



Министерство образования и науки Республики Казахстан
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова
Кафедра машиностроения и стандартизации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным занятиям

по дисциплинам «Технология конструкционных материалов и термообработка»,
«Технологические процессы машиностроительного производства» для сту-
дентов специальностей 050712 – Машиностроение и 050732 – Стандарти-
зация, метрология и сертификация

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____ Н.Э.Пфейфер
(подпись)
«___»_____20__г

Составитель: к.т.н., доцент _____ Денчик А.И.
(подпись)

Кафедра машиностроения и стандартизации

Методические указания

к лабораторным занятиям

по дисциплинам «Технология конструкционных материалов и термообработка»,
«Технологические процессы машиностроительного производства» для сту-
дентов специальностей 050712 – Машиностроение и 050732 – Стандарти-
зация, метрология и сертификация

Рекомендовано на заседании кафедры «___»_____20__г.
Протокол №___

Заведующий кафедрой _____ Шумейко И.А. «___»_____20__г.
(подпись)

Одобрено учебно-методическим советом факультета металлургии, машино-
строения и транспорта «___»_____20__г., протокол №___

Председатель УМС _____ Ахметов Ж.Е. «___»_____20__г.
(подпись)

ОДОБРЕНО:

Начальник ОПиМОУП _____ Варакута А.А. «___»_____20__г.
(подпись)

Одобрена учебно-методическим советом университета
«___»_____20__г. Протокол №___

Введение

Методические указания предназначено для студентов технических специальностей вузов, при подготовке которых предусмотрено изучение курсов «Технология конструкционных материалов и термообработка», «Технологические процессы машиностроительного производства». Одновременно оно способствует более глубокому усвоению профилирующих дисциплин, формирующих специальные знания будущих инженеров.

Изучение этого курса должно дать студентам знания об основных закономерностях, определяющих строение и свойства наиболее распространенных материалов, а также научить выполнять широко применяемые в технике испытания материалов; уметь самостоятельно пользоваться технической и справочной литературой для выбора необходимых материалов и эффективных методов их обработки с целью повышения надежности и долговечности изготавливаемых из них деталей применительно к условиям их эксплуатации. Эта цель может быть достигнута в результате самостоятельного выполнения лабораторных работ и домашних заданий. Именно поэтому, в настоящем учебном пособии приведены основные методы испытания и исследования материалов и даны теоретические основы формирования структуры этих материалов. Анализ полученных практических результатов способствует развитию у студентов навыков самостоятельной работы по исследованию микроструктуры и свойств металлических сплавов. Кроме того, дается возможность научиться обобщению полученных экспериментальных данных путем составления таблиц, построения графиков и схематического изображения микроструктур различных металлических сплавов. Поэтому в учебном пособии наряду с микроструктурами воспроизведенными при помощи металлографического микроскопа приведено и их схематическое изображение. Это позволит лучше усвоить строение металлических сплавов и сопоставить его с их свойствами.

Количество лабораторных работ и продолжительность их выполнения предусматривается календарным учебным планом, составляемым преподавателем с учетом направления подготовки специалистов.

Все учебно-методические материалы пособия получены в информационной системе **"Единое окно доступа к образовательным ресурсам"** (ИС **"Единое окно "**).

Информационная система **"Единое окно доступа к образовательным ресурсам"** создана по заказу Федерального агентства по образованию в 2005-2009 г.г., удостоена Премии Правительства РФ в области образования за 2008 год.

Целью создания информационной системы **ИС "Единое окно "** является обеспечение свободного доступа к образовательным интернет-ресурсам учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Более половины учебно-методических материалов разработаны и переданы в ИС "Единое окно " ведущими университетами и ВУЗами России, а также издательствами, отдельными преподавателями и авторами.

Все электронные копии учебно-методических материалов были размещены в ИС "Единое окно " с согласия университетов, издательств и авторов или перенесены с порталов и сайтов, владельцы которых не возражают против некоммерческого использования их ресурсов.

Составитель данного пособия доцент Денчик А.И. выражает глубокую признательность авторам учебников, пособий и др. учебно-методических материалов, разместившим их в информационной системе "**Единое окно доступа к образовательным ресурсам**" для обеспечения свободного доступа к образовательным интернет-ресурсам.

Лабораторная работа №1 Определение твердости металлов

1.1 Цель лабораторной работы - усвоить понятие твердости, изучить сущность ее определения различными методами. Научиться самостоятельно измерять твердость наиболее распространенными методами.

1.2 Приборы и материалы

Приборы Бринелля и Роквелла, образцы из горячекатаной и термически упрочненной углеродистой стали и цветных сплавов, эталонные бруски известной твердости.

1.3 Основные положения

Под твердостью материала понимают его способность сопротивляться пластической или упругой деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора).

Этот вид механических испытаний не связан с разрушением металла и, кроме того, в большинстве случаев не требует приготовления специальных образцов.

Все методы измерения твердости можно разделить на две группы в зависимости от вида движения индентора: статические методы и динамические. Наибольшее распространение получили статические методы определения твердости.

Статическим методом измерения твердости называется такой, при котором индентор медленно и непрерывно вдавливается в испытуемый металл с определенным усилием. К статическим методам относят следующие: измерение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу (рисунок 1).

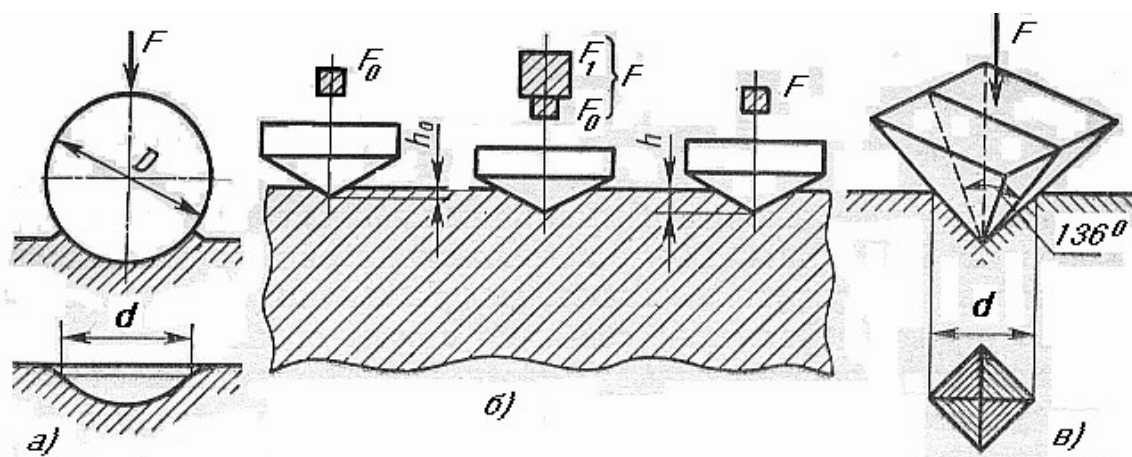


Рисунок 1 - Схема определения твердости; а) по Бринеллю; б) по Роквеллу; в) по Виккерсу

При динамическом испытании контролируется величина отскока испытательного инструмента от поверхности испытываемого образца. К динамическим методам относят следующие: твердость по Шору, по Полюди.

1.4 Измерение твердости по Бринеллю

Сущность метода заключается в том, что шарик (стальной или из твердого сплава) определенного диаметра под действием усилия, приложенного перпендикулярно поверхности образца, в течение определенного времени вдавливается в испытуемый металл (рис. 1а). Величину твердости по Бринеллю определяют исходя из измерений диаметра отпечатка после снятия усилия.

При измерении твердости по Бринеллю применяются шарики (стальные или из твердого сплава) диаметром 1,0; 2,0; 2,5; 5,0; 10,0 мм.

При твердости металлов менее 450 единиц для измерения твердости применяют стальные шарики или шарики из твердого сплава. При твердости металлов более 450 единиц - шарики из твердого сплава.

Величину твердости по Бринеллю рассчитывают как отношение усилия F , действующего на шарик, к площади поверхности сферического отпечатка A

$$\begin{aligned} \text{HB (HBW)} &= \frac{F}{A} \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \\ &= \end{aligned} \quad (1)$$

где HB – твердость по Бринеллю при применении стального шарика; (HBW твердость по Бринеллю при применении шарика из твердого сплава), МПа (кгс);

F – усилие, действующее на шарик, Н (кгс);

A – площадь поверхности сферического отпечатка, мм²; D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Одинаковые результаты измерения твердости при различных размерах шариков получаются только в том случае, если отношения усилия к квадратам диаметров шариков остаются постоянными. Исходя из этого, усилие на шарик необходимо подбирать по следующей формуле

$$F = K \cdot D^2 \quad (2)$$

Диаметр шарика D и соответствующее усилие F выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах

$$0,24 \cdot D \leq d \leq 0,6 \cdot D \quad (3)$$

Если отпечаток на образце получается меньше или больше допустимого значения d , то нужно увеличить или уменьшить усилие F и произвести испытание снова.

Коэффициент K имеет различное значение для металлов разных групп по твердости. Численное, же значение его должно быть таким, чтобы обеспечивалось выполнение требования, предъявляемого к размеру отпечатка (3).

Толщина образца должна не менее, чем в 8 раз превышать глубину отпечатка.

1.5 Последовательность измерения твердости по Бринеллю

Подготовка образца, выбор условий испытания, получение отпечатка, измерение отпечатка и определение числа твердости производится в строгом соответствии ГОСТ 9012-59 (в редакции 1990 г.). Необходимые для замера твердости значения выбираются из таблиц этого ГОСТа.

Значение K выбирают в зависимости от металла и его твердости в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 - Испытание твердости по Бринеллю

Диаметр шарика D , мм	Прикладываемое усилие F , Н				
	$K=F/D^2$				
	30	10	5	2,5	1
10	29420	9807	4903	2452	980,7
5	7355	2452	1226	612,9	245,2
2,5	1839	612,9	306,5	153,2	61,3
1	294,2	98,1	49,0	24,5	9,81
Диапазон твердости НВ	55 – 650	35 – 200	<55	8 – 55	3 – 20
Измеряются	Сталь, чугун, медь и ее сплавы, легкие сплавы	Чугун, сплавы меди, легкие сплавы	Медь и ее сплавы, легкие сплавы	Легкие сплавы	Свинец, олово

Усилие, F в зависимости от значения K и диаметра шарика D устанавливают в соответствии с таблицей 1.

Рекомендуемое время выдержки образца под нагрузкой для сталей составляет 10 с, для цветных сплавов 30 с (при К=10 и 30) или 60 с (при К=2.5).

Данные замеров занести в протокол.

Протокол испытаний

Марка металла	D шарика, мм	F, H (кгс)	Продол. выдержки, с	Диаметр отпечатка, мм		Среднее арифм., d_{cp} мм	НВ (НВW)
				d ₁	d ₂		

1.6 Последовательность измерения твердости по Роквеллу

Шкалу испытания (А, В или С) и соответствующие ей условия испытания (вид наконечника, общее усилие) выбирают в зависимости от предполагаемого интервала твердости испытываемого материала по таблице 2.

Таблица 2 - Выбор нагрузки и наконечника для испытания твердости по Роквеллу

Примерная твердость по Виккерсу	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые пределы шкалы
60 – 240	В	Стальной шарик	100	HRB	25 – 100
240 – 900	С	Алмазный конус	150	HRC	20 – 67
390 – 900	А	То же	60	HRA	70 – 85

Измерение твердости по Роквеллу осуществляется в строгом соответствии ГОСТ 9013-59. Данные замеров занести в протокол.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Марка металла	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Результаты измерения	Примечание

1.7 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Протокол испытаний твердости по методу Бринелля.
4. Протокол испытаний твердости по методу Роквелла.
5. Выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое твердость?
2. Классификация методов измерения твердости.
3. Сущность измерения твердости по Бринеллю.
4. До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются стальные шарики?
5. Какого диаметра шарики используются при испытании на твердость по Бринеллю?
6. Из каких условий выбирается диаметр шарика при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Пример записи твердости по Бринеллю?
8. Сущность измерения твердости по Роквеллу?
9. При замере какой твердости снимается отсчет показаний по шкалам А, С, В?
10. Пример формы записи твердости по Роквеллу?

Лабораторная работа №2 Испытание металлов на растяжение

2.1 Цель лабораторной работы - Ознакомиться с проведением испытания на растяжение и определением показателей прочности и пластичности.

2.2 Приборы и материалы

Разрывная машина Р 0,5, штангенциркуль, мерительная линейка, набор проволочных образцов.

2.3 Основные положения

Металлы и сплавы, используемые в качестве конструкционных материалов, должны обладать определенными механическими свойствами – прочностью, упругостью, пластичностью, твердостью.

Прочность – это способность металла сопротивляться деформации и разрушению.

Деформацией называется изменение размеров и формы тела под действием внешних сил. Деформации подразделяются на упругие и пластические. Упругие деформации исчезают, а пластические остаются после окончания действия сил. В основе пластических деформаций

– необратимые перемещения атомов от исходных положений на расстояния, большие межатомных, изменение формы отдельных зерен металла, их расположения в пространстве.

Способность металлов пластически деформироваться называется пластичностью. Пластичность обеспечивает конструктивную прочность деталей под нагрузкой и нейтрализует влияние концентраторов напряжений – отверстий, вырезов и т.п. При пластическом деформировании металла одновременно с изменением формы меняется ряд свойств, в частности при холодном деформировании повышается прочность, но снижается пластичность.

Большинство механических характеристик металла определяют в результате испытания образцов на растяжение (ГОСТ 1497-84).

При растяжении образцов с площадью поперечного сечения F_0 и рабочей (расчетной) длиной l_0 строят диаграмму растяжения в координатах: нагрузка P – удлинение Δl образца (рисунок 1).

Диаграмма растяжения характеризует поведение металла при деформировании от момента начала нагружения до разрушения образца. На диаграмме выделяют три участка: упругой деформации – до нагрузки $P_{упр}$; равномерной пластической деформации от $P_{упр}$ до P_{max} и сосредоточенной пластической деформации от P_{max} до P_k . Если образец нагрузить в пределах $P_{упр}$, а затем полностью разгрузить и измерить его длину, то никаких последствий нагружения не обнаружится. Такой характер деформирования образца называется упругим. При на-

грузении образца более $P_{упр}$ появляется остаточная (пластическая) деформация. Пластическое деформирование идет при возрастающей нагрузке, так как металл упрочняется в процессе деформирования. Упрочнение металла при деформировании называется наклепом. При дальнейшем нагружении пластическая деформация, а вместе с ней и наклеп все более увеличиваются, равномерно распределяясь по всему объему образца. После достижения максимального значения нагрузки P_{max} в наиболее слабом месте появляется местное утонение образца – шейка, в которой в основном и протекает дальнейшее пластическое деформирование. В это время между деформированными зернами, а иногда и внутри самих зерен могут зарождаться трещины. В связи с развитием шейки, несмотря на продолжающееся упрочнение металла, нагрузка уменьшается от P_{max} до P_k , и при нагрузке P_k происходит разрушение образца. При этом упругая деформация образца ($\Delta l_{упр}$) исчезает, а пластическая ($\Delta l_{ост}$) остается (рисунок 1).

