеличение концентрации углерода приводит к увеличению графитовых включений и снижению механических свойств, однако, литейные свойства улучшаются.

Кремний – способствует графитизации (выделению графита в процессе остывания отливки).

Марганец – затрудняет графитизацию и улучшает свойства чугунов.

Фосфор – увеличение концентрации приводит к улучшению литейных свойств, но значительно возрастает твердость и хрупкость.

Сера – ухудшает литейные и механические свойства чугунов.

Хром – затрудняет графитизацию и повышает склонность к отбелу.

Медь и *никель* – способствуют графитизации.

Наряду с химическим составом, большое влияние на свойства и структуру чугуна оказывает технологический фактор – *скорость охлаждения*. Уменьшение скорости охлаждения приводит к увеличению количества графита и уменьшению химически связанного углерода.

В микроструктуре серого чугуна (а также ковкого и высокопрочного) следует различать металлическую основу и включения графита (т.е. микроанализ таких чугунов должен проводиться двояким путем – по графиту и по металлической матрице).

По структуре серые чугуны делятся на три вида: *ферритный*, структура – феррит+графит (рисунок 3. а); *ферритно-перлитный*, структура – перлит+феррит+графит (рисунок 3. б); *перлитный*, структура – перлит+графит (рисунок 3. в).

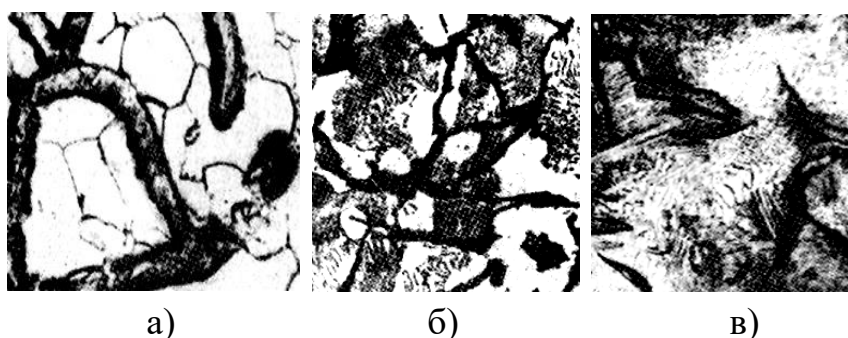


Рисунок 3 – Серый чугун с пластинчатым графитом. х500: а – ферритный; б – ферритно-перлитный; в – перлитный

Механические свойства серых чугунов зависят от структуры металлической матрицы и характера графитных включений (формы, размеров и количества). Причем решающее значение в данном случае имеют графитовые включения. С увеличением в структуре количества перлита возрастают значения твердости, прочности и износостойкости (таблица 1).

Таблица 1

Чугун	Ферритный	Ферритно-перлитный	Перлитный
Твердость, НВ	160...230	180...250	220...290
Прочность, МПа	150	250	400

Графитовые включения действуют в чугуне как надрезы или трещины, пронизывающие металлическую матрицу и ослабляющие ее (графит обладает весьма низкими механическими свойствами). Чем крупнее графитовые полости и менее равномерно распределены по объему, тем меньше прочность чугуна. При растяжении по концам графитовых включений формируются очаги разрушений. Поэтому серый чугун с пластинчатым графитом плохо сопротивляется растяжению. Гораздо меньшее влияние графита на механические характеристики проявляется при изгибе и сжатии. Например, прочность чугуна при сжатии в 4 раза выше, чем при растяжении.

Наличие графита обеспечивает чугуну и ряд ценных свойств. Он измельчает стружку при резании, повышает износостойкость, придает демпфирующую способность и в большей степени снижает чувствительность к дефектам поверхности (надрезам).

Этот вид чугунов имеет очень широкий диапазон применения от мало нагруженных деталей типа фланцев и крышек до деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках – блоки цилиндров, станины станков.

Для улучшения свойств серых чугунов их подвергают *модифицированию* (введение в жидкий чугун специальных добавок). В качестве модификаторов используют ферросилиций и силикокальций. Наиболее сильным модификатором является магний. Модифицированные чугуны применяют для деталей, работающих в условиях высоких нагрузок и тяжелых условиях износа: гильзы цилиндров, шестерни, коленчатые валы.

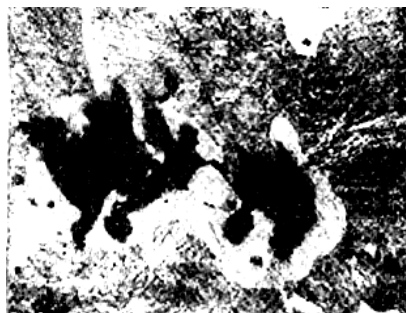
Маркируются серые чугуны буквами СЧ (серый чугун) и цифрами, показывающими уменьшенное в 10 раз значение предела прочности на растяжение в МПа. Пример: СЧ 20 – серый чугун с пределом прочности 200 МПа.

Ковкий чугун

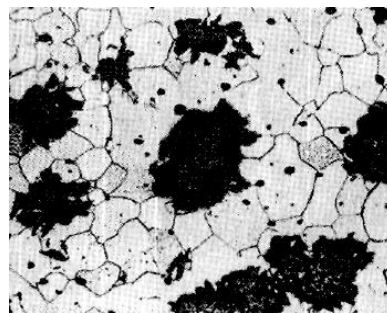
Ковкий чугун – чугун, в котором графит имеет хлопьевидную форму. Хлопьевидный графит располагается более компактно и в меньшей мере, по сравнению с пластинчатым графитом, выполняет роль надрезов, поэтому графитовые полости в меньшей мере ослабляют металлическую матрицу. Ковкий

чугун имеет более высокие показатели механических свойств по сравнению с серым чугуном.

По структуре металлической основы ковкие чугуны бывают ферритные и перлитные (рисунок 4). (Микроанализ в ряде случаев проводится по графиту, так же как и у серых чугунов).



а)



б)

Рисунок 4 – Микроструктура ковких чугунов. x200: а – ферритного; б – перлитного

Получают ковкий чугун методом отжига из белого доэвтектического чугуна.

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ (ковкий чугун) и цифрами, обозначающими уменьшенное в 10 раз минимальное значение предела прочности при растяжении, МПа и относительное удлинение, %. Пример: КЧ 37–12 – ковкий чугун с пределом прочности 370 МПа и относительным удлинением не менее 12 %.

Ковкие чугуны обладают хорошим сочетанием прочности и пластичности. Применяют их для изготовления деталей, работающих в условиях износа при воздействии ударных и знакопеременных нагрузок, также для деталей, требующих высокой прочности.

Высокопрочный чугун

Высокопрочными называют чугуны, имеющие графит в шаровидной форме. Их получают путем модифицирования магнием (0,03...0,07 %) или введением магниевых лигатур (во избежание пироэффекта).

Чугун после модифицирования имеет следующий химический состав: С – 3,0...3,6 %; Si – 1,1...2,9 %; Mn – 0,3...0,7 %; до 0,2 % S и до 0,1 % P.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть *ферритным* или *перлитным*.

Ферритный чугун в основном состоит из феррита и шаровидного графита. В нем допускается до 20 % перлита.

Структура перлитного чугуна: сорбитообразный или пластинчатый перлит и шаровидный графит (рисунок 6).

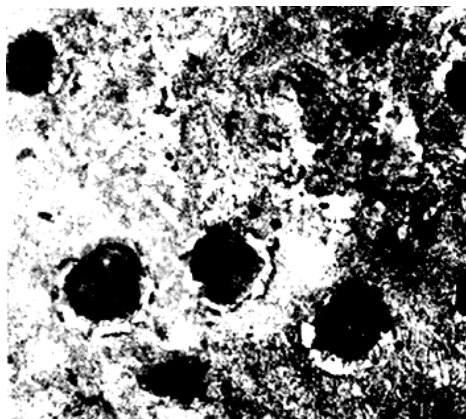


Рисунок 6 – Высокопрочный чугун с перлитной основой. x200

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый, и потому меньше снижает механические свойства металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

Марка высокопрочных чугунов состоит из букв ВЧ и числа, обозначающего уменьшенное в 10 раз значение временного сопротивления, например ВЧ 35 – $\sigma_B = 350$ МПа; ВЧ 80 – $\sigma_B = 800$ МПа.

Из высокопрочных чугунов изготавливают оборудование прокатных станов; кузнечно-прессовое оборудование; в турбостроении – корпус паровой турбины; в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

В некоторых случаях для улучшения механических свойств применяют термическую обработку отливок, для повышения прочности – закалку и отпуск при $500...600^\circ\text{C}$, для увеличения пластичности – отжиг, способствующий сфероидизации перлита.

Порядок выполнения работы

1. Описать основные виды чугунов и их свойства.
 2. Дать маркировку чугунов и ее расшифровку по варианту (таблица 2).
 3. Для каждой марки чугуна выписать структуру, свойства и применение.
- Результат оформить в виде таблицы 3.

Таблица 2

№ варианта	Марки	№ варианта	Марки
1	СЧ 10; КЧ 30-6; ВЧ 50	16	СЧ 35; КЧ 50-4; ВЧ 60
2	СЧ 15; КЧ 33-8; ВЧ 60	17	СЧ 40; КЧ 56-4; ВЧ 45
3	СЧ 20; КЧ 35-10; ВЧ 45	18	СЧ 45; КЧ 60-3; ВЧ 40
4	СЧ 25; КЧ 37-12; ВЧ 40	19	СЧ 10; КЧ 63-2; ВЧ 50
5	СЧ 30; КЧ 45-6; ВЧ 50	20	СЧ 15; КЧ 30-6; ВЧ 60
6	СЧ 35; КЧ 50-4; ВЧ 60	21	СЧ 10; КЧ 30-6; ВЧ 50
7	СЧ 40; КЧ 56-4; ВЧ 45	22	СЧ 15; КЧ 33-8; ВЧ 60
8	СЧ 45; КЧ 60-3; ВЧ 40	23	СЧ 20; КЧ 35-10; ВЧ 45
9	СЧ 10; КЧ 63-2; ВЧ 50	24	СЧ 25; КЧ 37-12; ВЧ 40
10	СЧ 15; КЧ 30-6; ВЧ 60	25	СЧ 30; КЧ 45-6; ВЧ 50
11	СЧ 10; КЧ 30-6; ВЧ 50	26	СЧ 35; КЧ 50-4; ВЧ 60
12	СЧ 15; КЧ 33-8; ВЧ 60	27	СЧ 40; КЧ 56-4; ВЧ 45
13	СЧ 20; КЧ 35-10; ВЧ 45	28	СЧ 45; КЧ 60-3; ВЧ 40
14	СЧ 25; КЧ 37-12; ВЧ 40	29	СЧ 10; КЧ 63-2; ВЧ 50
15	СЧ 30; КЧ 45-6; ВЧ 50	30	СЧ 15; КЧ 30-6; ВЧ 60

Таблица 4

<u>Марка</u>	<u>Структура</u>	<u>Свойства</u>	<u>Применение</u>

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Расшифровка трех марок чугунов.
5. Таблица.