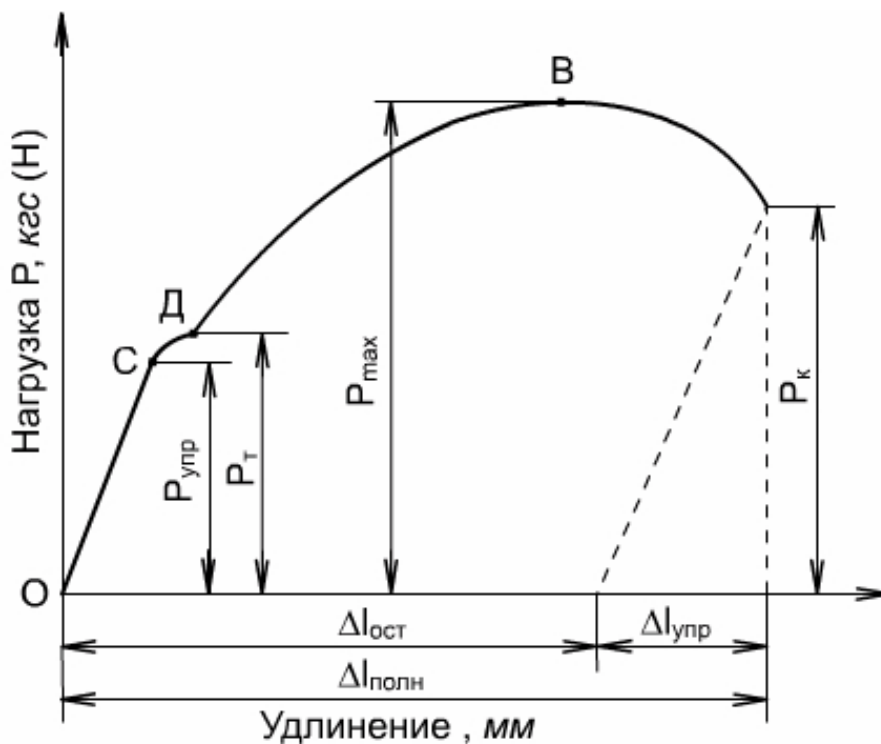


Рисунок 1 - Диаграмма растяжения металла

При деформировании твердого тела внутри него возникают внутренние силы. Величину сил, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения образца, называют напряжением. Размерность напряжения $кгс/мм^2$, или $МПа$ ($1кгс/мм^2=10 МПа$).

Отмеченные выше нагрузки на кривой растяжения ($P_{упр}$, P_T , P_{max} , P_K) служат для определения основных характеристик прочности (напряжений): предела упругости, физического предела текучести, временного сопротивления (предела прочности) и истинного сопротивления разрушению. В технических расчетах вместо предела прочности обычно используется условный предел текучести, которому соответствует нагрузка $P_{0,2}$ (рисунок 2).

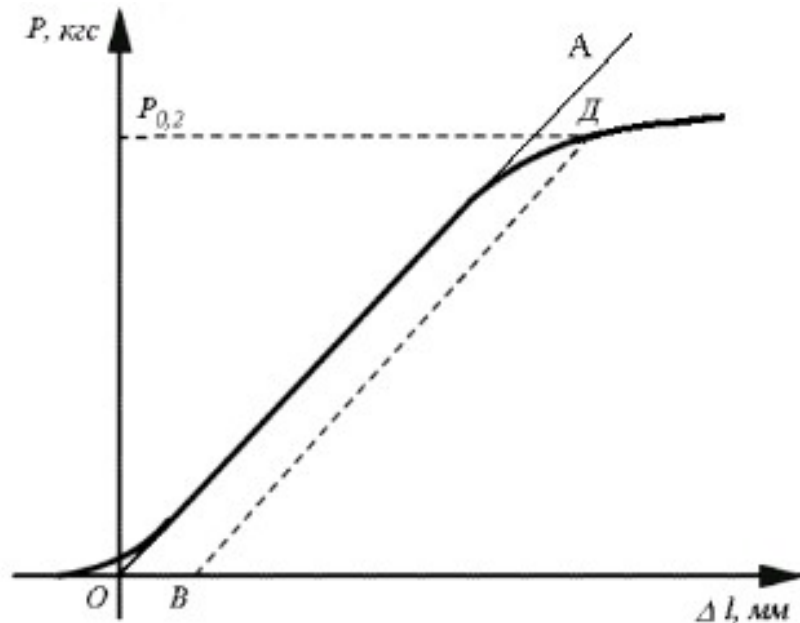


Рисунок 2 - Участок диаграммы растяжения металла

При растяжении образец удлиняется, а его поперечное сечение непрерывно уменьшается. Но поскольку площадь поперечного сечения образца в каждый данный момент определить сложно, то при расчете предела упругости, предела текучести и временного сопротивления пользуются условными напряжениями, считая, что поперечное сечение образца остается неизменным. Истинное напряжение рассчитывается только при определении сопротивления разрушению.

Условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – это напряжение, при котором образец получает остаточное (пластическое) удлинение, равное 0,2 % своей расчетной длины:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (1)$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное (пластическое) удлинение; равное 0,2 %, кгс (Н);

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, $мм^2$.

Временное сопротивление (предел прочности) σ_b – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

$$\sigma_b = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (2)$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению, кгс (Н).

Временное сопротивление (предел прочности) характеризует несущую способность материала, его прочность, предшествующую разрушению.

Истинное сопротивление разрушению (S_k) – истинное напряжение, предшествующее моменту разрушения образца

$$S_k = \frac{P_k}{F_k}, \quad (3)$$

где P_k – нагрузка, непосредственно предшествующая моменту разрушения, кгс (Н).

F_k – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения, мм².

Несмотря на то, что P_{\max} больше P_k , истинное сопротивление разрушению $S_k > \sigma_b$, поскольку площадь поперечного сечения образца в месте разрушения F_k значительно меньше начальной площади поперечного сечения F_0 .

Для оценки пластичности металла служат относительное остаточное удлинение образца при растяжении (δ_p , %) и относительное остаточное сужение площади поперечного сечения образца (Ψ_p , %).

Относительное остаточное удлинение (δ_p , %) определяется по формуле:

$$\delta_p = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100\%, \quad (4)$$

где l_k – рабочая длина образца после испытания, мм;

l_0 – рабочая длина до испытания, мм.

Относительное остаточное сужение (Ψ_p , %) определяется из выражения:

$$\psi_p = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%, \quad (5)$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм^2 ;

F_k – площадь сечения образца вместе разрушения, мм^2 .

Практически для определения нагрузки, которая вызывает деформацию, соответствующую условному пределу текучести, следует выполнить следующие действия.

На диаграмме растяжения провести прямую ОА (рисунок 2), совпадающую с прямолинейным участком диаграммы растяжения.

Определить положение точки О. Через точку О провести ось ординат ОР. Масштаб записи диаграммы по нагрузке: одному миллиметру ординаты соответствует 2 кгс нагрузки. Численная величина искомой нагрузки Р (кгс) равна соответствующей ординате диаграммы (мм), умноженной на масштаб диаграммы (2 кгс/мм).

Для определения нагрузки, соответствующей условному пределу текучести $R_{0,2}$, необходимо от начала координат по оси абсцисс отложить отрезок ОВ, величина которого равна заданному остаточному удлинению 0,2 %. Длина отрезка ОВ (мм) рассчитывается исходя

$$OB = \frac{l_0 \times 0,2 \times M}{100}, \quad (6)$$

где l_0 – рабочая длина образца, мм;

М – масштаб записи диаграммы по деформации.

Из точки В провести прямую ВД, параллельную прямолинейному участку диаграммы растяжения (рис. 2), до пересечения с диаграммой.

Используя известный масштаб записи диаграммы по нагрузке, определить численные значения нагрузок $R_{0,2}$, R_{\max} , R_k , после чего рассчитать соответствующее напряжения: $\sigma_{0,2}$, σ_b , S_k . Полученные данные занести в протокол испытания.

Протокол испытания

Марка материала _____

№ п/п	Снимаемые параметры	Обозначение	Размер	Численная величина
	<i>Исходные данные</i>			
1.	Рабочая длина образца до испытания	l_0	мм	
2.	Диаметр образца до испытания	d_0	мм	
3.	Площадь поперечного сечения образца до испытания	F_0	мм ²	
4.	Масштаб записи диаграммы по деформации	M		
	<i>Результаты испытаний</i>			
5.	Нагрузка, соответствующая пластическому удлинению образца на 0,2 %	$P_{0,2}$	кгс	
6.	Максимальная нагрузка при испытании	P_{\max}	кгс	
7.	Нагрузка в момент разрушения	P_k	кгс	
8.	Диаметр образца в месте разрушения	d_k	мм	
9.	Площадь поперечного сечения образца в месте разрушения	F_k	мм ²	
10.	Рабочая длина образца после испытания	l_k	мм	
	<i>Характеристика прочности и пластичности</i>			
11.	<i>Условный предел текучести</i>	$\sigma_{0,2}$	кгс/мм ²	
12.	Временное сопротивление (предел прочности)	σ_b	кгс/мм ²	
13.	Истинное сопротивление разрушению	S_k	кгс/мм ²	
14.	Относительное остаточное удлинение	δ_p	%	
15.	Относительное остаточное сужение	ψ_p	%	

2.4 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма растяжения (рисунок 1).
4. Определения основных характеристик прочности и пластичности.
5. Протокол испытаний.
6. Выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какими механическими свойствами характеризуются конструкционные материалы?

2. Что такое прочность?
3. Что называется деформацией?
4. Что называется упругой деформацией?
5. Что называется пластической деформацией?
6. Как влияет холодная пластическая деформация на прочность и пластичность?
7. Какие характерные участки можно выделить на диаграмме растяжения?
8. Почему пластическая деформация идет при возрастающей нагрузке?
9. Что такое наклеп?
10. Что такое напряжение?
11. Почему различают истинные и условные напряжения?
12. Что такое условный предел текучести, временное сопротивление и истинное сопротивление разрушению?
13. Какие вы знаете характеристики пластичности?

Лабораторная работа №3 Макро – и микроскопическое исследование сплавов

3.1 Цель лабораторной работы - ознакомиться с методами исследования металлических сплавов приготовлением образцов для металлографического исследования.

3.2 Приборы и материалы

Коллекции макро- и микрошлифов, изломов. Металлографические микроскопы, лупы.

3.3 Основные положения

3.3.1 Макроскопический анализ

При макроскопическом анализе строение металлического сплава исследуют невооруженным глазом или с помощью лупы. Обычно он является предварительным видом исследования.

Макростроение сплава изучают на образцах или деталях, в изломе или на предварительно подготовленной поверхности, заключающейся в шлифовании и травлении. Такой образец называют макрошлифом. Если макрошлиф изготовлен в поперечном сечении детали, то его называют темплетом. Макроанализ находит широкое применение в промышленности, так как дает возможность выявлять раковины, шлаковые включения, трещины и другие дефекты строения сплава, химическую и структурную неоднородность.

Непосредственно по виду излома можно провести макроскопический анализ и установить многие особенности строения материалов, а в ряде случаев и причины их разрушения. Излом может быть хрупким и вязким.

По форме различают излом ровный или блестящий и с выступами, или чашечный. Первый вид излома характерен для хрупкого состояния, когда разрушение в условиях растяжения или ударного изгиба произошло без видимой пластической деформации, а второй – для вязкого излома. Хрупкий излом имеет кристаллическое строение, происходит практически без предварительной пластической деформации, в нем можно различить форму и размер зерен металла. Хрупкий излом может проходить по границам зерен (межкристаллический) и по зернам металла (транскристаллический). В сталях хрупкий излом иногда называют нафталинистым, если он транскристаллический и имеет избирательный блеск.

При крупнозернистом строении сплава хрупкий межкристаллический излом называют камневидным.

Вязкий излом имеет волокнистое строение, форма и размер зерен сильно искажены. Ему предшествует, как правило, значительная пластическая деформация.

Под действием знакопеременных нагрузок возможно возникновение усталостного излома (рис. 1). Он состоит из очага разрушения 1 (места образования микротрещин) и двух зон – усталости 2 и долома 3. Очаг разрушения примыкает к поверхности и имеет небольшие размеры. Зону усталости формирует последовательное развитие трещины усталости. В этой зоне видны характерные бороздки, которые имеют конфигурацию колец, что свидетельствует о скачкообразном продвижении трещины усталости. Последнюю стадию разрушения характеризует зона долома.

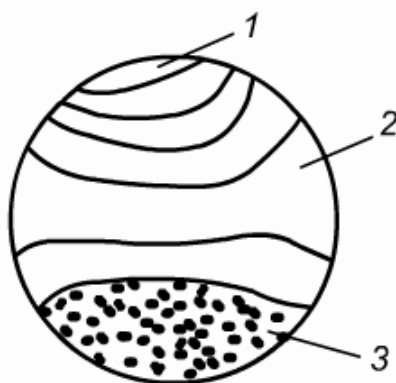


Рисунок 1 - Схематическое строение усталостного излома

Макроструктурный анализ проводится на макрошлифах. Макрошлифы подвергают:

глубокому травлению в концентрированных горячих кислотах для выявления волокнистого строения сплава, что важно для определения анизотропии свойств, различных внутренних дефектов металла;

поверхностному травлению для определения химической неоднородности сплава (ликвации).

Чаще всего определяют общую химическую неоднородность сплава по сечению детали.

Конкретно для сталей распределение C, P, S зависит от количества этих элементов, процесса кристаллизации и обработки давлением. Для определения общей ликвации свежеприготовленный макрошлиф погружают на 2 мин. в 10 % раствор двойной медно-аммиачной соли соляной кислоты (CuNH_4Cl_2).

При травлении медь замещает железо и оседает на участках поверхности, обедненных S, P, C, защищает их от дальнейшего растравления. Места, обогащенные примесями, оказываются сильно протравленными. Затем макрошлиф промывают под струей проточной воды и

осторожно снимают медь с поверхности ватным тампоном. Полученную картину зарисовывают или фотографируют.