Контрольные вопросы

1. Что такое чугуны?
2. На какие группы делятся чугуны?
3. В каком состоянии может находиться углерод в чугунах?
4. Какие формы графита существуют в чугунах?
5. Укажите влияние графита на механические свойства чугуна.
6. Какова структура белых чугунов?
7. Что из себя представляет половинчатый чугун?
8. Охарактеризуйте механические свойства белых чугунов. Область их применения.
9. Охарактеризуйте свойства серых чугунов.
10. Какие элементы влияют на условия графитизации?
11. Какое влияние оказывает углерод на качество чугуна?
12. Какое влияние оказывают примеси, такие как Si, Mn, P, S, Cr?
13. Каким образом влияет скорость охлаждения на структуру и свойства серого чугуна?
14. Влияние металлической структуры матрицы на твердость, прочность, износостойкость серого чугуна.
15. Укажите положительную роль графита в чугунах.
16. Маркировка серых чугунов. Привести примеры.
17. Области применения серого чугуна.
18. Какую форму имеет графит в ковком чугуне?
19. Способы получения ковкого чугуна.
20. Как маркируются ковкие чугуны? Приведите примеры.
21. Область применения ковких чугунов.
22. Высокопрочный чугун. Область применения. Получение высокопрочного чугуна.
23. Маркировка высокопрочного чугуна. Приведите примеры.

Практическая работа № 5

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Цели работы:

Ознакомиться с цветными металлами и сплавами (медными и алюминиевыми) и антифрикционными материалами (баббитами); изучить их микроструктуру, свойства, маркировку.

Краткие теоретические сведения

Медь и ее сплавы

Медь – металл красновато-розового цвета, имеющий решетку ГЦК и не имеющий полиморфных превращений.

Плотность меди $8,94 \cdot 10^3$ кг/м³; температура плавления 1083°C ; модуль нормальной упругости 121000 МПа. Медь диамагнитный материал, а по теплопроводности и электропроводности занимает второе место после серебра.

Медь устойчива во многих агрессивных средах, но окисляется на воздухе при комнатной температуре. Медь обладает хорошей технологичностью (прокатывается в тонкие листы, ленту, проволоку; хорошо паяется и сваривается).

Наиболее вредными примесями в меде считают свинец, вызывающий красноломкость и висмут, вызывающий также хладноломкость. Чистая медь, содержащая до 0,1 % примесей в литом и отожженном состоянии, имеет равновесную структуру, типичную для чистых металлов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Микроструктура литой и отожженной меди. x200

Недостатками меди является ее невысокая прочность, плохая обрабатываемость резанием и низкая жидкотекучесть.

Медь применяется для изготовления проводников электрического тока и различных теплообменников, поддонов, кристаллизаторов.

Медные сплавы

Сохраняя положительные свойства меди, ее сплавы обладают хорошими

механическими, технологическими и антифрикционными свойствами. Для легирования медных сплавов используют элементы, растворимые в меди – Zn, Sn, Al, Be, Si, Mn, Ni.

По технологическим свойствам медные сплавы подразделяют на деформируемые (обрабатываемые давлением) и литейные; по способности упрочняться после термической обработки – на упрочняемые и неупрочняемые; по химическому составу – на бронзы и латуни.

Маркируют медные сплавы по химическому составу, используя буквы для обозначения элементов (А – алюминий; Б – бериллий; Ж – железо; К – кремний; Мг – магний; Мш – мышьяк; Н – никель; О – олово; С – свинец; Су – сурьма; Ф – фосфор; Ц – цинк; Х – хром; Мц – марганец) и цифры, указывающие на их процентное содержание.

Латуни

Сплавы меди с цинком называются латунями. Они подразделяются на двойные или простые, содержащие Cu и Zn, и многокомпонентные, последние, кроме Zn, содержат и другие легирующие элементы. Практическое применение имеют латуни с содержанием Zn до 45 %, так как дальнейшее увеличение содержания цинка приводит к резкому падению прочности.

Маркируют латуни буквой Л. В деформируемых латунях, не содержащих кроме Cu и Zn других элементов, за буквой Л ставят число, показывающее среднее содержание меди (Л68 – 68 % Cu, остальное Zn). В многокомпонентных латунях после буквы Л ставят буквы – символы элементов, затем числа, указывающие содержание меди и каждого легирующего элемента, например ЛАН59–3–2: 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni (остальное Zn). В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его, например ЛЦ40Мц3А (40 % Zn, 3 % Mn, 1 % Al, остальное Cu).

Бронзы

Сплавы меди с другими элементами, в числе которых наряду с другими может быть и цинк, называют бронзами. В зависимости от основного легирующего элемента они могут быть оловянными, алюминиевыми, свинцовыми, марганцевыми, кремнистыми, бериллиевыми, хромовыми. Наиболее широкое распространение получили три первых вида бронз. Используют также многокомпонентные бронзы (несколько легирующих элементов).

Бронзы обозначают буквами Бр, за которыми ставят буквы и числа. В марках деформируемых бронз сначала помещают буквы – символы легирующих элементов, а затем числа, например БрАЖ9–4: 9 % Al, 4 % Fe, остальное –

Cu. В марках литейных бронз после каждой буквы указывается содержание легирующего элемента: БрО6Ц6С3 – 6 % Sn, 6 % Zn, 3 % Pb, остальное – Cu.

Классификация бронз

1. По химическому составу этот металл принято делить на две группы. Первая – это оловянные бронзы. В них олово является главным легирующим элементом. Вторая – безоловянные.

2. По технологическим признакам бронзы принято делить на деформируемые и литейные. Первые хорошо обрабатываются под давлением. Вторые используются при фасонных отливках. Этот металл по сравнению с латунью обладает гораздо лучшими антифрикционными, механическими свойствами, а также коррозионной стойкостью. По сути, бронза - сплав меди и олова (как основного вспомогательного элемента). Никель и цинк здесь не являются главными легирующими элементами, для этого используют такие компоненты, как алюминий, олово, марганец, кремний, свинец, железо, бериллий, хром, фосфор, магний, цирконий и другие.

Оловянные бронзы: литейные

Оловянная бронза - это сплав, у которого жидкотекучесть ниже, чем у других видов. Однако она имеет несущественную объемную усадку, что позволяет получать фасонные бронзовые отливки. Указанные свойства обуславливают активное применение бронзы при литье антифрикционных деталей. Также рассматриваемый сплав применяют при изготовлении арматуры, предназначенной для эксплуатации в водной среде (в том числе в морской воде) или в водяном паре, в маслах и под высоким давлением. Существуют и так называемые нестандартные литейные бронзы ответственного назначения. Они используются в производстве подшипников, шестерен, втулок, частей насосов, малоуплотнительных колец. Такие детали предназначены для работы в условиях высокого давления, при больших скоростях и малых нагрузках

Оловянные бронзы: деформируемые

Сплавы, обрабатываемые давлением, принято делить на следующие группы: оловянно-фосфористые, оловянно-цинковые и оловянно-цинково-свинцовые. Они нашли свое применение в целлюлозно-бумажной промышленности (из них делают сетки) и машиностроении (производство пружин, подшипников и деталей машин). Кроме того, эти материалы применяются при изготовлении биметаллических изделий, прутков, лент, полос, зубчатых колес, шестерен, втулок и прокладок высоконагруженных машин, трубок контрольно-измерительных приборов, манометрических пружин. В электротехнике

широкое применение бронзы (деформируемой) объясняется отличными механическими свойствами (наряду с высокими электрическими характеристиками). Она используется при изготовлении токоведущих пружин, штепсельных разъемов, контактов. В химической промышленности из оловянных бронз производят пружинную проволоку, в точной механике – арматуру, в бумажной промышленности – шаберы, в автомобильной и автотракторной – втулки и подшипники.

Свинцовые бронзы

Этот подвид литейных оловянных сплавов применяется в изготовлении подшипников, сальников и фасонных отливок. Характеризуются такие бронзы невысокими механическими свойствами, вследствие чего в процессе изготовления подшипников и втулок их просто наносят на стальную основу в виде весьма тонкого слоя. Сплавы же с повышенным содержанием олова имеют более высокие механические свойства. Поэтому они могут использоваться без стальной основы.

Бериллиевая бронза

Это сплав, относящийся к группе дисперсионно-твердеющих металлов. Он обладает высокими механическими, физическими и упругими свойствами. Бериллиевая бронза отличается высоким уровнем жаропрочности, коррозионной стойкости и циклической прочности. Она устойчива к низкой температуре, не магнитится и не дает искрений при ударах. Закалка бериллиевых бронз осуществляется при температурах 750-790 градусов по Цельсию. Добавка кобальта, железа и никеля способствует при термической обработке замедлению скорости фазовых превращений, это существенно облегчает технологию старения и закалки. Кроме того, добавление никеля способствует повышению температуры рекристаллизации, а марганец может заменить, пусть и не в полной мере, дорогостоящий бериллий. Указанные выше характеристики бронзы позволяют использовать этот сплав при изготовлении пружин, пружинящих деталей, а также мембран в часовой промышленности.

Сплав меди с марганцем

Такая бронза отличается особыми высокими механическими качествами. Она обрабатывается давлением, как в холодном, так и в горячем состоянии. Данный металл характеризуется повышенной жаропрочностью, а также коррозионной стойкостью. Сплав меди с добавлением марганца нашел широкое применение в топочной арматуре.

Кремниевая бронза

Это сплав, в состав которого входит никель, реже - марганец. Такой металл отличается сверхвысокими механическими, антифрикционными и упругими свойствами. При этом кремниевая бронза не теряет своей пластичности в условиях низкой температуры. Сплав хорошо паяется, обрабатывается давлением и при высоких, и при низких температурах. Рассматриваемый металл не магнитится, не искрит при ударах. Этим объясняется широкое применение бронзы (кремниевой) в морском судостроении при изготовлении антифрикционных деталей, подшипников, пружин, решеток, испарителей, сеток и направляющих втулок.

Литейные безоловянные сплавы

Данный вид бронз характеризуется хорошими коррозионными, антифрикционными свойствами, а также высокой прочностью. Они используются для изготовления деталей, которые эксплуатируются в особо тяжелых условиях. Это, например, зубчатые колеса, клапаны, втулки, шестерни для мощных турбин и кранов, червяки, которые работают в спарке с упрочненными стальными деталями, подшипники, работающие в условиях высокого давления и при ударных нагрузках.

Алюминиевая бронза

Это сплав меди и алюминия в качестве легирующего элемента. Процесс плавки данного металла существенно отличается от приведенных выше, что объясняется химическими особенностями вспомогательного компонента. Рассмотрим, как сделать бронзу с использованием алюминиевых легирующих компонентов. При изготовлении этого вида сплава с использованием оборотных материалов в шихте операцию по раскислению фосфористыми компонентами не применяют. Это объясняется тем, что фосфор характеризуется меньшим сродством к молекулам кислорода, чем алюминий. Также следует знать, что данный вид бронзы весьма чувствителен к перегревам, поэтому температура не должна превышать 1200 градусов. В перегретом же состоянии алюминий окисляется, и бронзовый сплав насыщается газами. Кроме того, окись, образованная при плавке такого вида бронзы, не восстанавливается путем добавления раскислителей, и ее весьма трудно удалить из расплава. Окисная пленка имеет очень высокую температуру плавления, что существенно снижает жидкотекучесть бронзы и вызывает брак. Плавка проводится очень интенсивно, на верхних пределах температур нагрева. Кроме того, не следует задерживать готовый расплав в печи. При плавке алюминиевой бронзы в качестве покрывающего слоя рекомендуется использовать флюс, который состоит

на 50% из кальцинированной соды и на 50% из криолита. Готовый расплав перед разливкой по формам рафинируют путем введения в него хлористого марганца либо хлористого цинка (0,2-0,4% от общей массы шихты). После этой процедуры сплав следует выдержать пять минут до полного прекращения газовыделения. После чего смесь доводят до требуемой температуры и разливают в формы. С целью предупреждения ликвации в расплав бронзы с высоким содержанием свинцовых примесей (50-60%) рекомендуется добавлять 2-2,3% никеля в виде медноникелевых лигатур. Или же в качестве флюсов необходимо использовать сернокислую соль щелочных металлов. Никель, серебро, марганец, если они входят в состав бронзы, следует вводить в расплав до процедуры присадки олова. Кроме того, для улучшения качества получаемого сплава ее иногда модифицируют незначительными добавками на основе тугоплавких металлов.

Алюминий и его сплавы

Свойства алюминия

Алюминий – металл серебристо-белого цвета, не имеющий полиморфных превращений и кристаллизующийся с решеткой ГЦК, температура плавления 660° С. Модуль упругости $E = 26000$ МПа. Особенностью алюминия является его низкая плотность – $2,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Он обладает высокими электро- и теплопроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью.

В зависимости от содержания примесей (Fe, Si, Cu, Zn, Ti) алюминий подразделяют на три класса: особой чистоты А999 (99,999 % Al); высокой чистоты А995, А99, А97, А95 (0,005...0,05 % примесей); технической чистоты А85, А8, А7, А6, А5, А0 (0,15...1 % примесей).

Технический алюминий, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листы, профили, прутки), маркируют АД00 (99,7 % Al), АД0 (99,5 % Al), АД1 (99,3 % Al) и АД (98,8 % Al).

Алюминий хорошо обрабатывается давлением, сваривается, но плохо обрабатывается резанием. Ввиду низкой прочности алюминий применяют для изготовления ненагруженных деталей и элементов конструкции: рам, дверей, трубопроводов, фольги, посуды. Хорошие физические свойства позволяют использовать его для различных при производстве теплообменников, конденсаторов, проводов, кабелей, рефлекторов, зеркал, телевизоров.

Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы характеризуются высокой удельной прочностью, способностью сопротивляться инерционным и динамическим нагрузкам, хо-

рошей технологичностью: обрабатываются давлением, свариваются, в основном хорошо обрабатываются резанием. Большинство сплавов имеют хорошую коррозионную стойкость (кроме сплавов с медью), высокие электро- и теплопроводность.

Наибольшее распространение получили сплавы систем: Al–Cu; Al–Si; Al–Mn; Al–Cu–Mg; Al–Cu–Mg–Si; Al–Zn–Cu–Mg. Иногда сплавы легируют другими элементами.

Алюминиевые сплавы упрочняют легированием Cu, Zn, Mn, Ni, Fe. Для улучшения литейных свойств вводят кремний. Добавки никеля, титана, железа повышают жаропрочность, а литий способствует возрастанию модуля упругости. Однако марганец и магний, увеличивая коррозионную стойкость, снижают электро- и теплопроводность, а добавки железа уменьшают коррозионную стойкость.

В равновесном состоянии эти сплавы представляют собой низколегированный твердый раствор на основе алюминия (α -фаза) и интерметаллидные (вторичные) фазы: CuAl_2 ; Mg_2Si ; $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ и т.д.

Все сплавы на алюминиевой основе по технологическим признакам можно разделить на деформируемые сплавы и литейные сплавы, а также САПы (спеченные алюминиевые порошки) и САСы (спеченные алюминиевые сплавы).

Антифрикционные подшипниковые сплавы

Подшипниковые сплавы, идущие на изготовление вкладышей или заливки подшипников скольжения, должны иметь малый коэффициент трения, повышенную износостойкость и выдерживать достаточно высокие удельные нагрузки.

В качестве подшипниковых сплавов применяют бронзы (оловянные и свинцовые) антифрикционные чугуны АЧС–1, АЧС–2 АЧС–3, АЧВ–1, АЧК–2 ГОСТ1585-85 и баббиты (последние являются специальными сплавами, применяемыми только в качестве подшипниковых).

Баббиты – мягкие (30 НВ) антифрикционные сплавы на оловянной (Б83, Б88) или свинцовой основе (Б16, БС6, БН) с добавлением сурьмы, меди, кадмия, никеля и других элементов (ГОСТ 1320–74). Cu устраняет ликвацию сплавов; повышает твердость и вязкость. Легирование Cd, Ni, As повышает твердость и прочность основы и позволяет снизить содержание Sn. Особую группу образуют свинцово-кальциевые баббиты БКА и БК2 (ГОСТ 1209–90) и цинковые баббиты ЦАМ10–5, ЦАМ9–1Б5 (ГОСТ 7117–84) (таблица 9).

По антифрикционным свойствам баббиты превосходят все остальные сплавы, но значительно уступают им по сопротивлению усталости. В связи с

этим баббиты применяют только для тонкого (менее 1 мм) покрытия рабочей поверхности опоры скольжения. Лучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные баббиты и, в частности, баббит Б83.

Баббиты легкоплавки ($t_{пл} = 350...450^{\circ} \text{C}$) и технологически удобны для заливки в подшипники.

По структуре баббиты состоят из мягкой, пластичной основы, обеспечивающей прирабатываемость подшипников к шейке вала, и включений твердых частиц, понижающих коэффициент трения.

Из-за высокой стоимости олова баббиты Б83 и Б89 применяют только в ответственных целях, например в машинах большой мощности (паровые турбины, турбокомпрессоры). Баббит Б16 применяют для заливки опорных подшипников электродвигателей и турбин; Б6, БТ и БН – для заливки вкладышей автомобильных и тракторных двигателей, металлообрабатывающих станков; БКА – для подшипников железнодорожного транспорта. Маркируются баббиты буквой Б и цифрой указывающей примерное содержание олова в %.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Определить структурные составляющие каждого сплава, схематически зарисовать микроструктуру и указать механические свойства (приложение А, таблица 1).

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения о медных, алюминиевых и подшипниковых сплавах.
2. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Какие сплавы на основе меди называются латунями?
2. Какие сплавы на основе меди называются бронзами?
3. Как классифицируются латуни по структуре?
4. С какой целью вводятся в латуни легирующие элементы?
5. Классификация бронз.
6. Область применения бронз.
7. Классификация баббитов, маркировка и применение.
8. Особенности структуры баббитов.

Практическая работа № 6

МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цели работы:

Научиться определять химический состав, свойства и применение углеродистых сталей по их маркам.

Краткие теоретические сведения

Маркировка углеродистых сталей

Маркировка углеродистых сталей зависит от их качества и назначения.

Стали обыкновенного качества имеют 3 группы поставки: А, Б, В. Стали группы А поставляются с гарантированными механическими свойствами, химический состав не регламентируют. Стали группы Б поставляются с гарантированным механическим составом, механические свойства не гарантируются. Стали группы В поставляются с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. О механических свойствах и химическом составе информацию получают в сопроводительных документах.

Все эти стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-71) маркируются буквами Ст, после которых ставится цифра от 0 до 6. Впереди марки - буква, указывающая группу поставки (для стали группы А - не ставится). В конце марки указывается степень раскисления: пс, кп, сп (иногда для спокойных не указывается).

Ст3кп - углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества, группы поставки А, с номером 3, кипящая.

ВСт4пс - углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества, группы поставки В, с номером 4, полуспокойная.

Качественные конструкционные углеродистые стали (ГОСТ 1050-74) маркируют цифрами 08, 10, 15, 20, 25... до 85. Цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Если сталь содержит повышенное количество марганца (0,8-1,2%), то после цифр ставится буква Г. В конце марки указывают степень раскисления (кп или пс).