3.3.2 Микроструктурный анализ

Микроструктурный анализ проводится с целью исследования структуры металлов и сплавов под микроскопом на специально подготовленных образцах. Методами микроанализа определяют форму и размеры кристаллических зерен, обнаруживают изменения внутреннего строения сплава под влиянием термической обработки или механического воздействия на сплав, микротрещины и многое другое.

Микроструктурный анализ проводится на микрошлифах при приготовлении которых необходимо учитывать что:

- шлиф должен иметь минимальный деформированный слой;
- на поверхности шлифа не должно быть царапин и ямок;
- шлиф должен быть плоским (без «завалов»), чтобы его можно было рассматривать при больших увеличениях.

Шлиф, т.е. образец с плоской отполированной поверхностью, механическим методом готовят следующим образом. Вначале производят обработку образца на плоскость (заторцовку) с помощью круга. По краям следует снять фаску, чтобы при последующих операциях не порвать полировальное сукно. Затем производят шлифовку на специальной бумаге с разной величиной зерна абразива, уложенной на стекло. При переходе к следующему номеру бумаги образец разворачивают на 90° и шлифуют до тех пор, пока не исчезнут риски от предыдущей обработки. После шлифования на последней бумаге шлиф промывают в воде, чтобы частички абразива не попали на полировальный круг. После шлифовки производят полировку. Шлиф слегка прижимают к вращающемуся кругу, на который натянуто сукно. Полировальный круг все время смачивается суспензией – взвесью тонкого абразива в воде. Абразивами для полировки служат окись алюминия (белого цвета), окись хрома (зеленого цвета) или другие окислы. Для полировки твердых материалов применяют пасту с алмазным порошком или алмазные круги. Полировку производят до получения зеркальной поверхности. После полировки шлиф промывают в воде или спирте, сушат полированную поверхность фильтровальной бумагой. Ее следует прикладывать к зеркалу шлифа, а не водить по нему.

После полировки микроструктура, как правило, не бывает видна. Исключением являются сплавы, структурные составляющие которых сильно различаются по составу и твердости, в результате чего одни

участки шлифа сполниваются больше, другие меньше, и на поверхности образуется рельеф.

Для выявления микроструктуры шлиф подвергают травлению – кратковременному действию реактива. Травитель и время травления подбирают опытным путем.

Механизм выявления структуры сплава довольно сложен. Те участки шлифа, которые сильно растравлены, кажутся под микроскопом более темными т.к., чем сильнее растравлена поверхность, тем больше она рассеивает свет и меньше света отражает в объектив.

В образце с однофазной структурой границы между зернами растравливаются сильнее, чем тело зерна, и под микроскопом видны канавки в виде темной сетки (рисунок 2.) Разные зерна одной фазы попадают в сечение шлифа различными кристаллографическими плоскостями, которые травятся по-разному. Поэтому зерна одной фазы могут иметь различные оттенки.

Рисунок 2 - Выявление микроструктуры сплава

В многофазном сплаве различные фазы и структурные составляющие травятся по-разному. Смесь фаз подвергается не только простому химическому действию реактивов, но и электрохимическому травлению, т.к. смесь фаз является совокупностью микрогальванических элементов. Растворяются частички, являющиеся микроанодами по отношению к другим частицам – микрокатодам.

В результате такого сложного действия травителя выявляется микростроение образца. После травления шлиф промывают водой, сушат фильтровальной бумагой и ставят на столик микроскопа.

3.4 Устройство и работа микроскопа

Разрешающая способность глаза ограничена и составляет 0,2 мм. Разрешающая способность характеризуется разрешающим расстоянием, т.е. тем минимальным расстоянием между двумя соседними частицами, при котором они еще видны отдельно. Чтобы увеличить разрешающую способность, используется микроскоп. Разрешаемое расстояние определяется соотношением:

$$\mu = \frac{\lambda}{2A} = \frac{\lambda}{2n \cdot \sin\alpha},$$

где λ – длина волны света;

n – показатель преломления среды, находящейся между объективом и объектом;

α – угловая апертура, равная половине угла раскрытия входящая в объектив пучка лучей, дающих изображение.

Произведение $n \sin\alpha = A$ называют числовой апертурой объектива. Эта важнейшая характеристика объектива выгравирована на его оправе. В большинстве исследований применяют сухие объективы, работающие в воздушной среде ($n = 1$). Объектив дает увеличенное промежуточное изображение объектива, которое рассматривают в окуляр, как в лупу. Окуляр увеличивает промежуточное изображение объектива и не может повысить разрешающей способности микроскопа.

Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений объектива и окуляра. Рекомендуется начинать микроанализ с использованием слабого объектива, чтобы вначале оценить общий характер структуры на большой площади. После просмотра структуры при малых увеличениях микроскопа используют объектив с такой разрешающей способностью, чтобы увидеть необходимые мелкие детали структуры.

Окуляр выбирают так, чтобы четко были видны детали структуры, увеличенные объективом. Собственное увеличение окуляра выгравировано на его оправе (например, 7^{\times}).

В металлографии микроанализу подвергаются непрозрачные для световых лучей объективы – микрошлифы, которые рассматривают в микроскоп в отраженном свете. Наводку на резкость осуществляют грубо, вращением макровинта. Тонкую наводку на резкость – вращением микровинта, который перемещает объектив по отношению к неподвижному предметному столику.

Для рассмотрения разных участков шлифа предметный столик вместе со шлифом перемещают винтами относительно неподвижного объектива в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

3.5 Определение величины зерна

Величина зерна оказывает существенное влияние на свойства сплава. По методу «секущей» подсчет числа зерен на выделенной площади заменяется подсчетом стыков (границ) плоских зерен.

Для определения диаметра зерна d при данном увеличении микроскопа (100^{\times}) необходимо, используя окуляр (7^{\times}), имеющий измерительную линейку, посчитать на контрольном образце количество пересечений

границ с осью шкалы окуляра «секущей». Аналогичный расчет проводится в двух других полях зрения. При подсчете определяют среднее арифметическое значение числа пересечений. Диаметр зерна определяют по формуле:

$$d_3 = \frac{lm}{n_{cp}},$$

где d_3 – диаметр зерна, мм;

l – длина секущей, мм;

m – цена деления секущей при данном увеличении микроскопа;

n_{cp} – среднее количество пересечений.

3.6 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Рисунок излома контрольного образца и заключение о его характере.
4. Рисунок выявленной микроструктуры с описанием ее характера.
5. Расчет величины зерна выявленной микроструктуры.
6. Выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. При каких увеличениях проводят макроанализ?
2. Что такое макрошлиф?
3. Какие задачи можно решить методами макроанализа?
4. Какие виды хрупкого излома возможны?
5. Какие участки можно различить в усталостном изломе?
6. Для чего проводят глубокое и поверхностное травление?
7. Каким образом определяют общую химическую неоднородность?
8. Какие задачи можно решать с помощью микроанализа?
9. Как приготовить микрошлиф?
10. В чем заключается механизм выявления структуры при травлении?
11. Что такое разрешающая способность микроскопа?
12. Какое изображение дает объектив и окуляр?
13. В чем заключается метод «секущей»? Что определяют с помощью этого метода?

Лабораторная работа № 4. Металлические конструкционные материалы. Определение их механических свойств.

Методические указания служат руководством для студентов и преподавателей при выполнении лабораторной работы "Металлические конструкционные материалы, определение их механических свойств", устанавливающим её цели и задачи, содержание и последовательность выполнения, форму представления результатов, контрольные вопросы. Лабораторная работа является практической частью раздела дисциплин "Технологические процессы машиностроительного производства" и "Технология конструкционных материалов и термообработка".

Лабораторная работа предусматривает самостоятельное выполнение каждым студентом индивидуального задания.

4.1 Цель и задачи лабораторной работы

Работа проводится в целях изучения классификаций металлических конструкционных материалов, обозначения марок конструкционных материалов, нашедших наибольшее применение в машиностроении, их основных свойств.

Задачами работы являются:

1. Освоение основных понятий и определений, относящихся к конструкционным материалам.
2. Изучение видов классификаций по разным признакам.
3. Изучение особенностей в обозначении марок сплавов одинакового химического состава, отличающихся по технологическому исполнению и качеству.
4. Получение практических навыков определения твердости основных видов металлических конструкционных материалов, их прочностных и пластических свойств.

4.2 Теоретические основы работы

Конструкционные материалы - это металлические, неметаллические и композиционные материалы, обладающие комплексом свойств, позволяющих использовать их для изготовления деталей машин, механизмов и сооружений.

4.2.1. Основные свойства металлических конструкционных материалов

При выборе материалов для деталей машин конструктор прежде всего учитывает условия их эксплуатации, заданный ресурс времени безотказной работы, технологичность материала и экономическую целесообразность применения. В зависимости от этого конструктор подбирает материал с учетом его механических, физических, химических, технологических и эксплуатационных свойств.

К основным механическим свойствам относятся: прочность, пластичность, вязкость, упругость, твердость, хрупкость.

Прочность - способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних нагрузок.

Пластичность - способность материала необратимо изменять форму и размеры без разрушения следствии пластической деформации.

Деформация- изменение формы и размеров тела под действием внешних сил или в результате процессов, протекающих в самом, теле.

Вязкость- способность материала, пластически деформируясь, необратимо поглощать энергию внешних сил. Кроме понятия вязкости в технике и науке используют понятие вязкость разрушения.

Вязкость разрушения - способность материала оказывать сопротивление распространению в нем трещин.

Упругость- способность материала восстанавливать форму и размеры тела после снятия нагрузки, вызвавшей деформацию. От упругости зависит жесткость конструкции - способность сопротивляться деформации.

Твердость- способность материала сопротивляться внедрению в него другого более твердого тела, не получающего остаточной деформации при местном контактом воздействии.

Хрупкость- способность материала разрушаться под воздействием внешних сил без пластической деформации.

Физические свойства - это свойства материала, зависящие от внутреннего строения вещества, его атомно-электронной структуры. К физическим свойствам относятся плотность, тепло и электропроводность, коэффициент линейного разрушения, теплоемкость, температура плавления.

От химического состава вещества, атомно-электронного строения зависят его химические свойства. Химические свойства материала проявляются в его способности к химическому взаимодействию с окружающей средой, в возможности образования химических соединений, химических превращений в зоне контакта сочлененных пар или на поверхности изделия при взаимодействии с агрессивной средой. В результате такого взаимодействия происходит поверхностное окисление металла, насыщение его газами, образование ржавчины и т.п.

Технологические свойства - это свойства материала поддаваться различным способам горячей и холодной обработки. К технологическим

свойствам относят литейные свойства, деформируемость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом. Эти свойства материала позволяют производить формоизменяющую обработку, получать заготовки, а из заготовок получают детали машин.

К литейным свойствам относят жидкотекучесть и усадку металлов и сплавов.

Жидкотекучесть- способность жидкого металла течь в каналах литейной формы и заполнять полости формы, образующие отливку.

Усадка - уменьшение объема (линейных размеров) в процессе охлаждения отливки (слитка) в литейной форме. Полная объемная усадка ϵ_v включает объемную усадку в жидком состоянии $\epsilon_{vж}$, объемную усадку при затвердевании $\epsilon_{vз}$, и объемную усадку в твердом состоянии $\epsilon_{vт}$.

$$\epsilon_v = \epsilon_{vж} + \epsilon_{vз} + \epsilon_{vт} \quad (1)$$

Деформируемость- это способность материала принимать заданную форму под действием внешней нагрузки в процессе пластической деформации без разрушения.

Свариваемость- способность материала образовывать прочные неразъемные соединения.

Обрабатываемость- способность материала поддаваться обработке резанием, критериями обрабатываемости являются режимы резания и качество (шероховатость) обработанной поверхности.

Совокупность технологических свойств определяет технологичность материала.

Эксплуатационные свойства - это свойства материала, которые проявляются при эксплуатации изделия в различных условиях работы. К эксплуатационным свойствам относят износостойкость, коррозионную стойкость, хладостойкость, жаропрочность, жаростойкость, антифрикционность и т.п.

4.2.2. Классификация металлических конструкционных материалов

Классифицируют металлические конструкционные материалы по различным признакам: по технологическому исполнению, по основным эксплуатационным характеристикам и назначению, по виду сплава и т.п. На первом этапе изучения металлов и сплавов важно уметь определить по марке к какой группе сплавов они относятся и в каком виде поступают и используются (прокат, отливки и т.п.).

По технологическому исполнению металлические конструкционные материалы подразделяют на деформируемые, литейные и спеченные, что находит отражение в обозначении их марок.

По виду сплава различают: черные металлы и сплавы цветных металлов. Черные металлы: стали и чугуны. Сталь представляет собой многокомпонентный железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2,14 %. Стали делят на углеродистые и легированные. Углеродистые стали: низкоуглеродистые с содержанием углерода до 0,3 %, среднеуглеродистые - от 0,3 до 0,6 % углерода, высокоуглеродистые - более 0,6 % углерода. Легированные стали: низколегированные с общим количеством легирующих элементов до 2,5 %, среднелегированные - от 2,5 до 10,0 %, высоколегированные - содержание легирующих элементов более 10,0 %.

Чугун - многокомпонентный железоуглеродистый сплав с содержанием углерода более 2,14 % и затвердевающий с образованием эвтектики. Основная классификация чугунов - это классификация по степени графитизации. Согласно этой классификации различают: белые чугуны, графитизированные чугуны, половинчатые чугуны.

Графитизированные чугуны: серые чугуны (СЧ), высокопрочные чугуны (ВЧ), ковкие чугуны (КЧ).

Сплавы цветных металлов называют по основному металлу: алюминиевые, магниевые, медные, титановые сплавы и т.п. Их делят: сплавы легких металлов с удельным весом до 4500 кг/м³, сплавы тяжелых металлов с удельным весом более 4500 кг/м³. К легким сплавам относят: алюминиевые, магниевые, титановые, бериллиевые сплавы, к тяжелым сплавам - медные, медно-никелевые, цинковые сплавы, сплавы олова и свинца (баббиты), сплавы благородных металлов (золота, платины, серебра). Сплавы меди с цинком называют латунями, сплавы меди с оловом - оловянными бронзами.

4.2.3 Обозначение марок и область применения основных металлических сплавов

Углеродистая сталь. В зависимости от качества стали делят на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные.