Сталь 40 - качественная конструкционная углеродистая сталь с содержанием углерода 0,4 % , спокойная.

Сталь 65Гпс - качественная конструкционная углеродистая сталь с содержанием углерода 0,65%, более 0,8% марганца, полуспокойная.

Инструментальные углеродистые стали (ГОСТ 1435-74) маркируются большой буквой У и цифрами, которые означают содержание углерода в деся-

тых долях процента. Эти стали чаще всего качественные. Однако, если сталь имеет повышенное качество, то в конце марки ставится буква А.

У8 - инструментальная углеродистая со средним содержанием углерода 0,8% (имеет точно такой же химический состав, что и Сталь 80, но отличается структурой и свойствами).

У12А - углеродистая инструментальная сталь, 1,2% углерода, высококачественная.

Порядок выполнения работы

1. Расшифровать марки углеродистых сталей согласно своему варианту (таблица 1).

2. Для каждой марки выписать свойства и применение. Результат оформить в виде таблицы 2.

Таблица 1

<u>1</u>	<u>Ст0</u>	<u>БСт2пс</u>	<u>ВСт5кп</u>	<u>05кп</u>	<u>25</u>	<u>60Г</u>	<u>У7</u>	<u>У10А</u>
<u>2</u>	<u>Ст1кп</u>	<u>БСт3сп</u>	<u>ВСт4пс</u>	<u>08</u>	<u>30</u>	<u>70Г</u>	<u>У8</u>	<u>У11А</u>
<u>3</u>	<u>Ст2пс</u>	<u>БСт4</u>	<u>ВСт3сп</u>	<u>08кп</u>	<u>35</u>	<u>75Г</u>	<u>У9</u>	<u>У12А</u>
<u>4</u>	<u>Ст3сп</u>	<u>БСт5кп</u>	<u>ВСт2</u>	<u>08пс</u>	<u>40</u>	<u>80Г</u>	<u>У10</u>	<u>У13А</u>
<u>5</u>	<u>Ст4</u>	<u>БСт6пс</u>	<u>ВСт1кп</u>	<u>10</u>	<u>45</u>	<u>65Г</u>	<u>У11</u>	<u>У7А</u>
<u>6</u>	<u>Ст5кп</u>	<u>БСт0</u>	<u>ВСт4сп</u>	<u>10кп</u>	<u>50</u>	<u>60Г</u>	<u>У12</u>	<u>У8А</u>
<u>7</u>	<u>Ст6пс</u>	<u>БСт1сп</u>	<u>ВСт3</u>	<u>10пс</u>	<u>55</u>	<u>70Г</u>	<u>У13</u>	<u>У9А</u>
<u>8</u>	<u>Ст0</u>	<u>БСт2Г</u>	<u>ВСт5пс</u>	<u>15</u>	<u>60</u>	<u>75Г</u>	<u>У7А</u>	<u>У10</u>
<u>9</u>	<u>Ст1сп</u>	<u>БСт3кп</u>	<u>ВСт2пс</u>	<u>15кп</u>	<u>65</u>	<u>80Г</u>	<u>У8А</u>	<u>У11</u>
<u>10</u>	<u>Ст2</u>	<u>БСт4пс</u>	<u>ВСт1сп</u>	<u>15пс</u>	<u>70</u>	<u>65Г</u>	<u>У9А</u>	<u>У12</u>
<u>11</u>	<u>Ст3кп</u>	<u>БСт5сп</u>	<u>ВСт4</u>	<u>18кп</u>	<u>75</u>	<u>60Г</u>	<u>У10А</u>	<u>У13</u>
<u>12</u>	<u>Ст4пс</u>	<u>БСт6</u>	<u>ВСт3кп</u>	<u>20</u>	<u>80</u>	<u>70Г</u>	<u>У11А</u>	<u>У7</u>
<u>13</u>	<u>Ст5сп</u>	<u>БСт0</u>	<u>ВСт1пс</u>	<u>20кп</u>	<u>25</u>	<u>75Г</u>	<u>У12А</u>	<u>У8</u>
<u>14</u>	<u>Ст6</u>	<u>БСт1пс</u>	<u>ВСт2сп</u>	<u>20пс</u>	<u>30</u>	<u>80Г</u>	<u>У13А</u>	<u>У9</u>
<u>15</u>	<u>Ст0</u>	<u>БСт2сп</u>	<u>ВСт5</u>	<u>05кп</u>	<u>35</u>	<u>65Г</u>	<u>У7</u>	<u>У11А</u>
<u>16</u>	<u>Ст1пс</u>	<u>БСт3</u>	<u>ВСт2кп</u>	<u>08</u>	<u>40</u>	<u>60Г</u>	<u>У8</u>	<u>У12А</u>
<u>17</u>	<u>Ст2сп</u>	<u>БСт4кп</u>	<u>ВСт3пс</u>	<u>08кп</u>	<u>45</u>	<u>70Г</u>	<u>У9</u>	<u>У13А</u>
<u>18</u>	<u>Ст3</u>	<u>БСт5пс</u>	<u>ВСт4кп</u>	<u>08пс</u>	<u>50</u>	<u>75Г</u>	<u>У10</u>	<u>У7А</u>
<u>19</u>	<u>Ст4кп</u>	<u>БСт6сп</u>	<u>ВСт1</u>	<u>10</u>	<u>55</u>	<u>80Г</u>	<u>У11</u>	<u>У8А</u>
<u>20</u>	<u>Ст5пс</u>	<u>БСт0</u>	<u>ВСт1кп</u>	<u>10кп</u>	<u>60</u>	<u>65Г</u>	<u>У12</u>	<u>У9А</u>
<u>21</u>	<u>Ст6сп</u>	<u>БСт1</u>	<u>ВСт2пс</u>	<u>10пс</u>	<u>65</u>	<u>60Г</u>	<u>У13</u>	<u>У10А</u>
<u>22</u>	<u>Ст0</u>	<u>БСт2кп</u>	<u>ВСт3сп</u>	<u>15</u>	<u>70</u>	<u>70Г</u>	<u>У7А</u>	<u>У11</u>
<u>23</u>	<u>Ст1</u>	<u>БСт3пс</u>	<u>ВСт4кп</u>	<u>15кп</u>	<u>75</u>	<u>75Г</u>	<u>У8А</u>	<u>У12</u>
<u>24</u>	<u>Ст2кп</u>	<u>БСт4сп</u>	<u>ВСт5</u>	<u>15пс</u>	<u>80</u>	<u>80Г</u>	<u>У9А</u>	<u>У13</u>
<u>25</u>	<u>Ст3пс</u>	<u>БСт5</u>	<u>ВСт1сп</u>	<u>18кп</u>	<u>25</u>	<u>65Г</u>	<u>У10А</u>	<u>У7</u>

Таблица 2

<u>Марка</u>	<u>Свойства</u>	<u>Применение</u>

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Расшифровка марок.
5. Таблица.

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. По каким признакам классифицируют углеродистую сталь?
3. На какие группы по качеству делятся углеродистые стали?
4. Какие группы сталей обыкновенного качества различают в зависимости от назначения?
5. Как подразделяются качественные углеродистые стали по содержанию марганца?
6. На какие группы подразделяются углеродистые стали по способу раскисления?

Практическая работа № 7

МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Цели работы:

Научиться определять химический состав, свойства и применение углеродистых сталей по их маркам.

Краткие теоретические сведения

Для маркировки стали в России пользуются определенным сочетанием цифр и букв, обозначающих ее примерный химический состав. Легирующие элементы имеют следующие обозначения (ГОСТ 4547-71): А – азот (в середине марки); К – кобальт; Т – титан; Б – ниобий; Н – никель; Ф – ванадий; В – вольфрам; М – молибден; Х – хром; Г – марганец; П – фосфор; Ц – цирконий; Д – медь; Р – бор; Е – селен; С – кремний; Ю – алюминий. Ф — Ванадий.

Если впереди марки стоят две цифры, они указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Одна цифра впереди марки указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если впереди марки нет цифры, это значит, что углерода в ней либо 1%, либо выше 1%. Цифры, стоящие за буквами, указывают среднее содержание данного элемента в процентах, если за буквой отсутствует цифра - значит содержание данного элемента около 1% (не более 1,5%). Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь, т.е. сталь, содержащую меньше серы и фосфора. Указанная система маркировки охватывает большинство существующих легированных сталей. Исключение составляют отдельные группы сталей, которые дополнительно обозначаются определенной буквой: Р - быстрорежущие, Е - магнитные, Ш - шарикоподшипниковые, Э - электротехнические.

Пример расшифровки марки стали

40ХНЗМФА - конструкционная легированная высококачественная сталь со средним содержанием углерода 0,4%, ~1% хрома, ~3% никеля, ~1% молибдена, ~1% ванадия,.

ХВГ - инструментальная легированная сталь, углерода более 1%, приблизительно около 1% хрома, вольфрама, марганца.

7ХГ2 - инструментальная легированная сталь, углерода 0,7%, приблизительно около 1% хрома, марганца 2%.

Р18 - инструментальная высоколегированная быстрорежущая сталь, 18% вольфрама Р6М5К4 - инструментальная высоколегированная быстрорежущая сталь, содержание вольфрама 6%, молибдена 5%, 4% кобальта.

Порядок выполнения работы

1. Расшифровать марки легированных сталей согласно своему варианту (таблица 1).
2. Для каждой марки выписать свойства и применение. Результат оформить в виде таблицы 2.