Сталь углеродистая обыкновенного качества ГОСТ 380-94. Выплавляют стали марок Ст0, Ст1кп, Ст1сп, Ст1пс...Ст3кп, Ст3сп, Ст3пс, Ст3Гпс, Ст3Гсп... Ст6пс, Ст6сп. Буквы "Ст" обозначают "сталь", цифры - условный номер марки в зависимости от химического состава стали, буквы марки "кп", "пс", "сп" - степень раскисленности ("кп" - кипящая, "пс" - полуспокойная, "сп" - спокойная). Сталь деформируемая потребителю поставляется в горячекатанном состоянии в виде сортового, фасонного, листового, широкополосного проката, а также в виде поковок, штамповок, труб, ленты и проволоки.

Сталь углеродистая качественная конструкционная ГОСТ 1050-88. Стандарт включает 24 марки стали от 05 кп, 08 кп, 08 пс, 08 ... 10, 15, 20... 40, 45, 50 ... до 58 (55пп), 60. В обозначении марки цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы марки "кп" - стали кипящая, "пс" - полуспокойная, спокойные стали - без индекса, буквы в марке 55пп "пп" - сталь повышенной прокаливаемости. Сталь деформируемая, используется в виде сортового, листового проката, а также в виде поковок. Из сталей с низким содержанием углерода марок 08пс, 10пс, 15пс, 20пс производят листовой прокат для холодной штамповки. Пример условного обозначения сортового проката: сталь горячекатанная, полосовая, толщиной 36 мм и шириной 90 мм по ГОСТ 103-76, марки 45, термически обработанной - Т, для холодной механической обработки - подгруппы "б", категории 4:

$$\text{Сталь} = \frac{36 \times 90 - \text{ГОСТ} 103 - 76}{45 - \text{Т} - \text{б} - 4 - \text{ГОСТ} 1050 - 88}, \quad (2)$$

Сталь легированная конструкционная ГОСТ 4543-71. Настоящий стандарт распространяется на все виды проката, поковки и штамповки из легированной конструкционной стали. В зависимости от основных легирующих элементов сталь делится на группы: хромистая, марганцовистая, хромомолибденовая и т.п.

Примеры обозначения марок: 15Х, 35Г2, 15ХМ, 20ХН3А, 15ХГБ2ТА и т.п. В обозначении марок первые две цифры указывают среднюю массовую долю углерода в сотых долях процента, буквы за цифрами обозначают: Х - хром, Г - марганец, Н - никель, Т - титан, Р - бор, Ю - алюминий, С - кремний, Ф - ванадий, М - молибден, В - вольфрам, А - азот. Цифры, стоящие после букв, указывают примерную массовую долю легирующего элемента в процентах. Отсутствие цифры означает, что в стали содержится до 1,5 % этого легирующего элемента. Буква "А" в конце марки означает "высококачественная сталь", буква "А" в середине марки - сталь, легированная азотом.

Пример условного обозначения сортового проката: сталь калиброванная, круглая, диаметром 15 мм, класс точности 4 по ГОСТ 7417-75 марки 40Х2МА, качества поверхности группы Б по ГОСТ 1051-73, с контролем механических свойств М, нагартованная Н:

$$\text{Сталь} = \frac{15 - 4 - \text{ГОСТ} 7417 - 75}{40 \text{Х} 2 \text{МА} - \text{ГОСТ} 1435 - 74}, \quad (3)$$

Сталь нелегированная инструментальная ГОСТ 1435-74. Настоящий

стандарт распространяется на углеродистую инструментальную горячекатаную, кованную, калиброванную сталь, сталь со специальной отделкой поверхности марок У7, У7А, У8, У8А ... У12, У12А, У13, У13А. Буквы и цифры в обозначении марок стали означают: У - углеродистая, следующая за буквой цифра - средняя массовая доля углерода в десятых долях процента, А - сталь высококачественная. Используется в виде сортового проката и поковок. Пример условного обозначения поставляемой стали: сталь горячекатаная круглая диаметром 20 мм, обычной точности прокатки В, по ГОСТ 2590-71, марки У8А, 5-й группы, балл прокаливаемости 3, для холодной механической обработки:

$$\text{Сталь} = \frac{20 - В - \text{ГОСТ} 2590 - 71}{08А - 5 - 3 - \text{КП} - \text{ГОСТ} 1435 - 74}, \quad (4)$$

Литейные стали. Требования к легированным и нелегированным конструкционным литейным сталям устанавливает ГОСТ 977-88. Согласно стандарту в обозначение марок вводят букву Л. Например, 25Л, 20ГСЛ, 12Х7ГЗСЛ. Цифры и буквы русского алфавита в марке указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента – первые две цифры, легирующий элемент, его массовую долю в процентах - цифра за буквой, буква Л - сталь литейная.

Чугун. Используют только как литейный сплав для получения отливок. Наибольшее применение нашли графитизированные чугуны.

Серый чугун ГОСТ 1412-85. Для серого чугуна характерна пластинчатая форма графита. В стандарт включены шесть марок чугунов СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35. Буквы марки "СЧ" означают серый чугун, цифры - временное сопротивление разрушению при растяжении в кгс/мм². Например, чугун марки СЧ35 должен иметь $\sigma_B = 20$ кгс/мм² или $\sigma_B = 200$ МПа. Серый чугун - хрупкий материал, имеет среднюю твердость порядка НВ 1490...1970 МПа, хорошо обрабатывается резанием обладает хорошими литейными свойствами, Серый чугун нашел широкое применение в станкостроении (станины, суппорты, бабки и т.п.), авто- и тракторостроении (блоки цилиндров, поршневые кольца, тормозные барабаны и т.п.), дизелестроении и других отраслях промышленности.

Высокопрочный чугун. В ГОСТ 7293-85 включены следующие марки: ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100. Цифры за буквами ВЧ - высокопрочный чугун означают временное сопротивление разрушению при растяжении. Например, чугун марки ВЧ 60 должен иметь $\sigma_B = 60$ кгс/мм² или $\sigma_B = 600$ МПа. Для высокопрочного чугуна характерна шаровидная форма графита, получают его путем модифицирования низкозернистого серого чугуна чистым магнием или магнийсодержащими добавками. Высокопрочный чугун нашел широкое применение в

автомобилестроении (коленчатые и распределительные валы, шестерни различных механизмов, блоки цилиндров и т.п.), тяжелом машиностроении (детали турбин, прокатные валки, шаботы молотов и т.п.), транспортном, сельскохозяйственном машиностроении (шестерни и звездочки, диски муфт, различного рода рычаги, опорные катки и т.п.) и во многих других отраслях.

Ковкий чугун. Получают его путем отжига белого чугуна, в результате образуется хлопьевидная форма графита. ГОСТ 1512-79 устанавливает требования к II маркам ковкого чугуна от КЧ 30-6, КЧ 38-8, КЧ 35-10 до КЧ 65-3, КЧ 70-2, КЧ 80-1,5. Цифры за буквенным обозначением ковкого чугуна КЧ означают: первая группа цифр - временное сопротивление разрушению при растяжении (σ_b в кгс/мм²), вторая группа цифр - относительное удлинение (δ в %). Например, чугун марки КЧ 65-3 должен иметь $\sigma_b = 65$ кгс/мм² (650 МПа) и $\delta = 3$ %. Ковкие чугуны применяют в сельскохозяйственном машиностроении (шестерни, ступицы, рычаги и т.п.), авто- и тракторостроении (задние мосты, ступицы, тормозные колодки, рычаги, катки и т.п.), вагоно- и судостроении (кронштейны, детали тормозной системы, детали сцепки и т.п.), для изготовления санитарно-технического и строительного оборудования.

Сплавы меди. Наиболее распространенными и известными являются латуни и бронзы.

Латунь - сплав меди с цинком. Наибольшее применение нашли латуни, содержащие до 38 % цинка. Эти латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, коррозионностойки. К деформируемым латуням относят латуни марок Л96 ...Л60, ЛК80-3 и др. Буквы и цифры в обозначении марок означают: Л - латунь, последующие цифры - массовую долю меди в процентах, остальное - цинк. Например, латунь марки ЛК80-3 содержит: 80 % меди, 3 % кремния, остальное - цинк.

Литейные латуни согласно ГОСТ 17771-80 имеют сложный химический состав, по марке можно судить о составе латуней. В промышленности используют 8 марок литейных латуней ЛЦ40С; ЛЦ40Мц1,5; ЛЦ40Мц3Ж; ЛЦ23А6Ж3Мц2 и др. Например, латунь марки ЛЦ40Мц3Ж содержит в среднем 40 % цинка, 3 % марганца, 1 % железа, остальное - медь. Все добавляемые к латуни элементы обозначают буквами русского алфавита: О - олово, Ц - цинк, С - свинец, Ж - железо, Мц - марганец, Н - никель, К - кремний, А - алюминий. Из латуней изготавливают санитарно-техническое оборудование, сепараторы шариковых и роликовых подшипников, литые гребные винты, лопасти гребных винтов, антифрикционные детали.

Бронза - сплав меди с оловом (оловянные бронзы) или другими элементами (безоловянные бронзы). Различают бронзы деформируемые и литейные. В обозначении марок деформируемых бронз последовательно указывают буквами русского алфавита элементы, входящие в их состав; О - олово, Д - алюминий, Ф - фосфор, С - свинец, Ц - цинк, К - кремний и т.п. За буквами указывают массовую долю этих элементов в процентах. Например,

бронза Бр ОЦС 4-4-2,5. Марка указывает Бр - бронза, буквы ОЦС - соответственно элементы; олово, цинк, свинец; группа цифр - среднюю долю каждого из этих элементов: 4 % Sn , 4 % Zn , 2,5 % Pb.

В отличие от деформируемых бронз в марках литейных бронз содержание каждого элемента указывают непосредственно за его буквенным обозначением. Например, по марке Бр 06Ц6С3 можно судить о следующем: сплав - бронза оловянная литейная, содержащая в среднем 6 % Sn , 6 % Zn, 3 % Pb, остальное - медь.

Большинство современных бронз редко содержит более 7 % Sn. Олово дороже и дефицитнее меди. Поэтому при изготовлении бронз широко используют заменители олова и получают безоловянные бронзы. Например, бронза марки Бр АЖМц10-3-1,5 содержит в среднем 10 % алюминия, 3 % железа, 1,5 % марганца, остальное - медь.

Бронзы имеют малый коэффициент трения и устойчивы к износу. Из них изготавливают вкладыши подшипников, червячные колеса, шестерни и т.п. Сплавы алюминия. Деформируемые алюминиевые сплавы поступают потребителю в виде листов, лент, полос, плит, профилей, прутков, труб, проволоки, штамповок и поковок. Эти сплавы имеют невысокие прочностные свойства, но очень пластичны (δ до 40 %). К ним относятся сплавы алюминия с марганцем, магнием, медью и другими элементами, марки которых указаны в ГОСТ 4784-74. Наибольшее применение нашли сплавы марок АМг2, АМг5, АМц, Д18 и др. Буквы марки обозначают: А - алюминий, Мг - магний, Мц - марганец. Цифра после обозначения элемента - его средняя массовая доля в процентах.

Сплав марки Д18 относится к группе дуралюминов - сплавов на основе Al-Cu-Mg . Он содержит 2,2-3,0 % Cu, 0,2-0,5 % Mg. Дуралюмины хорошо деформируются и в горячем и в холодном состояниях.

Литейные алюминиевые сплавы маркируют двумя буквами АЛ и цифрой, которые обозначают: А - алюминиевый сплав, Л - литейный, цифра за буквами - условный номер марки по ГОСТ 1583-89. Например, сплав АЛ2 согласно стандарту относится к сплавам системы Al-Si - которые называют силуминами. Он содержит 10-13 % Si, имеет высокую жидкотекучесть и малую усадку, устойчив против коррозии.

Сплавы магния. Деформируемые магниевые сплавы поступают к потребителю в виде листов, прутков, труб и т.п. Слитки для обработки металлов давлением изготавливают из магниевых сплавов в чушках ГОСТ 2581-78. Требования к деформируемым магниевым сплавам определяет ГОСТ 14957-76. Наибольшее применение нашли деформируемые магниевые сплавы с алюминием, марганцем, маркируемые МА. Например, сплав; МА8 с небольшой добавкой марганца обладают высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и коррозионной стойкостью. Буквы и цифры марки обозначают: М - магниевый сплав, А - алюминий, цифра за буквой - его средняя массовая доля в процентах.

Марки магниевых литейных сплавов и их химический состав определяет ГОСТ 2856-79. В него включены 14 марок сплавов от МЛЗ до МЛ19.

Буквы и цифры марки обозначают: М - магниевый сплав, Л - литейный, цифра за буквами - условный номер марки.

Наибольшее применение нашли сплавы магния, содержащие алюминий. Это сплавы марок МЛЗ, МЛ4, МЛ5, МЛ6. Например, сплав марки МЛ4 содержит: 5,0-7,0 % Al , 0,15-0,5 % Mn, 2,0-3,5 % Zn . В жаропрочные магниевые сплавы вводят ниодим в количестве 2,2-2,8 %.

Благодаря малой плотности и высокой удельной прочности магниевые сплавы используют в приборостроении, транспортном машиностроении, самолетостроении и других отраслях промышленности,

4.3 Определение прочностных и пластических свойств металлов и сплавов, их твердости

4.3.1 Методика испытаний

Механические свойства металлов и сплавов - это величины, полученные при стандартизованных механических испытаниях образцов и характеризующие сопротивляемость материалов пластической деформации и разрушению при заданных условиях испытаний.

Основными видами механических испытаний являются испытания на растяжение, изгиб, определение твердости, испытания на удар, усталостную выносливость.