Таблица 1

<u>1</u>	<u>09Г2</u>	<u>38ХА</u>	<u>65С2ВА</u>	<u>8Х3</u>	<u>Р6К10</u>
<u>2</u>	<u>55С2</u>	<u>50ХФА</u>	<u>14ХГС</u>	<u>Х12</u>	<u>Р12Ф3</u>
<u>3</u>	<u>20Х</u>	<u>12ГС</u>	<u>60С2ХФА</u>	<u>В2Ф</u>	<u>Р6М5Ф3</u>
<u>4</u>	<u>30Х</u>	<u>09Г2С</u>	<u>20ХГР</u>	<u>5ХГМ</u>	<u>Р6М5К5</u>
<u>5</u>	<u>10Г2</u>	<u>38ХМА</u>	<u>14Х2ГМР</u>	<u>9Х2</u>	<u>Р18</u>
<u>6</u>	<u>40Х</u>	<u>50ХФА</u>	<u>20ХГ2Ц</u>	<u>ХГС</u>	<u>Р10К5Ф5</u>
<u>7</u>	<u>50Г2</u>	<u>70С3А</u>	<u>20ХНР</u>	<u>Х12</u>	<u>Р9М4К8</u>
<u>8</u>	<u>17ГС</u>	<u>15Х25Т</u>	<u>75ХСМФ</u>	<u>В2Ф</u>	<u>Р6К10</u>
<u>9</u>	<u>45Г2</u>	<u>60С2А</u>	<u>20ХГСФ</u>	<u>7Х3</u>	<u>Р12Ф3</u>
<u>10</u>	<u>38ХА</u>	<u>35ГС</u>	<u>10Г2БД</u>	<u>Х12М</u>	<u>Р6М5Ф3</u>
<u>11</u>	<u>45Х</u>	<u>18ХГТ</u>	<u>15Г2СФД</u>	<u>ХГС</u>	<u>Р6М5К5</u>
<u>12</u>	<u>38ХЮ</u>	<u>40ХФА</u>	<u>34ХН3М</u>	<u>8Х3</u>	<u>Р18К5Ф2</u>
<u>13</u>	<u>15ХА</u>	<u>60С2</u>	<u>36Г2С</u>	<u>9ХС</u>	<u>Р10К5Ф5</u>
<u>14</u>	<u>30ХМ</u>	<u>40Х9С2</u>	<u>15Х11МФ</u>	<u>4ХС</u>	<u>Р9</u>
<u>15</u>	<u>09Г2</u>	<u>20ХГРА</u>	<u>55С2</u>	<u>6ХВГ</u>	<u>Р6К10</u>
<u>16</u>	<u>55С2</u>	<u>38ХА</u>	<u>20Х3МВФ</u>	<u>4ХС</u>	<u>Р12Ф3</u>
<u>17</u>	<u>12ГС</u>	<u>20Х</u>	<u>38Х2МЮА</u>	<u>6ХВГ</u>	<u>Р6М5Ф3</u>
<u>18</u>	<u>09Г2С</u>	<u>30Х</u>	<u>20ХГНР</u>	<u>9ХС</u>	<u>Р6М5К5</u>
<u>19</u>	<u>10Г2</u>	<u>38ХМА</u>	<u>14Х2ГМР</u>	<u>7Х3</u>	<u>Р18К5Ф2</u>
<u>20</u>	<u>40Х</u>	<u>50ХФА</u>	<u>20ХГ2Ц</u>	<u>9Х1</u>	<u>Р10К5Ф5</u>
<u>21</u>	<u>50Г2</u>	<u>70С3А</u>	<u>20ХНР</u>	<u>8Х3</u>	<u>Р9М4К8</u>
<u>22</u>	<u>17ГС</u>	<u>20ХГСА</u>	<u>75ХСМФ</u>	<u>9Х1</u>	<u>Р6К10</u>
<u>23</u>	<u>38ХА</u>	<u>35ГС</u>	<u>10Г2БД</u>	<u>8Х3</u>	<u>Р12</u>
<u>24</u>	<u>45Х</u>	<u>25ХГСА</u>	<u>15Г2СФД</u>	<u>9ХВГ</u>	<u>Р6М5Ф3</u>
<u>25</u>	<u>38ХЮ</u>	<u>18ХГТ</u>	<u>40ХФА</u>	<u>Х12М</u>	<u>Р6М5К5</u>
<u>26</u>	<u>60С2</u>	<u>15ХА</u>	<u>13Х2НА</u>	<u>9ХВГ</u>	<u>Р18К5Ф2</u>
<u>27</u>	<u>30ХМ</u>	<u>40Х9С2</u>	<u>36НХТЮ</u>	<u>6ХВ2С</u>	<u>Р10К5Ф5</u>
<u>28</u>	<u>55С2</u>	<u>09Г2</u>	<u>20ХГР</u>	<u>Х12</u>	<u>Р9</u>
<u>29</u>	<u>50ХФА</u>	<u>14ХГС</u>	<u>55С2</u>	<u>5ХНМ</u>	<u>Р6К10</u>
<u>30</u>	<u>45Г2</u>	<u>60С2А</u>	<u>20ХГ2Ц</u>	<u>6ХВГ</u>	<u>Р12Ф3</u>

Таблица 2

<u>Марка</u>	<u>Свойства</u>	<u>Применение</u>

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Расшифровка марок.
5. Таблица.

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. Какие стали называются легированными?
3. Какие элементы являются легирующими?
4. Для чего легируют стали?
5. Каковы правила обозначения легированных сталей?

Практическая работа №8

МАРКИРОВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Цели работы:

Научиться определять химический состав, свойства и применение сплавов цветных металлов по их маркам.

Краткие теоретические сведения

Различают три группы медных сплавов:

- латуни
- бронзы
- сплавы меди с никелем

Латуни. Латунями называют двойные (томпак, где 90% и более - меди и 10% цинка и полутомпак, где меди 79-86%Ю остальное цинк) или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк. При введении других элементов (кроме цинка) латуни называют специальными по наименованию элементов, например, железофосфорно-марганцевая латунь и т.п.

По сравнению с медью латуни обладают большей прочностью, коррозионной стойкостью. Механическая прочность латуней выше, чем меди, и они лучше обрабатываются (резанием, литьем, давлением). Большим их преимуществом является более низкая стоимость, так как входящий в состав латуней цинк значительно дешевле меди. Латуни нашли широкое применение в приборостроении, в общем и химическом машиностроении.

Латуни обозначают начальной буквой Л, затем ставят цифру, указывающую средний процент меди в этом сплаве.

Л96 - латунь, меди 96%, цинка 4% (томпак).

Латуни более сложного состава в обозначении имеют после буквы Л другую букву, а цифры, размещенные после цифры, указывающей процент меди, указывают процент добавок в марке латуни. Все добавляемые к латуни элементы обозначают русскими буквами: Ц - цинк; А - алюминий; О - олово; Н - никель; К - кремний; С - свинец; Мц - марганец; Ж - железо; Ф - фосфор; Б - бериллий. Цифры, помещенные за буквами, указывают среднее процентное содержание элементов.

ЛАЖМц66-6-3-2 - алюминиевожелезомарганцовистая латунь, содержащая 66% меди, 6% алюминия, 3% железа и 2% марганца, остальное составляет цинк.

ЛЦ40Мц3Ж - латунь, содержащая 40% цинка, 3% марганца, около 1% железа, остальное медь

Бронзы

Бронзы (медь, олово) - сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом, бериллием. В зависимости от введенного элемента бронзы бывают: оловянные, алюминиевые, кремнистые, марганцовистые, свинцовистые, бериллиевые.

Бронзы обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошими литейными и высокими антифрикционными свойствами и обрабатываемостью резанием. Благодаря хорошим литейным качествам из бронз отливают пушки, колокола и статуи. Также бронзы используются при изготовлении арматуры газовых и водопроводных линий и в химическом машиностроении, где важна также высокая коррозионная стойкость бронз. Малый коэффициент трения и устойчивость к износу делает бронзы незаменимыми при изготовлении вкладышей подшипников, червяков и червячных колес, шестерен и других деталей ответственных и точных приборов.

Бронзы легируют для повышения механических характеристик и придания особых свойств. Введение марганца способствует повышению коррозионной стойкости, никеля - пластичности, железа - прочности, цинка - улучшению литейных свойств, свинца - улучшению обрабатываемостью.

Бронзы маркируют русскими буквами Бр. Справа ставят обозначение элементов, входящих в состав бронзы:

О - олово; Ц - цинк; С - свинец; А - алюминий; Ж - железо; Мц - марганец.

Далее идут цифры, обозначающие среднее содержание дополнительных элементов в бронзе в процентах (цифры, обозначающие процентное содержание меди в бронзе, не ставят).

БрОЦС5-5-5 - бронза содержит по 5% олова, свинца, цинка, остальное - медь (85%).

БрА9Мц2Л - бронза литейная, содержит 9% алюминия, 2% марганца, остальное - медь.

Алюминиевые сплавы делят на деформируемые и литейные.

Деформируемые алюминиевые сплавы применяют для получения листов, ленты, проволоки и различных деталей методами обработки давлением: штамповкой, прессованием, ковкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы можно подразделить на две подгруппы:

- не упрочняемые термообработкой
- упрочняемые термообработкой

Первые характеризуются невысокой прочностью, но хорошей пластичностью. К ним относятся сплавы алюминия с марганцем и магнием, содержащие

его до 6%. Эти сплавы почти всегда однофазные. Они хорошо свариваются, устойчивы против коррозии и применяются для малонагруженных деталей, изготовляемых холодной штамповкой с глубокой вытяжкой, и для свариваемых конструкций. Упрочнение этих сплавов возможно только путем холодной деформации, так как упрочнение термической обработкой не удается.

АМц - сплав алюминия деформируемый не упрочняемый термообработкой, содержит 1% марганца.

Из группы деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термообработкой, наиболее распространены дуралюмины (или дюралюмины) - сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем (для повышения коррозионной стойкости сплава). Также распространены сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем и цинком (сплавы высокой прочности).

Дуралюмины маркируют буквой Д, после которой стоит цифра, обозначающая условный номер сплава. Дуралюмины выпускают в виде листов, пресованных и катаных профилей, прутков, труб. Особенно широко применяют дуралюмины в авиационной промышленности и строительстве.

Д1 - деформируемый алюминиевый сплав, упрочняемый термообработкой (дуралюмин), содержит 4% меди, примерно по 0,5% магния, марганца, кремния.

Литейные алюминиевые сплавы содержат почти те же легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9-13% по отдельным компонентам). Литейные сплавы предназначены для изготовления фасонных отливок. Эти сплавы маркируются буквами АЛ с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9 и т.п.

По химическому составу их можно разделить на несколько групп, например, алюминий с кремнием или алюминий с магнием. Иногда их маркируют по химическому составу, например АК7М2. Буква М означает медь.

Сплавы на основе алюминия и кремния называют силуминами. Силумин обладает высокими механическими и литейными свойствами: высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, достаточно высокой прочностью, удовлетворительной пластичностью. Сплавы на основе алюминия и магния имеют высокую удельную прочность, хорошо обрабатываются резанием и имеют высокую коррозионную стойкость.

Титановые сплавы применяются в авиационной (самолетостроении, ракетостроении, при производстве реактивных двигателей) и химической промышленности. Также титан широко применяют в судостроении благодаря его устойчивости против воздействия морской воды. Из сплавов на основе титана изготавливаются лопатки паровых и газовых турбин, выпускных клапанов дизельных двигателей, лопаток и дисков компрессоров, поршневых пальцев, ша-

тунов и других деталей.

Титан и его сплавы маркируют буквами ВТ и порядковым номером, например ВТ8.

Магниеые сплавы широко применяют в транспортном машиностроении, особенно в авиации и ракетостроении. В зависимости от способа получения магниевые сплавы подразделяют на:

-литейные - эти сплавы используют в виде отливок, маркируются буквами МЛ и порядковым номером.

-деформируемые - сплавы используют в виде проката (листов, ленты, труб) и поковок, маркируются буквами МА и порядковым номером.

Порядок выполнения работы

1. Расшифровать марки сплавов цветных металлов, согласно вашему варианту (таблица 1)

2. Для каждой марки выписать свойства и применение. Результат оформить в виде таблицы (Таблица 2).

Таблица 1

1	АМц	Л63	МА8	ВТ1	Б83С	ЛК80-3	БрО10Ф1	БрНЗЦЗС20Ф 20Ф
2	Л90	АМг	Б16	МЛ1	ВТ5Л	БрКН1-3	БрОФ8-0,3	ЛА-ЖМц66-6-3-2
3	Д1	Л96	МА7	Б83	ВТ3	ЛА67-2,5	БрБНТ1,7	БрОЦС4-4-4
4	АМг3	МЛ2	Л60	ВТ4	БрБ2,5	Б92	ЛКС80-3-3	БрОФ7-0,2
5	МА6	АК2	БТ	Л85	ВТ14Л	БрА5	ЛС59-1	БрОЦС4-4-2,5
6	Л80	АЛ4	МЛ3	БН	БрС30	ВТ5	БрОЦ4-3	ЛАЖ60-1-1
7	ВТ6	Л70	Д16	МА5	БК2	ЛМц58-2	БрКМц3-1	БрОЗЦ8С4Н1
8	МЛ4	АК4	Л68	БС2	ВТ5Л	БрА5	БрКН1-3	ЛМцНЖ6 0-2-1-1
9	АЛ3	МА4	Б92	Л60	БрБНТ1,7	ВТ14	БрОЗЦ13С4	ЛА85-0,6
10	Л63	АМг5	МЛ5	ВТ15	Б83	БрО10Ц2	ЛМцЖ55-3-1	БрАМц9-2
11	МА3	Б6	Д18	Л65	ВТ14Л	ЛА77-2	БрО4Ц7С5	БрАЖН10-4-4
12	Б16	МЛ6	Л68	АК6	БрБ2	ВТ1	БрО10Ц2	ЛАНК75-2-2-1
13	ВТ3	Л70	МА2	АЛ4	БТ	БрКМц3-1	БрБНТ1,7	ЛК80-3
14	Л72	БС6	АЛ9	МЛ1	ВТ5Л	БрА7	ЛКС65-1,5-3	БрОЗЦ7С5Н
15	Л96	АМг6	МА1	Б83С	БрО10Ф1	ВТ4	БрБНТ1,9	ЛН65-5
16	Д20	Л93	ВТ5	МЛ2	Б16	БрС60Н2,5	ЛМцА57-3-1	БрКМц3-1
17	МА2	АК8	Л90	Б83	ВТ14Л	ЛО90-1	БрО5Ц6С5	БрКМц3-1
18	Б92	МЛ3	АЛ7	Л85	БрС30	ВТ6	БрОФ4-0,5	ЛМцОС5 8-2-2-2

19	АЛ13	ВТ14	МА3	Л83	БТ	БрБ2,5	ЛС63-3	БрОЦСН 3-7-5-1
20	БН	АМц	Л80	МЛ4	ВТ5Л	БрС30	ЛМцЖ55-3-1	БрОЗЦ12С5
21	МА4	Л75	Д1	БК2	БрКН1-3	ВТ15	ЛО70-1	БрАЖН1 1-6-6
22	Л70	МЛ5	ВТ1	АК2	БрБНТ1,9	БС2	ЛМцС58-2-2	БрОФ7-0,2
23	Б92	Л68	АЛ8	МА5	ВТ14Л	БрС30	ЛС74-3	БрАЖН10-4-4
24	МЛ6	АЛ27	Л65	Б16	БрО10Ц2	ВТ3	ЛАЖ60-1-1	БрКМц3-1
25	АМГ	МА6	ВТ4	Л63	Б83	БрКМц3-1	БрОЦС4-4-4	ЛО62-1
26	Л60	Д16	МЛ1	БН	ВТ5Л	БрКН1-3	ЛАН59-3-2	БрОЗЦ7С5Н
27	Б83С	Л85	АК4	МА7	БрА5	ВТ5	ЛС60-1	БрАЖМц 10-3-1,5
28	МЛ2	ВТ6	Л96	АЛ19	БрБ2,5	БК2	ЛЖС58-1-1	БрАЖН10-4-4
29	АЛ6	МА8	Б6	Л75	ВТ14Л	БрС60Н2,5	ЛО60-1	БрОЦС3-12-5
30	БС2	Д18	Л63	МЛ3	БрОЦ4-3	ВТ7	ЛМш68-0,05	БрС60Н2,5

Таблица 2

Марка	Свойства	Применение

Содержание отчета

1. Название практической работы, ее цель.
2. Основные теоретические сведения о цветных сплавах.
3. Задание (расшифровка марок)
4. Таблица (согласно заданию).

Контрольные вопросы

1. На какие группы делятся алюминиевые сплавы?
2. На какие группы делятся медные сплавы?
3. Как называются литейные алюминиевые сплавы?
4. Как называются деформируемые алюминиевые сплавы?
5. Особенности и применение титановых сплавов.
6. Какие химические элементы входят в состав бронз?
7. Какие химические элементы входят в состав латуней ?

Практическая работа №9

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Цели работы:

Ознакомиться с видами термической обработки, их характеристиками и применением; научиться назначать режимы термической обработки.

Краткие теоретические сведения

Термической обработкой называется комплекс операций нагрева, выдержки при нужной температуре и охлаждения сталей и иных сплавов с целью получения требуемого уровня свойств за счет изменения их структуры.

Любой вид термической обработки задается режимом, который можно описать графически в координатах «температура – время» (рисунок 1).

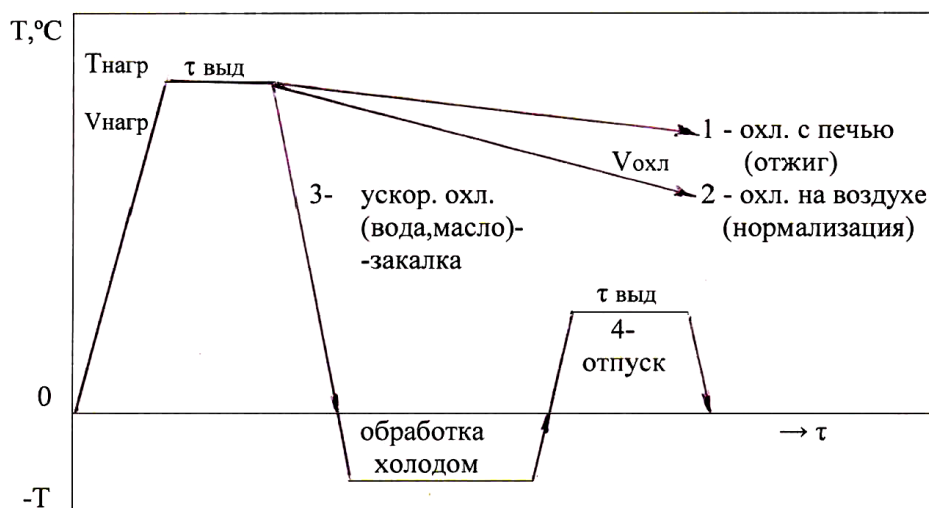


Рисунок 1 - Элементы режима термической обработки и ее виды

Выделяют четыре элемента режима термообработки:

- скорость нагрева;
- температура нагрева;
- время выдержки при заданной температуре нагрева;
- скорость охлаждения (охлаждающая среда).

Соблюдение этих параметров строго регламентируется технической документацией.

Температура нагрева и скорость охлаждения определяются видами термической обработки, основными из которых являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Иногда применяют обработку холодом (см. рисунок 1).

Отжиг

Отжиг – это вид термической обработки, который заключается в нагреве, обеспечивающем полную (полный отжиг) или частичную (неполный отжиг) перекристаллизацию (образование аустенита), выдержке и последующем медленном охлаждении, как правило, вместе с печью (рисунок 1).

Таким образом, в общем случае отжигом принято называть нагрев металла до определенных температур, выдержку при этих температурах и медленное охлаждение вместе с печью. Температура нагрева при отжиге зависит от состава сплава и конкретной разновидности отжига; скорость охлаждения невелика: 20...200° С/ч. Все виды отжига проводят на металлургических заводах в специальных печах.

Целью отжига является снижение твердости и повышение пластичности для улучшения обрабатываемости резанием или давлением.