Испытания на растяжение проводят по схеме, показанной на рисунке 1. Образец обычного круглого сечения с диаметром d_0 (мм) и расчетной длиной l_0 (мм) устанавливают в захваты разрывной машины и начинают растягивать до разрушения, постепенно увеличивая нагрузку $P(N)$. Машина вычерчивает кривую растяжения (рисунок 2) в координатах "P- Δl ", где P - усилие, Δl - деформация, которая позволяет определить усилие на образец в момент появления площадки текучести P_T и максимальное усилие P_B . При усилии P_T образец пластически деформируется. По величине определяют предел текучести σ_T :

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}, \quad (2)$$

где F_0 – первоначальная площадь сечения образца, м²

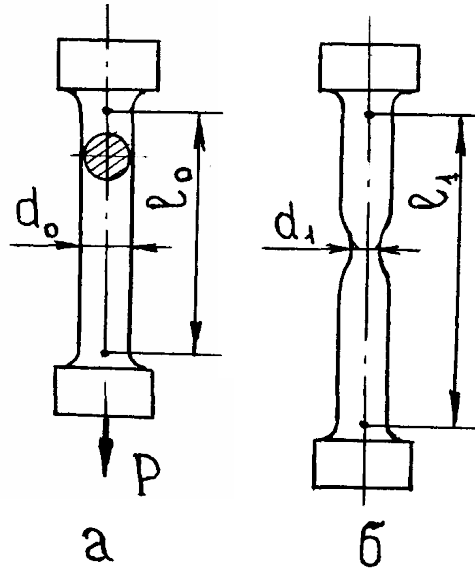


Рисунок 1 – Схема испытаний на растяжение; а - образец до испытаний; б - после испытаний

Предел текучести σ_T характеризует сопротивляемость материала пластической деформации. При максимальной нагрузке P_B начинается разрушение образца. По величине P_B определяют временное сопротивление разрушению при растяжении (предел прочности) σ_B :

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}, \quad (3)$$

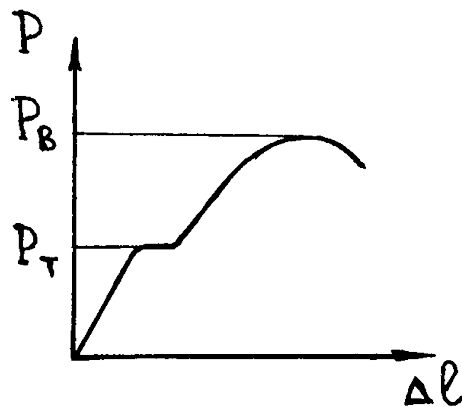


Рисунок 2 - Диаграмма растяжения образцов пластичных материалов

Предел прочности σ_B характеризует сопротивляемость материала разрушению.

При испытаниях на растяжение определяют и пластические свойства металлов и сплавов, которые характеризуются относительным удлинением δ и относительным сужением ψ .

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\% \quad (4)$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\% \quad (5)$$

где l_0 - первоначальная длина образца, мм;
 l_1 - длина образца после разрушения, мм;
 F_0 - первоначальная площадь сечения образца, м²;
 F_1 - площадь сечения образца в месте образования "шейки", м².

Определение твердости по Бринеллю производят путем вдавливания стального шарика диаметром 10 мм в испытуемый материал (рисунке 3).

Твердость определяют по формуле

$$HB = P/F, \text{ МПа} \quad (6)$$

где: P - усилие вдавливания шарика H ;
 F - площадь поверхности отпечатка, м², которая зависит от диаметра отпечатка d . Если усилие P постоянно, то твердость HB зависит только от d . Определив диаметр отпечатка, по таблицам определяют и твердость HB .

Рисунок 3 - Схема определения твердости по Бринеллю

4.3.2 Определение предела прочности, относительного удлинения и твердости различных материалов

По описанной выше методике, проведены испытания на растяжение семи образцов из чугуна, стали, сплавов цветных металлов, проведены испытания этих материалов на твердость по Бринеллю, определены усилия разрушения. Задача студентов заключается по представленным им пронумерованным образцам для каждого материала определить σ_B , δ , HB и полученные расчетные данные вписать в таблицу 1, в которой приведены необходимые для расчетов исходные данные. Для этого студентам необходимо установить F_0 , l_1 и d . Первоначальный диаметр образцов d_0 и их длину после разрушения l_1 студенты определяют с помощью штангенциркуля по точкам на цилиндрической части образцов. Расчеты ведутся по формулам (2) и (3). Для измерения диаметра отпечатка d студенты используют специальную лупу. В зависимости от диаметра отпечатка d по таблице 2 студенты определяют твердость материалов HB.

После заполнения таблицы 1 студенты должны установить материал образцов. Для этого необходимо сравнить полученные результаты с данными, приведенными в таблице 3.

4.4 Техника безопасности

При проведении лабораторной работы студенты и обслуживающий персонал должны выполнять все пункты "Инструкции по технике безопасности", действующие в лабораториях кафедры.

При испытаниях образцов на разрывной машине и прессе Бринелля студенты обязаны соблюдать правила техники безопасности, предусмотренные инструкциями при работе на этих приборах.

К выполнению работы студенты приступают только после инструктажа по технике безопасности, который проводит ведущий преподаватель.

4.5 Содержание отчета

В отчете по лабораторной работе должны быть следующие разделы:

1. Теоретические основы работы.
2. Результаты работы.

В 1-м разделе студенты описывают основные принципы классификации конструкционных материалов, механические свойства металлических материалов, указывают отличия в обозначении марок, деформируемых и литейных сплавов, определяют о каких свойствах сплава можно судить по его марке. Во 2-м разделе студенты описывают методику определения предела прочности, относительного удлинения материалов, представляют заполненную ими таблицу 1, описывают как и по каким признакам они определили вид сплава.

Таблица 1 - Результаты испытания образцов

№ п/п	Результаты испытания образцов на растяжение					Диаметр отпечатка при опреде- лении твердости по Бриннелю d, мм	Механические свойства материала			Материал
	Усилие на растяжение	Начальный диаметр ра- бочей части d ₀ , мм	Начальная площадь сечения F ₀ , м ²	Начальная расчетная длина l ₀ , мм	Конечная расчетная длина l ₁ ,мм		Предел прочности σ _в , МПа	Относитель ное удлине- ние δ, %	Твердость НВ, МПа	
1	23750			100						
2	17700			100						
3	10500			100						
4	14350			100						
5	6550			100						
6	21500			100						
7	12700			100						

Таблица 2 - Твердость по Бринеллю (НВ) в зависимости от диаметра отпечатка

Диаметр отпечатка, мм	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,0	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70
Твердость НВ, МПа	6010	5550	5140	4770	4440	4150	3880	3630	3410	3210	3020	2850	2690
Диаметр отпечатка, мм	3,80	3,85	3,90	3,95	4,0	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,30	4,35	4,40
Твердость НВ, МПа	2550	2480	2410	2350	2300	2230	2170	2120	2070	2020	1960	1920	1870
Диаметр отпечатка, мм	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70	4,75	4,80	4,85	4,90	4,95	5,00	5,05
Твердость НВ, МПа	1830	1790	1740	1700	1660	1630	1590	1570	1500	1490	1460	1430	1400
Диаметр отпечатка, мм	5,10	5,15	5,20	5,25	5,30	5,35	5,40	5,45	5,50	5,55	5,60	5,65	5,70
Твердость НВ, МПа	1370	1340	1310	1280	1260	1240	1210	1180	1160	1140	1120	1090	1070
Диаметр отпечатка, мм	5,80	5,90	6,00	6,10	6,20	6,30	6,40	6,50	6,60	6,70	6,80	6,90	7,00
Твердость НВ, МПа	1030	990	945	920	887	856	823	795	768	741	716	692	650

Таблица 3 - Значение, механические и технологические свойства некоторых металлических конструкционных материалов

Материал	Физические свойства		Механические свойства			Технологические свойства			
	Удельный вес, γ кг/м ³	Температура плавления, t °С	Предел прочности и σ_B , МПа	Твердость НВ, МПа	Относительное удлинение δ , %	Литейные	Деформируемость	Свариваемость	Обрабатываемость
Сталь	7700-7900	1450-1539	400-900	1500-2700	24-10	удовл.	хор.	хор.	хор.
Серый чугун	6800-7400	1100-1200	100-400	1200-2900	1-0,1	хор.	-	плох.	хор.
Латунь	8300-8600	880-920	220-450	600-1600	20-6	удовл.	хор.	плох.	удовл.
Техническая медь	8940	1083	200-250	700	40-30	-	хор.	плох.	удовл.
Оловянная бронза	8600-9400	930-1015	147-206	450-900	10-3	хор.	удовл.	плох.	хор.
Дюралюмин	2750-2800	547-550	300-490	600-850	24-6,5	-	хор.	удовл.	удовл.
Силумин	2500-2890	535-577	137-334	500-950	4-1	хор.	-	удовл.	пониж.

Контрольные вопросы

1. Что такое конструкционные материалы?
2. Какие свойства характеризуют конструкционные материалы?
3. Что такое прочность, пластичность, твердость?
4. Что включает понятие "технологичность" конструкционных материалов?
5. Как различают металлические материалы по технологическому исполнению?
6. Дать характеристику сталям по марке Ст.Зсп, Сталь 20, 20Л. Стали с одинаковой массовой долей углерода. В чем их различие?
7. Дать характеристику чугунам по марке: СЧ30, ВЧ50, КЧ35-10.
8. Какие величины характеризуют прочностные свойства материалов?
9. Какие величины характеризует пластические свойства материалов?
10. Что такое предел прочности, предел текучести? Что они характеризуют?
11. Какие исходные данные необходимы для определения σ_B , δ , НВ?

Лабораторная работа №5 Изучение диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов

5.1 Цель лабораторной работы - изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов. Разобраться с превращениями, происходящими в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве.

5.2 Приборы и материалы

Диаграмма состояния системы Fe – Fe₃C.
Фотографии микроструктур железоуглеродистых сплавов.

5.3 Основные положения

Диаграмма железоуглеродистых сплавов может быть представлена в двух вариантах: метастабильном, отражающем превращения в системе «железо-карбид железа», и стабильном, отражающем превращения в системе «железо-графит». Наибольшее практическое значение имеет диаграмма состояния «железо-карбид железа», т.к. для большинства технических сплавов превращения реализуются по этой диаграмме.

Карбид железа (Fe₃C) называют цементитом, поэтому метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют диаграммой состояния «железо-цементит» (Fe-Fe₃C).

Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

Основными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод, которые относятся к полиморфным элементам. В железоуглеродистых сплавах эти элементы взаимодействуют, образуя различные фазы. Под фазой в общем смысле понимается однородная часть системы, имеющая одинаковый химический состав, физические свойства и отделенная от других частей системы поверхностью раздела. Взаимодействие железа и углерода состоит в том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твердом состоянии. Помимо этого он может образовывать с железом химическое соединение. Таким образом в железоуглеродистых сплавах могут образовываться следующие фазы: жидкий раствор, аустенит, феррит, цементит.

Аустенит (обозначают А или γ) – твердый раствор внедрения углерода в Fe γ . Имеет ГЦК – решетку, растворяет углерода до 2,14 %, немагнитен, твердость (НВ 160-200).

Феррит (обозначают Ф или α) – твердый раствор внедрения углерода в Fe α . Имеет ОЦК – решетку, растворяет углерода до 0,02 % (727 °С),

при 20 °С менее 0,006 %, ферромагнитен до температуры 769 °С, твердость (НВ 80-100).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (Fe_3C). Содержит 6,67 % С. При нормальных условиях цементит тверд (НВ 800) и хрупок. Слабо ферромагнитен до 210 °С.

Превращения в железоуглеродистых сплавах

Диаграмма состояния Fe- Fe_3C (рис. 1) показывает фазовый состав и превращения в сплавах с концентрацией от чистого железа до цементита.

Превращения в железоуглеродистых сплавах происходит как при кристаллизации (затвердевании) жидкой фазы (Ж), так и в твердом состоянии.

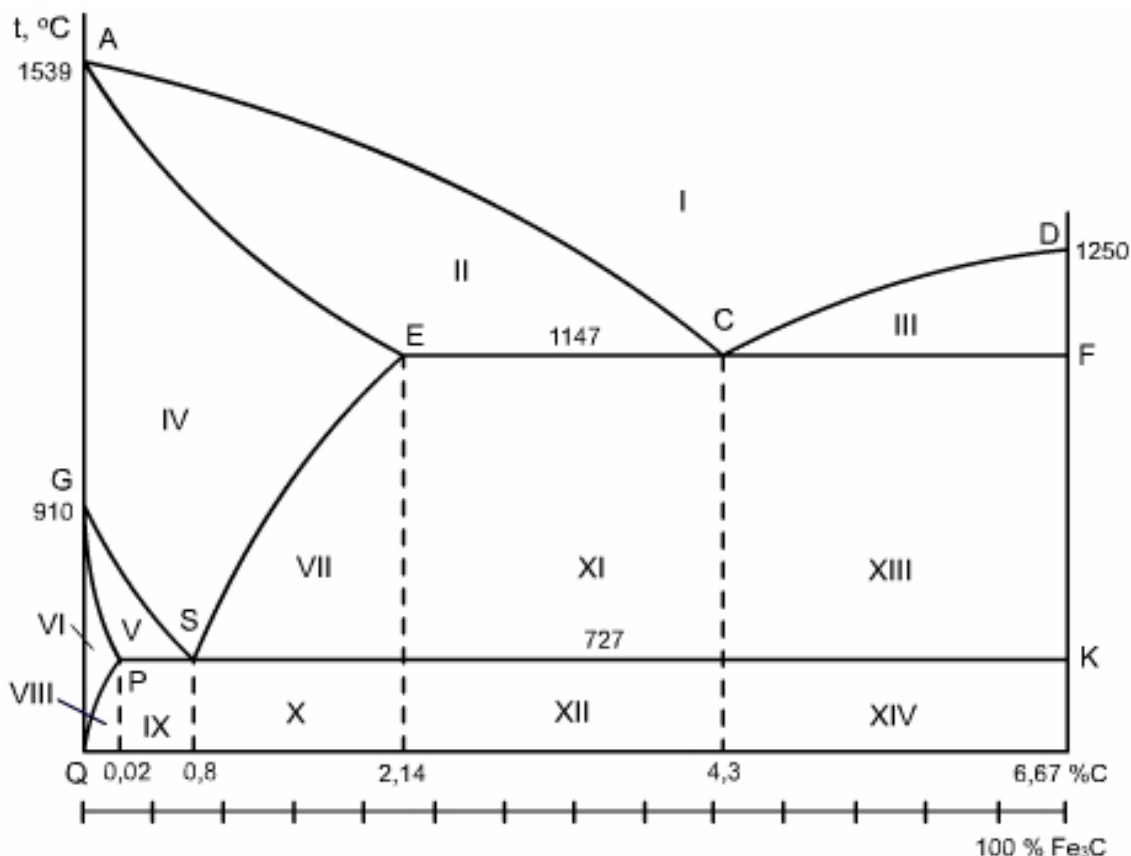


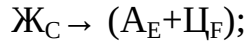
Рисунок 1 - Диаграмма состояния Fe – Fe₃C (в упрощенном виде).

Первичная кристаллизация идет в интервале температур, ограниченных линиями ликвидус (ACD) и солидус (AECF).

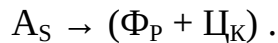
Вторичная кристаллизация происходит за счет превращения железа одной аллотропической модификации в другую и за счет изменения растворимости углерода в аустените и феррите, которая уменьшается

с понижением температуры. Избыток углерода выделяется из твердых растворов в виде цементита. В сплавах системы Fe-Fe₃C происходят следующие изотермические превращения:

Эвтектическое превращение на линии ECF (1147 °C)



Эвтектоидное превращение на линии PSK (727 °C)



Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется **ледебуритом** (Л), а эвтектоидная смесь феррита и цементита – **перлитом** (П). Ледебурит содержит 4,3 % углерода. При охлаждении ледебурита ниже линий PSK входящий в него аустенит превращается в перлит и при нормальной температуре ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита и называется ледебуритом превращенным (Л пр). Цементит в этой структурной составляющей образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита объясняет его большую твердость (HB 700) и хрупкость.

Перлит содержит 0,8 % углерода. В зависимости от формы частичек цементит бывает пластинчатый и зернистый. Является прочной структурной составляющей с твердостью (HB210).

Линии диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Линии диаграммы представляют собой совокупность критических точек сплавов с различным составом, характеризующих превращения в этих сплавах при соответствующих температурах.

Рассмотрим значение линий диаграммы при медленном охлаждении.

ACD – линия ликвидус. Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии.

AECF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

AC – из жидкого раствора выпадают кристаллы аустенита.

CD – линия выделения первичного цементита.

AE – заканчивается кристаллизация аустенита.

ECF – линия эвтектического превращения.

GS – определяет температуру начала выделения феррита из аустенита (910-727 °C).

GP – определяет температуру окончания выделения феррита из аустенита.

PSK – линия эвтектоидного превращения.

ES – линия выделения вторичного цементита.

PQ – линия выделения третичного цемента.

Области диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Линии диаграммы: делят все поле диаграммы на области равновесного существования фаз. Каждой области диаграммы соответствует определенное структурное состояние, сформированное в результате происходящих в сплавах превращений.

- I – Жидкий раствор (Ж).
- II – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы аустенита (А).
- III – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы цемента первичного (Ц_I). IV – Кристаллы аустенита (А).
- V – Кристаллы аустенита (А) и феррита (Ф). VI – Кристаллы феррита (Ф).
- VII – Кристаллы аустенита (А) и цемента вторичного (Ц_{II}). VIII – Кристаллы феррита (Ф) и цемента третичного (Ц_{III}). IX – Кристаллы феррита (Ф) и перлита (П).
- X – Кристаллы перлита (П) и цемента вторичного (Ц_{II}).
- XI – Кристаллы аустенита (А), ледебурита (Л) и цемента вторичного (Ц_{II}).
- XII – Кристаллы перлита (П), цемента вторичного (Ц_{II}) и ледебурита превращенного (Л пр).
- XIII – Кристаллы ледебурита и цемента первичного (Ц_I).
- XIV – Кристаллы цемента первичного (Ц_I) перлита (П) и ледебурита превращенного (Л пр).

5.4 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма состояния Fe – Fe₃C с обозначением фаз и структурных составляющих по всем областям диаграммы.
4. Характеристика линий и структурных составляющих железородистых сплавов.

5. Подробное описание изменений структуры при медленном охлаждении контрольного сплава. (Фрагмент диаграммы с контрольным сплавом).
6. Схема микроструктуры контрольного сплава при нормальной температуре.
7. Выводы.

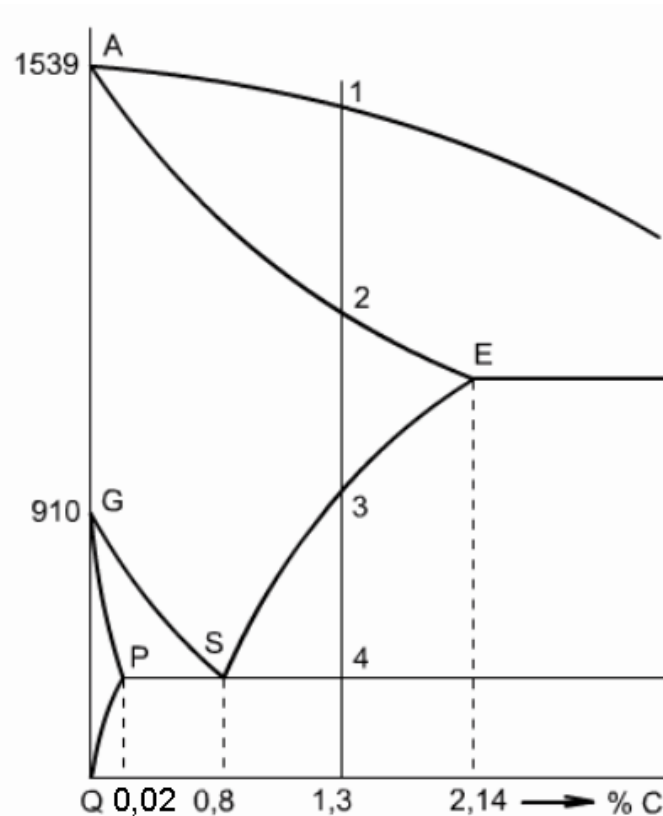


Рисунок 2 - Фрагмент диаграммы состояния Fe – Fe₃C с нанесенной ординатой состава сплава, содержащего 1,3 % С.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое фаза?
2. Что такое аустенит?
3. Что такое феррит?
4. Что такое цементит?
5. Какими линиями диаграммы ограничивается температурный интервал первичной кристаллизации?
6. В чем состоит сущность эвтектического превращения?
7. В чем состоит сущность эвтектоидного превращения?
8. Что такое ледебурит?
9. Что такое перлит?
10. На какой линии происходят эвтектические превращения?
11. На какой линии происходят эвтектоидные превращения?
12. Линия выделения первичного цементита?
13. Линия выделения вторичного цементита?
14. Линия выделения третичного цементита?
15. Назовите фазы железоуглеродистых сплавов.
16. Максимальное растворение углерода в Fe α ?
17. Максимальное растворение углерода в Fe γ ?

18. Содержание углерода в цементите?
19. При какой температуре происходит эвтектическое превращение?
20. При какой температуре происходит эвтектоидное превращение?

Варианты контрольных сплавов

№ п/п	% С	№ п/п	% С	№ п/п	% С
1	0,2	11	5,1	21	1,2
2	1,1	12	2,8	22	3,5
3	3,0	13	1,1	23	4,3
4	4,3	14	0,45	24	5,5
5	5,0	15	1,7	25	0,15
6	0,02	16	1,0	26	0,8
7	0,35	17	4,5	27	0,9
8	0,8	18	2,7	28	2,4
9	1,3	19	0,7	29	4,7
10	2,5	20	0,4	30	1,2

Лабораторная работа №6 Инструментальные стали

6.1 Цель лабораторной работы - изучить назначение, классификацию, маркировку и режимы термической обработки инструментальных сталей.

6.2 Приборы и материалы

Металлографические микроскопы, образцы инструментальных сталей, атлас микроструктур.

6.3 Основные положения

По назначению инструменты делятся на формообразующие и измерительные. Формообразующие инструменты подразделяются на режущие (резцы, фрезы, сверла, развертки), давящие (штампы, накатки) и ударные (зубила, пробойники). В свою очередь различают штампы холодного и горячего деформирования металлов («холодные» и «горячие» штампы).

Режущие инструменты, работающие в условиях больших нагрузок, высоких температур и трения, должны удовлетворять ряду особых эксплуатационных требований: твердость материала режущей части инструмента должна значительно превышать твердость материала заготовки, высокая прочность обеспечивает сопротивляемость инструмента деформациям в процессе резания, а достаточная вязкость материала инструмента позволяет ему воспринимать ударные динамические нагрузки, возникающие при обработке заготовок. Поскольку в процессе резания механическая энергия превращается в тепловую, режущая кромка инструмента нагревается до высоких температур.

Сталь в штампах испытывает значительные тепловые и ударные нагрузки, распределенные по значительной поверхности. Здесь наилучшей сталью является та, у которой при температурах, соответствующих условиям работы штампа, наблюдается оптимальное сочетание твердости и пластичности.

Условия работы измерительного инструмента приближаются к условиям работы режущего инструмента при легких режимах резания, различие состоит лишь в значительно меньших удельных давлениях на рабочие поверхности. Для разных видов инструмента применяют инструментальные стали разного типа.

Инструментальными сталями называют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, применяемые для изготовления режущих, измерительных инструментов и штампов.

Одной из главных характеристик инструментальных сталей является теплостойкость (или красностойкость), то есть устойчивость против отпуска при нагреве инструмента в процессе работы. Различают инструментальные стали, не обладающие теплостойкостью (углеродистые и легированные стали, содержащие до 3 – 4 % легирующих элементов), полутеплостойкие (содержащие свыше 0,6 – 0,7 %С и 4 – 3 %Cr) и теплостойкие (высоколегированные стали ледебуритного класса, содержащие Cr, W, V, Mo, Co), получившие название быстрорежущих.

Основным элементом, определяющим высокую износостойкость инструментальных сталей, является углерод, так как твердость, а следовательно и износостойкость инструмента после термообработки зависит от содержания углерода в мартенсите. Наличие легирующих элементов в значительной степени влияет на прокаливаемость стали, а также увеличивает стабильность мартенсита при нагреве закаленной стали.

Углеродистые инструментальные стали (У7, У8Г, У12А, У8ГА) маркируют буквой У (углеродистая): следующая за ней цифра – средняя массовая доля углерода в десятых доля процента, буква Г говорит о повышенном содержании марганца в данной стали, А – высококачественная, т.е. более чистая по сере и фосфору сталь.

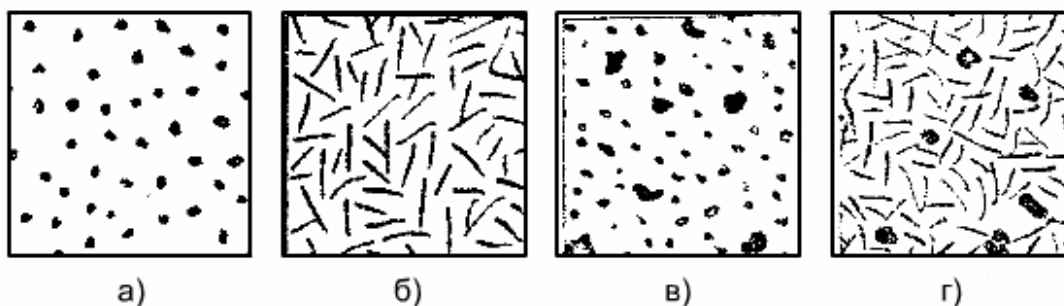


Рисунок 1 - Схема микроструктуры углеродистых инструментальных сталей: а) Сталь У8 после отжига – перлит зернистый; б) Сталь У8 после закалки и низкого отпуска – мартенсит отпуска; в) Сталь У12 после отжига – перлит зернистый + цементит вторичный г) Сталь У12 после закалки и низкого отпуска – мартенсит отпуска + цементит вторичный.

Доэвтектоидные и эвтектоидные инструментальные стали в исходном (отожженном) состоянии имеют структуру зернистого перлита (рис. 1). В структуре заэвтектоидных сталей дополнительно присутствует вторичный цементит. Стали с такой структурой имеют низкую твердость и хорошо обрабатываются резанием. Температура закалки у доэвтектоидных сталей должна быть выше верхней критиче-

ской точки A_{c3} ($t = A_{c3} + 20 - 40$), °С, а у эвтектоидных и заэвтектоидных выше нижней критической точки A_{c1} ($t = A_{c1} + 20 - 40$), °С, чтобы в результате закалки сталь получила мартенситную структуру. У заэвтектоидных сталей при этом сохраняется вторичный цементит. Закалку проводят в воде или в водных растворах солей. После закалки инструментальные углеродистые стали подвергаются низкому отпуску при 150 – 170 °С (рис. 2), снимающего значительную часть закалочных напряжений при сохранении высокой твердости. Формируется структура мартенсит отпуска. У заэвтектоидных инструментальных сталей в структуре дополнительно присутствует вторичный цементит (рис. 1). Поскольку углеродистые стали обладают низкой прокаливаемостью, из них изготавливают в основном инструмент небольшой толщины (напильники, ножовочные полотна, хирургический инструмент).

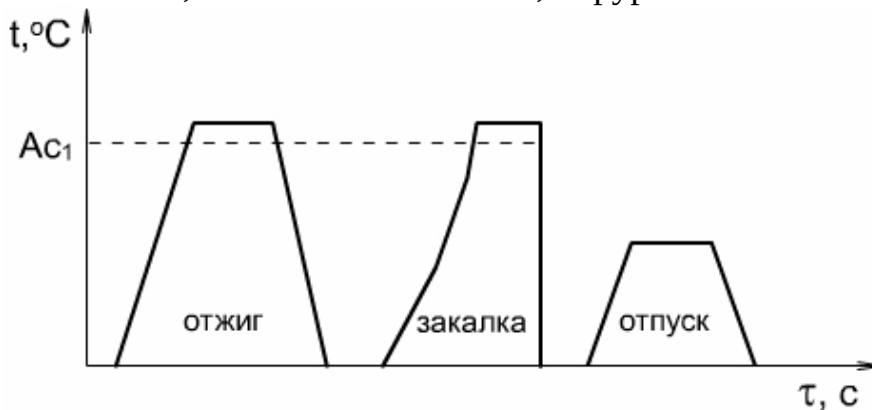


Рисунок 2 - График термической обработки заэвтектоидной инструментальной стали.

Углеродистые стали можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания материалов с низкой твердостью и с малой скоростью резания, так как при нагреве выше 190 – 200 °С их твердость резко снижается.

Легированная инструментальная сталь (Х, 9Х, 9ХС, 6ХВГ) производится в основном высококачественной, поэтому буква А в конце марки не ставится. Цифра в начале марки показывает среднюю массовую долю углерода в десятых долях процента. Если содержание углерода около 1 %, то цифра обычно отсутствует. Буквы означают легирующие элементы: А (внутри марки) – азот, В – вольфрам, Г – марганец, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром. Цифры, стоящие после букв, показывают среднюю массовую долю легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие цифры после буквы означает, что содержание этого легирующего элемента находится в пределах от 0,1 до 1 %. Легированные инструментальные стали подобно углеродистым не обладают теплоустойчивостью и пригодны только для резания относительно мягких ма-

териалов с небольшой скоростью. Их используют для инструмента, не подвергаемого в работе нагреву свыше 200 – 250 °С. Легированные стали обладают большей прокаливаемостью, чем углеродистые.