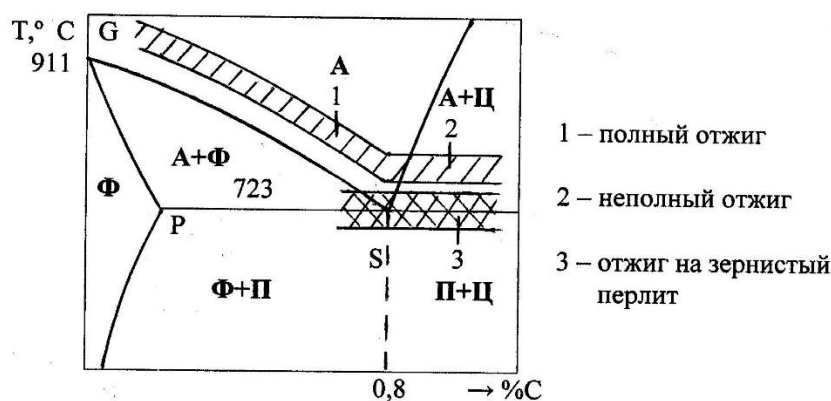


Рисунок 2 - Выбор температуры нагрева при отжиге

Для доэвтектоидных конструкционных сталей применяют полный отжиг, при котором температура нагрева на 30...50° С выше линии полного аустенитного превращения (линия GS, критическая температура A3, рисунок 2).

Заэвтектоидные инструментальные стали подвергают неполному отжигу, при этом температура нагрева на 30...50° С выше линии эвтектоидного превращения (линия SK, критическая температура A1, рисунок 2). Такой режим отжига предотвращает образование цементитной сетки, охрупчивающей сталь.

Структура после отжига максимально соответствует диаграмме железо - углерод: в доэвтектоидных сталях – феррит и перлит, в эвтектоидных – перлит, в заэвтектоидных – перлит и цементит.

Для улучшения обрабатываемости инструментальной стали применяют также отжиг на зернистый перлит. При этом сталь подвергают «маятниковому»

нагреву в области температуры эвтектоидного превращения (рис. 6.2), с амплитудой 50° С и кратностью 2 -3 раза. Такой режим нагрева способствует превращению пластинчатого перлита в зернистый, более пластичный перлит.

Нормализация

Нормализация – это вид термической обработки, который заключается в нагреве до температуры, обеспечивающей полную аустенитизацию, выдержке и охлаждении на воздухе.

Цель нормализации доэвтектоидных сталей заключается в некотором повышении твердости, за счет получения, по сравнению с отжигом, более мелкозернистой и дисперсной структуры. Нормализацию заэвтектоидных сталей проводят с целью устранения охрупчивающей цементитной сетки и подготовки структуры для последующей термообработки – закалки.

При нормализации для всех сталей, независимо от содержания углерода, температура нагрева на 30...50° С выше линии полного аустенитного превращения (рис. 6.3).

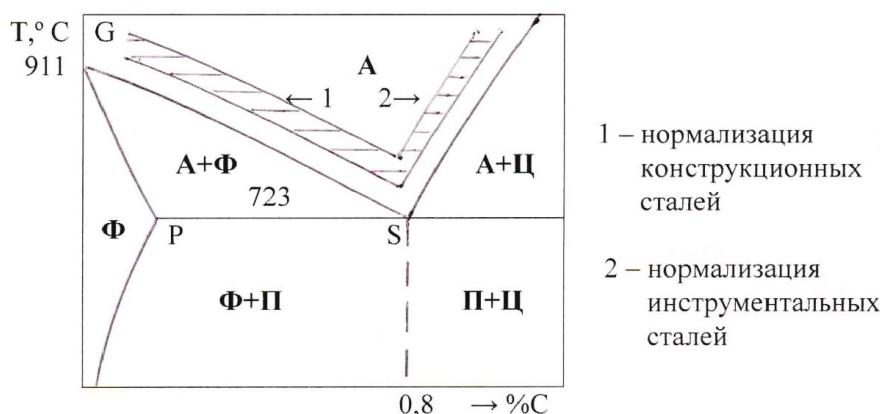


Рисунок 3 - Выбор температуры нагрева при нормализации

Структура стали после нормализации в целом соответствует диаграмме состояния Fe – С, но, благодаря более ускоренному охлаждению по сравнению с отжигом, она характеризуется меньшим размером зерен феррита и большей дисперсностью перлита.

На рисунке 4 представлены диаграммы распада переохлажденного аустенита, которые используют для описания характера структуры углеродистых сталей после того или иного вида термообработки. Видно, что при охлаждении с печью (отжиг) или на воздухе (нормализация) аустенитное превращение начинается после определенного инкубационного периода – промежутка времени, необходимого для предварительного перераспределения диффузионным путем углерода в решетке аустенита. Чем выше скорость охлаждения, тем при

более низкой температуре начинается и заканчивается аустенитное превращение, что, в свою очередь, определяет дисперсность феррито-цементитной смеси. Мелкую феррито-цементитную смесь (перлит), получаемую в результате нормализации называют сорбитом. Сорбит имеет более высокую твердость, чем перлит (рисунок 4).

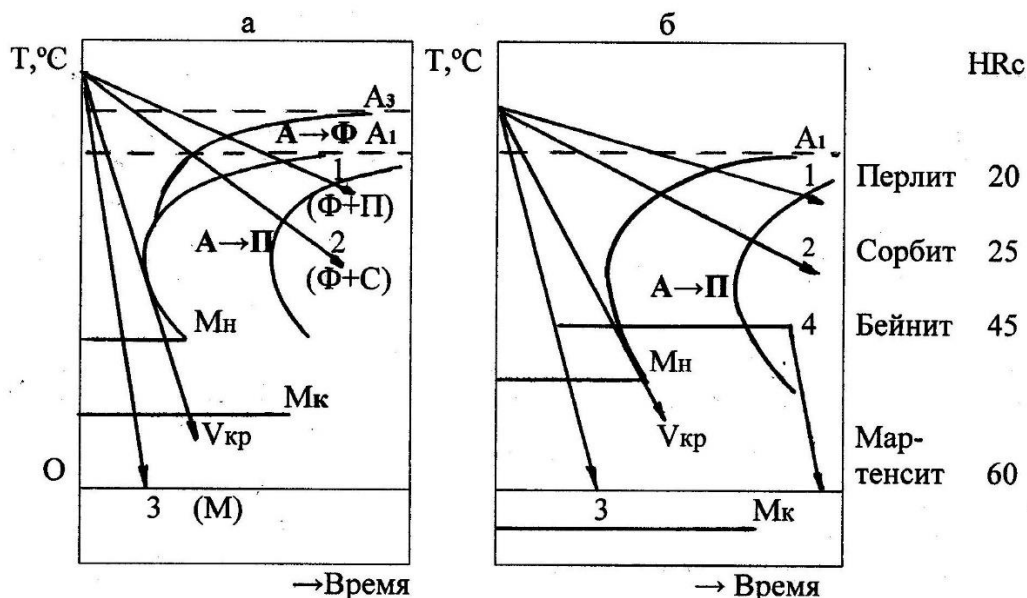


Рисунок 4 - Диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 40 (а) и стали У8 (б): 1 – отжиг; 2 – нормализация; 3 – закалка; 4 – изотермическая закалка

Нормализация – более экономичная термическая операция, чем отжиг, так как меньше времени затрачивается на охлаждение стали. Кроме того, нормализация, обеспечивая полную перекристаллизацию структуры, улучшает прочностные свойства стали, уменьшает анизотропию свойств, вызванную наличием в горячекатаной стали строчечной структуры.

Закалка

Закалка – это вид термической обработки, который заключается в нагреве до температуры, обеспечивающей полную (доэвтектоидные стали) или частичную (заэвтектоидные стали) аустенитизацию, выдержке и охлаждении со скоростью, необходимой для получения мартенситной структуры.

Целью закалки является существенное повышение прочности (твердости), а также, в сочетании с отпуском, повышение ударной вязкости конструкционных сталей, износостойкости и режущих свойств инструментальных сталей.

Стали под закалку нагревают также как при отжиге (рисунок 2): на 30...50° С выше линии полного аустенитного превращения для конструкционных сталей; на 30...50° С выше температуры эвтектоидного превращения для инструментальных сталей.

При достижении скоростью охлаждения некоторой критической величины ($V_{кр}$, рисунок 4) перемещение углерода в решетке аустенита становится невозможным, поэтому фазовое превращение происходит бездиффузионным, сдвиговым путем. Продукт такого превращения называется *мартенситом*.

Перестройка кристаллической решетки из гранецентрированной в объемноцентрированную в локальном месте происходит мгновенно. Углерод при этом остается полностью во вновь образующейся решетке, вызывая её тетрагональное искажение. Поэтому мартенсит, в отличие от феррита, имеет не ОЦК решетку, а объемноцентрированную тетрагональную, вытянутую вдоль одной из осей.

Скорость охлаждения, при которой наблюдается образование полностью мартенситной структуры, называется критической скоростью закалки ($V_{кр}$). Вне зависимости от величины скоростей охлаждения, превышающих $V_{кр}$, мартенсит начинает образовываться при одной температуре, называемой температурой начала мартенситного превращения (M_n). Заканчивается мартенситное превращение при температуре конца мартенситного превращения (M_k).

Повышение содержания углерода в стали приводит к смещению интервала мартенситного превращения в область более низких температур. Так из рисунка 4 видно, что в инструментальной стали, по сравнению с конструкционной, M_n имеет меньшую величину, а M_k оказывается в области отрицательных температур. То есть мартенситное превращение при охлаждении до комнатной температуры не заканчивается, поэтому в структуре инструментальных сталей присутствует остаточный аустенит, для устранения которого часто применяют обработку холодом.

Таким образом, *мартенсит* углеродистых сталей – это продукт бездиффузионного превращения аустенита, представляющий собой пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе. В силу больших искажений и напряжений кристаллической решетки, по причине сдвигового характера превращения и наличия большого количества углерода, мартенсит является очень прочной (твердой, см. рисунок 4), но хрупкой фазой.

Охлаждение углеродистых сталей при закалке производят, как правило, в воде. Для повышения охлаждающей способности воды при закалке среднеуглеродистых сталей добавляют в неё 10% NaCl. Инструментальные стали, во избежание коробления или образования трещин, часто подвергают закалке в двух охладителях (сначала инструмент охлаждают в воде, а затем переносят в масло), а также изотермической закалке (закалка на бейнит; 4 на рис. 6.4).