Низколегированные стали (11Х, 13Х) рекомендуются для инструментов диаметром до 15 мм, а стали повышенной прокаливаемостью (9ХС, ХВСГ) имеют большую теплостойкость (250 – 280) °С, хорошие режущие свойства и сравнительно мало деформируются при закалке. Их используют для изготовления инструментов диаметром 60 – 80 мм.

Окончательная термическая обработка легированных сталей состоит из неполной закалки и низкого отпуска, подобно углеродистым (рисунок 2).

При неполной закалке изделие нагревают до $t = A_{c1} + (30 - 50) \text{ } ^\circ\text{C}$, выдерживают и быстро охлаждают в масле или горячих средах, что уменьшает их коробление по сравнению с углеродистыми, охлаждаемыми в воде. Низкий отпуск проводят при температуре 150 – 180 °С.

Структура инструментальных легированных сталей после окончательной термической обработки состоит из отпущенного легированного мартенсита и легированного зернистого цементита, т.е. она качественно подобна структуре углеродистой заэвтектоидной инструментальной стали после аналогичной термообработки (рисунок 1).

Быстрорежущая сталь маркируется буквой Р, а следующая за ней цифра указывает среднюю массовую долю главного легирующего элемента быстрорежущей стали – вольфрама (Р18, Р6М5, Р10К5Ф5). Среднее содержание других легирующих элементов обозначается цифрой после соответствующей буквы. Среднее содержание хрома в большинстве быстрорежущих сталей составляет 4 % и поэтому в обозначении марки стали не указывается. Кроме того, не указывается содержание молибдена до 1 % по массе и ванадия, если его содержание меньше, чем молибдена.

В быстрорежущих сталях теплостойкость достигается легированием карбидообразующими элементами (вольфрамом, молибденом, хромом, ванадием) в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды. Эти стали сохраняют мартенситную структуру при нагреве до 600 – 650 °С, поэтому применение их позволяет значительно повысить скорость резания (в 2 – 4 раза) и стойкость инструмента (в 10 – 30 раз) по сравнению со сталями, не обладающими теплостойкостью.

Быстрорежущие стали относятся к карбидному (ледебуритному) классу. Их фазовый состав в отожженном состоянии представляет собой легированный феррит и карбиды Cr_7C_3 , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}_6$, VC , в которых также растворен ванадий. В феррите растворена большая

часть хрома: почти весь вольфрам, молибден и ванадий находятся в карбидах. Количество карбидной фазы в быстрорежущих сталях достигает 22 – 30 %.

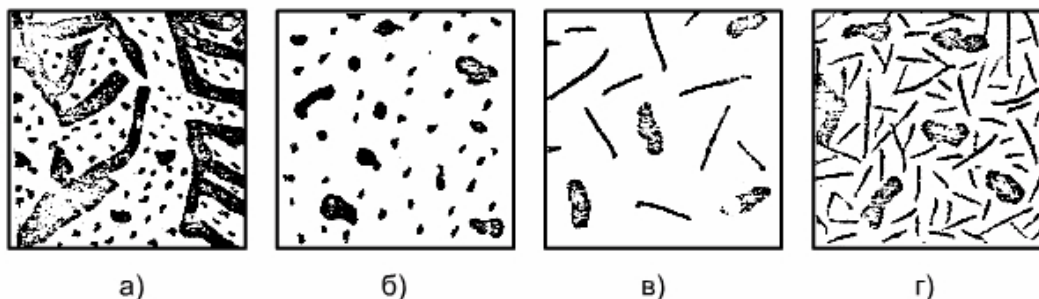


Рисунок 3 - Схема микроструктуры быстрорежущих сталей: а) Литая и отожженная – сорбитообразный перлит + карбиды + ледебуритная эвтектика; б) Горячедеформированная и отожженная – сорбитообразный перлит + карбиды; в) Закаленная – мартенсит закалки + аустенит остаточный + карбиды г) Отпущенная – мартенсит отпуска + карбиды.

В структуре литой быстрорежущей стали присутствует сложная эвтектика, напоминающая ледеburит. В результате горячей механической обработки (ковки) сетка ледебуритной эвтектики дробится (рис. 3). Для снижения твердости, улучшения обработки резанием и подготовки структуры стали к закалке послековки быстрорежущую сталь подвергают отжигу при 800 – 860 °С. Для придания теплостойкости стали инструменты подвергают закалке и многократному отпуску (рис. 4).

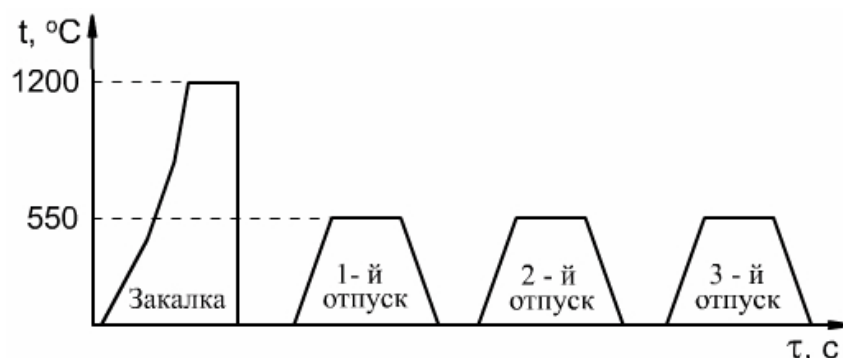


Рисунок 4 - График термической обработки быстрорежущей стали

Режимы термической обработки инструментальных сталей приведены в таблицах 1, 2, 3.

Температура закалки быстрорежущей стали принимают в интервале 1200 – 1290 °С. Высокие температуры закалки необходимы для более полного растворения карбидов и получения при нагреве аустенита, высоколегированного хромом, вольфрамом, молибденом и вана-

дием. Это обеспечивает получение после закалки мартенсита, обладающего высокой теплостойкостью. Однако даже при очень высоком нагреве растворяется только часть карбидов, примерно 30 – 60 % от имеющихся у различных марок быстрорежущих сталей.

Высоколегированный аустенит, полученный при нагреве под закалку, обладает большой устойчивостью, поэтому быстрорежущие стали имеют малую критическую скорость охлаждения (закалки) и могут закаливаться на воздухе. Однако на практике в качестве охлаждающей среды применяется масло.

Структура быстрорежущей стали после закалки представляет высоколегированный мартенсит, содержащий 0,3 – 0,4 %С, нерастворенные избыточные карбиды и высоколегированный остаточный аустенит, составляющий 25 – 35 %. Поскольку остаточный аустенит понижает режущие свойства стали, его присутствие в готовом инструменте недопустимо.

После закалки следует отпуск при 550 – 570 °С, вызывающий превращение остаточного легированного аустенита в легированный мартенсит и дисперсионное твердение в результате частичного распада мартенсита и выделения карбидов (рис. 3), что сопровождается увеличением твердости. Чтобы весь остаточный аустенит перевести в мартенсит и произошел отпуск вновь образовавшегося мартенсита, применяют многократный (чаще трехкратный) отпуск при 550 – 570 °С.

6.4 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемы микроструктур исследуемых сталей.
4. Режимы термической обработки сталей.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими основными качествами должен обладать инструмент?
2. Наличие каких элементов в составе инструментальных сталей обеспечивает высокую твердость инструмента после закалки?
3. Какое основное назначение Cr, W, V, Mo в инструментальных сталях?
4. Как подразделяются стали по теплостойкости?
5. Что такое теплостойкость стали?
6. Какие инструменты требуют сплошной прокаливаемости?
7. Какие основные преимущества имеют легированные инструментальные стали перед углеродистыми?

Таблица 1 - Режим термической обработки инструментальных углеродистых сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура, °С	Твердость НВ	Температура, °С	Среда охлаждения	Температура, °С	Твердость HRC
У7	690 – 710	187	800 – 820	Вода	150 – 160	62
У8	690 – 710	187	780 – 800	Вода	150 – 160	62
У10	750 – 770	197	770 – 810	Вода	150 – 160	63
У11	750 – 770	207	770 – 800	Вода	150 – 160	63
У13	750 – 770	217	760 – 790	Вода	150 – 160	63

Таблица 2 - Режимы термической обработки инструментальных легированных сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура, °С	Твердость НВ	Температура, °С	Среда охл.	Температура, °С	Твердость НВ
Х	770 – 790	225 – 207	830 – 860	Масло	180 – 200	66 – 59
9ХС	790 – 810	255 – 207	820 – 860	Масло	140 – 160	60 – 62
ХГСВФ	790 – 810	228 – 196	820 – 850	Масло	140 – 160	61 – 63
ХГ	780 – 800	241 – 197	800 – 830	Масло	150 – 200	61 – 62
ХВГ	770 – 790	255 – 207	820 – 840	Масло	160 – 180	62 – 63
ХВСГ	790 – 810	229 – 197	840 – 860	Масло	160 – 180	62 – 63
ХСВФ	830 – 850	228 – 187	840 – 860	Масло	170 – 180	61 – 63
3Х2В8Ф	1140 – 1160	255 – 207	1120 – 1160	Масло	550 – 560	45 – 51
4Х8В2	750 – 780	255 – 207	1120 – 1140	Масло	550 – 560	49 – 51

Таблица 3 - Режимы термической обработки быстрорежущих сталей

Марка ста- ли	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Тем-ра °С	Твердость НВ	Тем-ра °С	Среда охл.	Тем-ра °С	Твердость НВ
P18	830 – 850	207 – 255	1260 – 1300	Масло, соли	550 – 570	64 – 65
P10K5Ф5	840 – 860	285	1220 – 1240	Масло, соли	575 – 585	65 – 67
P9K5	840 – 860	269	1220 – 1240	Масло, соли	555 – 565	65 – 67
P6M3	830 – 850	207 – 235	1210 – 1230	Масло, соли	555 – 565	65 – 66
P18Ф2K8M	850 – 870	263 – 277	1220 – 1260	Масло, соли	560 – 570	67 – 68
P9Ф5	840 – 860	269	1240 – 1260	Масло, соли	575 – 585	65 – 67
P14Ф4	850 – 860	269	1240 – 1260	Масло, соли	575 – 585	67 – 68
P18Ф2	840 – 860	269	1260 – 1380	Масло, соли	575 – 585	67 – 68

Лабораторная работа №7 Термическая обработка углеродистой стали, отжиг, закалка, отпуск

7.1 Отжиг углеродистой стали

7.1.1 Цель лабораторной работы - изучение процессов происходящих при нагреве и медленном охлаждении углеродистой стали. Установление режима термообработки при различных видах отжига для углеродистой стали. Овладение практическими навыками отжига углеродистой стали.

7.1.2 Приборы и материалы

Для проведения лабораторной работы необходимо иметь: муфельную печь, твердомер Роквелла, шлифовальный станок, образцы углеродистой стали, щипцы и альбом микроструктур углеродистых сталей после различных видов отжига.

Термическая обработка стали.

Термической обработкой называют совокупность операций нагрева стали выше или ниже критических точек диаграммы состояний железо – цементит, выдержке при этой температуре и охлаждения с заданной скоростью для структуры, следовательно, и свойств.

Термическая обработка на фазовых (полиморфных) превращениях, протекающих в сталях при нагреве и охлаждении.

Превращения при нагреве стали (образование аустенита).

При нагреве стали с содержанием углерода 0,8% ниже линии PSK (критической точки A_{c1}) диаграммы состояний Fe – Fe₃C (рисунок 1) никаких превращений не протекает. При медленном нагреве в критической точке A_{c1} (727⁰C) перлит становится неустойчивым и начинает превращаться в аустенит. Этот процесс протекает в результате образования зародышей аустенита на границе разделов кристаллов феррита и цементита и последующего их роста. Превращение состоит из полиморфного и растворения в Fe кристаллов цементита.

Окончание процесса превращения характеризуется образованием зерен аустенита и исчезновением зерен перлита. Размер образовавшихся зерен характеризует величину начального зерна аустенита.

Для получения однородного (гомогенного) аустенита необходимо сталь нагреть выше A_{c1} и дать выдержку для завершения протекания диффузионных процессов. Размер полученных зерен характеризует величину действительного зерна аустенита.

Превращения при медленном охлаждении стали (распад аустенита на ферритную смесь).

При медленном охлаждении стали ниже линии PSK (критической точки A_{21}) происходит превращение аустенита в ферритно – цементитную смесь и складывается из диффузионного перераспределения углерода для образования цементита и перестройки ГЦК решетки Fe в ОЦК решетку Fe.

Процессы распада переохлажденного аустенита делятся на два типа:

1. диффузионные перлитные и бейнитные;
2. бездиффузионные – мартенситные.

При перлитном превращении аустенита в зависимости от скорости охлаждения или степени переохлаждения могут образовываться структуры перлит, сорбит и тростит (рисунок 1)[2], или соответственно грубо-, средне- и тонкодифференцированный перлит.

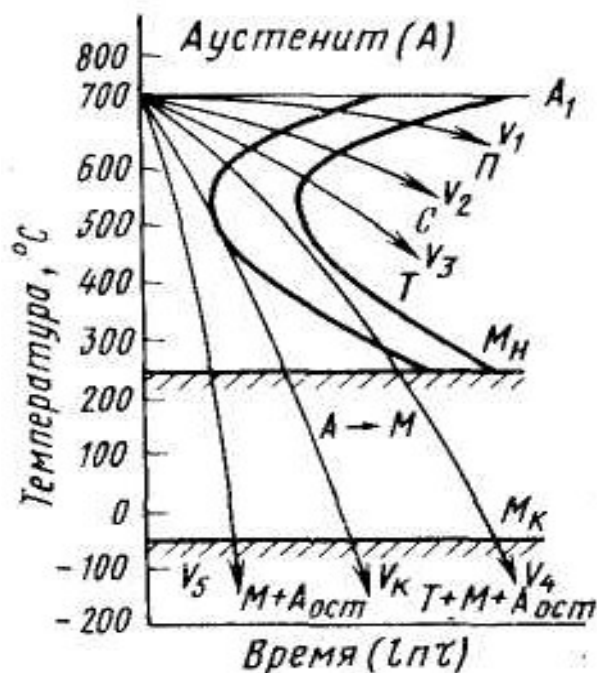


Рисунок 1 – Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита эвтектоидной стали (0,8%С)

Отжигом называют вид термообработки при котором углеродистую сталь нагревают выше или ниже критических точек в соответствии с диаграммой железо – цементит (рисунок 1), выдерживают при этой температуре и медленно охлаждают для получения более равновесной структуры.

Основные виды отжига: перекристаллизационный (полный), сфероидизирующий, нормализационный, изотермический и др.