При выборе сталей под закалку необходимо иметь сведения о двух важных характеристиках:

- закаливаемость – способность стали повышать твердость в результате закалки на мартенсит; характеризуется твердостью закаленной стали;

- прокаливаемость – способность стали закаливаться на определенную глубину; характеризуется расстоянием до полумартенситной зоны;

Повышение содержания углерода в составе стали способствует увеличению, как закаливаемости, так и прокаливаемости.

Отпуск закаленной стали

Сталь после закалки обладает высокой хрупкостью. Использовать закаленные детали практически невозможно, поэтому после закалки проводят отпуск.

Отпуск – это повторный нагрев закаленной стали до температур в интервале 150...650° С с последующим охлаждением в воде или на воздухе.

Целью отпуска является повышение пластичности и вязкости закаленной стали при некотором снижении прочности (твердости).

Изменение свойств закаленной стали при отпуске происходит за счет изменения напряженного состояния и распада неравновесной фазы – мартенсита, который в итоге превращается в равновесные фазы – феррит и цементит.

Характер и полнота превращения мартенсита определяет три вида отпуска.

Низкий отпуск (150...250° С) приводит, в основном, к снятию внутренних напряжений. Видимых изменений структура стали после такого отпуска, по сравнению с закалкой, не претерпевает и носит название отпущенный мартенсит. Низкий отпуск применяется для металлорежущего инструмента.

При среднем отпуске (300...500° С) происходит полный распад мартенсита, а также остаточного аустенита с образованием дисперсной феррито-цементитной смеси, называемой троостит отпуска. Пластичность стали возрастает, а прочность понижается, оставаясь на довольно высоком уровне. Средний отпуск применяется для пружин, рессор, деревообрабатывающего инструмента и т.п.

Высокий отпуск (500...650° С) способствует укрупнению фазовых составляющих и формирует структуру, называемую сорбит отпуска. Сталь с такой структурой характеризуется высокой ударной вязкостью. Высокому отпуску подвергаются детали конструкций, работающие при динамических нагрузках.

Основные виды термической обработки показаны в таблице 1

Таблица 1 - Характеристика основных видов термообработки стали

Вид термообработки	Характеристика процессов	Назначение
Отжиг:	Нагрев и последующее медленное охлаждение, чаще вместе с печью	
Полный	Нагрев на 30 - 50°C выше верхней критической точки A_{C3} и медленное охлаждение	Получение мелкозернистой структуры и снятие внутренних напряжений в доэвтектоидных сталях.
Неполный	Нагрев на 30 - 50°C выше нижней критической точки A_{C1} и медленное охлаждение	Снятие внутренних напряжений и улучшение обрабатываемости резанием заэвтектоидных и инструментальных сталей
Рекристаллизационный	Нагрев до 450 - 700°C, непродолжительная выдержка и охлаждение на воздухе.	Снятие наклепа после холодной пластической деформации.
Диффузионный	Нагрев до 1100 - 1200°C, выдержка 10 - 20 часов и медленное охлаждение (рис. 3.3).	Устранение химической неоднородности, образовавшейся при кристаллизации металла. (Получается крупнозернистая структура, которая измельчается при последующем полном отжиге или нормализации)
Низкотемпературный	Температура отжига находится в пределах 200 - 700°C (чаще 350 - 600°C) - рис. 3.3. Нагрев на 20 - 30°C выше	Снятие внутренних напряжений, образовавшихся при литье, сварке, обработке резанием и т.д.
Изотермический	A_{C3} , охлаждение с печью до 680 - 700°C, выдержка 2 - 5 часов при этой температуре и охлаждение на воздухе.	Повышение обрабатываемости резанием легированных сталей
Нормализация	Нагрев, выдержка и последующее охлаждение на воздухе	Исправление структуры перегретой стали, снятие внутренних напряжений в деталях из конструкционных сталей и улучшение их обрабатываемости; увеличение глубины прокаливаемости инструментальных сталей перед закалкой.
Закалка:	Нагрев, выдержка и последующее резкое охлаждение	Получение высокой твердости, упрочнение

Полная	Нагрев на 30 - 50°C выше A_{C3}	Для доэвтектоидных сталей (в которых углерода менее 0,8 %)
Неполная	Нагрев на 30 - 50°C выше $A_{Cст}$	Для заэвтектоидных сталей (углерода более 0,8 %)
Отпуск:	Нагрев, выдержка и охлаждение на воздухе	Снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и пластичности, понижение твердости и уменьшение хрупкости закаленной стали
Низкий	Нагрев в интервале температур 150 - 250°C.	Для инструментальных сталей, после закалки цементуемых изделий.
Средний	Нагрев в интервале температур 300 - 500°C.	Для пружин, рессор, а также инструмента, который должен иметь значительную прочность и упругость при достаточной вязкости.
Высокий	Нагрев в интервале температур 500 - 650°C.	Для деталей из конструкционных сталей, работающих при ударных нагрузках.
Улучшение	Закалка стали и последующий высокий отпуск	Обеспечение сочетания высокой прочности и пластичности при окончательной термообработке деталей из конструкционных сталей, испытывающих в работе ударные нагрузки и вибрации.
Старение	Нагрев и длительная выдержка при повышенной температуре	Стабилизация размеров деталей и инструментов из различных сталей.
Термомеханическая обработка	Нагрев, быстрое охлаждение до 400...500 °C. Многократное пластическое деформирование, закалка и отпуск	Обеспечение для деталей простой формы, не подвергаемых сварке, более высокой прочности, чем при обычной термообработке.

Порядок выполнения работы

1. Для марки стали, соответствующей вашему варианту (таблица 2), указать содержание углерода и принадлежность данной стали к конструкционной или инструментальной, определить механические свойства до термообработки. Выбрать и обосновать последовательность операций предварительной и окончательной термообработки изделия из данной стали (задание 1).

2. Для указанных условий (деталь, марка стали, цель термообработки) определить вид термообработки и ее температурный режим (задание 2).

Содержание отчета

1. Название практической работы, ее цель.
2. Краткие теоретические сведения о термической обработке материалов.
3. Выполнение заданий:

Задание 1

- характеристика стали в исходном состоянии;
- последовательность операций термообработки с обоснованием

Задание 2.

- характеристика стали в исходном состоянии;
- вид термообработки,
- режим термообработки (температура нагрева, среда охлаждения).

Таблица 2

Вариант	Задание 1	Задание 2		
		Деталь	Марка стали	Цель термообработки
1	70	Вал	40Х	Повышение поверхностной прочности и улучшение механических свойств
2	У7	Шестерня	20ХГНМ	
3	20	Сверло	Р6М5	
4	У13А	Шкив	25	
5	40	Фреза	Р18	Снятие внутренних напряжений после механической обработки
6	У8	Ось	20	
7	60	Втулка	35	
8	У12	Вал	50Л	Устранение химической неоднородности
9	80	Корпус полшипника	20	
10	У9	Шестерня	25ХГМ	Получение мелкозернистой структуры
11	40Х	Крюк крана	60	
12	У11	Вал	45	
13	50	Резец	Корпус 40Х Напайка	Снятие внутренних напряжений после сварки
14	ХВГ	Вал	60Г	Повышение поверхностной прочности и улучшение механических свойств
15	30	Зубило	У8	
16	У7А	Ось	40	
17	10	Метчик	У12А	
18	У13	Корпус насо-	20Х	Снятие внутренних напряжений после механической обработки
19	70Г	Рычаг	25	
20	У8А	Поршень	40	
21	45	Гаечный	ХВГ	
22	9ХС	Вал	40Х	Устранение химической неоднородности
23	20Х	Поршень	80	Получение мелкозернистой структуры
24	У12А	Рычаг	20Х	
25	85	Звездочка	40	

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность термической обработки?
2. Чем характеризуется любой процесс термообработки?
3. Какие существуют виды термической обработки стали?
4. Каковы разновидности процесса отжига и их назначение?
5. Для какой цели производят закалку стальных изделий?
6. Для чего после закалки проводят отпуск стали?
7. Что такое отжиг?
8. В чем заключается отличие между отжигом I и отжигом II рода?
9. Нормализация. Назначение, режим.
10. Основная цель закалки.
11. От каких факторов зависит время нагрева под закалку?
12. Влияние температуры нагрева на механические свойства стали.

Список литературы

1. Ильященко Д.П., Зернин Е.А., Чернова С.А. Лабораторный практикум по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов»: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 178 с.
2. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для академического бакалавриата / М. С. Корытов [и др.] ; под ред. М. С. Корытова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2018. 234 с.
3. Буркин С.П., Шимов Г.В., Андрюкова Е.А. Металлургия. Остаточные напряжения в металлопродукции : учебное пособие для СПО. М. : Юрайт, 2018. 247 с.
4. Конюхов В.Ю, Гоголадзе И.А., Мурга З.В. Методы исследования материалов и процессов : учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2018. 226 с.
5. Гаськова Т.И. Материаловедение: сборник описаний лабораторных и практических работ. Братск: ГБПОУ БПромТ. 2014. 34 с.
6. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки: учеб. пособие. ОИЦ «Академия», 2008. 336 с.
7. Плошкин В.В. Материаловедение: учебник для СПО. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2018. 463 с..
8. Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по материаловедению и термической обработке металлов. М.: Машиностроение, 1981.
9. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Metallurgy, 1986.
10. Золоторевский Н. Ю., Рыбин В.В. Материаловедение. Фрагментация и текстурообразование при деформации металлических материалов : учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2018. 207 с.
11. Дроздов А.В., Михальченков А.М. Особенности определения твердости серого чугуна // Заводская лаборатория. 1994. № 5.
12. Материаловедение / под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002.
13. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / С.С. Некрасов и др. М.: Агропромиздат, 1981.
14. Геллер Ю.А., Погодин-Алексеев Г.И., Рахштадт А.С. Металловедение. М.: Metallurgy, 1967.
15. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.

Учебное издание

Филин Юрий Игоревич

Материаловедение

Сборник практических работ
для студентов технических специальностей

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 13.04.2018 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л.4,88. Тираж экз. Изд. №5804.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