Перекристаллизационный отжиг

Перекристаллизационный (полный) отжиг заключается в нагреве доэвтектоидной стали (0,025-0,8%С) выше критической точки А_{с3} на 30 – 50⁰С (рисунок 2)[2], выдержке и медленном охлаждении вместе с печью.

При нагреве исходная крупная ферритно – цементитная структура превращается в аустенит, а при медленном охлаждении аустенит – на феррит и перлит мелкозернистого строения (рисунок 3, а), что приводит к снижению твердости, повышению пластичности, снятию внутренних напряжений, улучшению обрабатываемости стали.

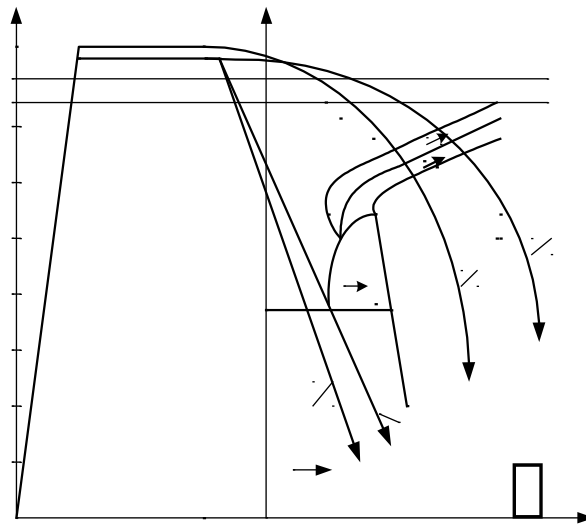


Рисунок 2 – Схема полного (1), нормализационного отжига (2) и полной закалки (3) стали 45

Нормализационный отжиг

Нормализация – вид отжига, которая заключается в нагреве доэвтектоидной стали выше A_{c3} (рисунок 2) и заэвтектоидной (0,8-2,14%С) – выше линии SE (критической точки $A_{c_{ст}}$) диаграммы Fe – Fe₃C (рисунок 1) на 50-70⁰С с последующим охлаждением на воздухе. При нормализационном отжиге происходит полная перекристаллизация стали и устраняется крупнозернистая структура, полученная при литье или обработке металлов давлением (прокатке, ковке, штамповке).

Охлаждение стали на воздухе при нормализации приводит к распаду аустенита при более низкой температуре, чем при полном отжиге, и способствует образованию более дисперсной ферритно – цементитной смеси (рисунок 9.3,б).

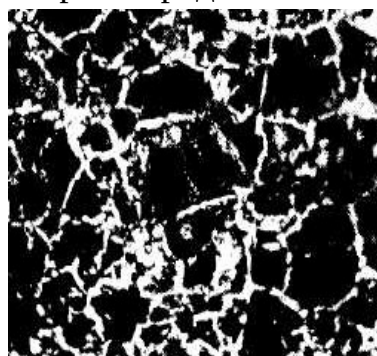
Назначение нормализации зависит от состава стали. Вместо отжига низкоуглеродистые стали подвергают нормализации. При этом твердость немного возрастает, но улучшается качество поверхности при резании.

Для среднеуглеродистых сталей нормализация применяется как упрочняющая обработка вместо улучшения (закалки и высокого отпуска). При этом механические свойства понижаются, но уменьшается деформация изделий.

Для заэвтектоидных сталей нормализация применяется для устранения цементитной сетки и для измельчения зерна перед закалкой.



а)



б)

Рисунок 3 – Микроструктура стали (0,4%С) после полного отжига (а) и нормализации (б)

Задание по работе

Ознакомиться с теорией и технологией процесса отжига стали и законспектировать. Для заданной марки углеродистой стали назначить режимы (температуру нагрева, время выдержки и условия охлаждения) полного и нормализационного отжига. Провести отжиг образцов, описать превращение фаз и зарисовать структуру. Измерить твердость и результаты опытов занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты отжига образцов.

Вид отжига	Марка стали	Температура нагрева, °С	Охлаждение	Изменение структуры при отжиге	HRC
Полный					
Нормализационный					

Контрольные вопросы

- 1 Что такое термообработка стали?
- 2 Расскажите превращения в углеродистой стали при нагреве выше критической точки A_{c1} (образование аустенита)
- 3 Расскажите превращения при медленном охлаждении стали (распад аустенита на перлит).
- 4 Что такое отжиг и какие виды отжига стали бывают?
- 5 Начертить и объяснить по диаграмме изотермического превращения переохлажденного аустенита эвтектоидной стали образование перлита, сорбита и троостита.
- 6 Начертить и объяснить по схеме (рисунок 9.2) технологию полного и нормализационного отжига.

Тестовые вопросы

- 1 При нагреве доэвтектоидной стали выше 727°C образуется...
 - а) аустенит + феррит;
 - б) аустенит;
 - в) аустенит + цементит.
- 2 При нагреве эвтектоидной стали выше 727°C образуется ...
 - а) аустенит + феррит;
 - б) аустенит;
 - в) аустенит + цементит.
- 3 При нагреве заэвтектоидной стали выше 727°C образуется ...
 - а) аустенит + феррит;
 - б) аустенит;
 - в) аустенит + цементит вторичный.
- 4 При нагреве стали со структурой перлит выше 727°C образуется ...
 - а) аустенит + цементит;
 - б) феррит + аустенит;
 - в) аустенит.
- 5 При нагреве стали со структурой феррит + перлит выше 727°C образуется ...
 - а) феррит + аустенит;
 - б) аустенит + цементит;
 - в) перлит.
- 6 При нагреве стали со структурой перлит + цементит вторичный выше 727°C образуется ...
 - а) феррит + аустенит;
 - б) аустенит;
 - в) аустенит + цементит вторичный.
- 7 При нагреве стали под термообработку, почему дают выдержку?
 - а) для получения гомогенного аустенита;
 - б) для ускорения процесса;
 - в) для экономии топлива.
- 8 Почему при термообработке сталь нагревают до оптимальной температуры?
 - а) для ускорения процесса;
 - б) для повышения качества;
 - в) для получения мелкозернистого аустенита.
- 9 Какая структура образуется при перлитном превращении пере-

охлажденного аустенита?

- а) бейнит;
- б) мартенсит;
- в) феррито-цементитная смесь.

10 При перекристаллизационном отжиге сталь нагревают...

- а) выше критической точки A_{c1} ;
- б) выше критической точки A_{c3} ;
- в) выше линии PSK.

11 При сфероидизирующем отжиге сталь нагревают...

- а) ниже линии PSK;
- б) выше линии GSK;
- в) ниже линии GS.

12 При неполном отжиге сталь нагревают...

- а) выше линии SE;
- б) ниже линии PSK;
- в) выше линии PSK.

13 При перекристаллизационном отжиге доэвтектоидную сталь нагревают для получения структуры...

- а) феррит + аустенит;
- б) аустенит;
- в) перлит.

14 При неполном отжиге заэвтектоидную сталь нагревают для получения структуры...

- а) феррит + аустенит;
- б) аустенит;
- в) аустенит + цементит вторичный.

15 Цель отжига стали...

- а) снижение твердости и повышение пластичности;
- б) снижение твердости и пластичности;
- в) повышение твердости и пластичности.

16 При отжиге сталь охлаждают...

- а) медленно;
- б) быстро;
- в) на воздухе.

17 При нормализационном отжиге сталь нагревают...

- а) выше линии PSK;
- б) выше линии SE;
- в) выше линии GSE.

18 При нормализационном отжиге сталь нагревают для получения структуры...

- а) феррит + аустенит;
- б) аустенит;
- в) аустенит + цементит.

19 При нормализации углеродистую сталь охлаждают...

- а) медленно;

- б) быстро;
 - в) вместе с печью.
- 20 Структура стали, содержащей 0,4%С после отжига состоит из...
- а) феррита и перлита;
 - б) перлита;
 - в) перлита и цементита.
- 21 Структура стали, содержащей 0,8%С после отжига состоит из...
- а) феррита и перлита;
 - б) перлита;
 - в) перлита и цементита.
- 22 Структура стали, содержащей 1,2%С после отжига состоит из...
- а) феррита и перлита;
 - б) перлита;
 - в) перлита и цементита вторичного.

7.2 Закалка углеродистой стали

7.2.1 Цель лабораторной работы – изучение процессов происходящих при нагреве и быстром охлаждении углеродистой стали. Установление режима закалки углеродистой стали. Овладение практическими навыками закалки стали.

7.2.2 Приборы и материалы

Для проведения работы необходимо иметь: муфельную печь, образцы углеродистой стали, щипцы, шлифовальный станок, твердомер Роквелла и альбом микроструктур закаленных углеродистых сталей.

Превращения при быстром охлаждении стали (распад аустенита в мартенсит).

Если сталь, нагретую до аустенитного состояния охлаждать со скоростью большей V_k (рисунок 1), то диффузионные процессы в ней подавляются (ферритно – цементитная смесь не образуется) и аустенит превращается в мартенсит.

Мартенситом называют пересыщенный твердый раствор углерода в Fe. Он образуется при быстром охлаждении стали аустенитного состояния путем бездиффузионной перестройки ГЦК решетки Fe в ОЦК решетку Fe. При этом весь углерод растворенный в ГЦК решетке аустенита, переходит в ОЦК решетку и искажает ее из кубической в тетрагональную. Чем больше содержание углерода в стали, тем выше степень тетрагональности (искаженности) решетки мартенсита и твердость закаленной стали.

Превращение аустенита в мартенсит начинается при температуре M_n (начало превращения) и заканчивается при температуре M_k (конец превращения). Положение точек M_n и M_k зависит от химического состава стали. С увеличением содержания углерода в стали положение температур начала и конца мартенситного превращения снижается. Все легирующие элементы, за исключением алюминия и кобальта понижают точки M_n и M_k .

Мартенситное превращение в сталях, у которых M_k находится ниже 0°C , до конца не протекает, остается некоторое количество аустенита не превращенного в мартенсит, он называется остаточным аустенитом и обозначается $A_{\text{ост}}$. Чтобы закончить превращение остаточного аустенита в мартенсит, закаленные детали подвергают обработке холодом.

Закалка стали

Закалкой называют нагрев стали выше температуры фазовых превращений, выдержка при этой температуре и быстрое охлаждение со скоростью больше критической. При закалке аустенитная структура, образованная нагревом углеродистой стали выше критических точек, превращается в мартенсит (рисунок 1).

Цель закалки: повышение прочности и твердости стали.

Дозэвтектоидные стали подвергают полной закалке, т.е. нагревают выше A_c , на $30-50^{\circ}C$, выдерживают и быстро охлаждают.



Рисунок 1 – Микроструктура мартенсита стали 40

7.2.3 Задание по работе

Ознакомиться с теорией и технологией закалки стали и законспектировать.

Для заданной марки стали назначить режимы закалки (температуру нагрева, время выдержки и условия охлаждения). Провести закалку образцов, описать превращения фаз и зарисовать структуру. Измерить твердость закаленных образцов и результаты опытов занести в таблицу 10.1

Таблица 1 - Результаты закалки образцов.

Марка стали	Вид закалки	Температура нагрева, $^{\circ}C$	Охлаждение	Изменение структуры при закалке	HRC

Контрольные вопросы

1. Расскажите распад аустенита в мартенсит, используя рисунок 1.
2. Что такое мартенсит и особенности мартенситного превращения?
3. Что такое закалка стали и виды закалки?
4. По рисунку 2 объясните технологический процесс закалки доэвтектоидной стали.
5. Что такое обработка стали холодом?

Тестовые вопросы

1. Какая структура образуется при мартенситном превращении переохлажденного аустенита стали У8?
 - а) троостит;
 - б) бейнит;
 - в) мартенсит.
2. Мартенсит-это...
 - а) твердый раствор углерода в альфа-железе;

- б) твердый раствор углерода в гамма-железе;
- в) пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе.

3 Для получения мартенситной структуры сталь охлаждают ...

- а) со скоростью меньшей критической скорости закалки;
- б) со скоростью равной или большей критической скорости закалки;
- в) вместе с печью.

4 Какое превращение протекает в интервале критических точек M_H - M_K ?

- а) перлитное;
- б) бейнитное;
- в) мартенситное.

5 Мартенситная структура обладает...

- а) высокой твердостью и прочностью;
- б) высокой твердостью;
- в) высокой прочностью.

6 Остаточный аустенит-структура, которая ...

- а) не превратилась в мартенсит при охлаждении;
- б) не превратилась в аустенит при нагреве;
- в) не стала гомогенным аустенитом.

7 При полной закалке углеродистую сталь нагревают ...

- а) выше линии PSK;
- б) выше линии SE;
- в) выше линии GSK.

8 При полной закалке доэвтектоидную сталь нагревают для получения структуры:

- а) аустенита;
- б) феррита+аустенита;
- в) аустенита+цементита.

9 Сталь У8 при закалке нагревают с целью получения структуры ...

- а) феррита+аустенита;
- б) аустенита;
- в) аустенита+цементита.

10 Сталь У12 при закалке нагревают для получения структуры ...

- а) феррита+аустенита;
- б) аустенита;
- в) аустенита+цементита вторичного.

11 Цель закалки стали – это ...

- а) повышение твердости;
- б) повышение твердости и пластичности;
- в) повышение твердости и прочности.

12 При закалке сталь охлаждают ...

- а) на воздухе;
- б) со скоростью большей или равной критиче-

ской скорости закалки;

в) вместе с печью.

13 При закалке стали, содержащей 0,45%С образуется структура а)
феррита;
б) перлита;
в) мартенсита.

14 При закалке стали, содержащей 0,8%С образуется структура а)
феррита+перлита;
б) перлита+цементита;
в) мартенсита+аустенита остаточного.

15 При закалке стали, содержащей 1,2%С образуется структура а)
феррита+перлита;
б) мартенсита+аустенита остаточного цементита
вторичного;
в) перлита+цементита.

Лабораторная работа №7.3 Отпуск закаленной углеродистой стали

7.3.1 Цель лабораторной работы - изучение процессов, происходящих при отпуске закаленной углеродистой стали. Установление вида и режимов отпусков закаленных углеродистых сталей. Овладение практическими навыками отпуска стали.

7.3.2 Приборы и материалы

Для проведения работы необходимо иметь: муфельную печь. Образцы закаленных углеродистых сталей, щипцы, шлифовальный станок, твердомер Роквелла и альбом микроструктур отпущенных углеродистых сталей.

Превращение при нагреве закаленной углеродистой стали (отпуск мартенсита)

При закалке возникают внутренние напряжения в результате объемных изменений. Мартенсит закалки – неравновесная (метастабильная) структура и для получения более равновесного состояния после закалки детали подвергают отпуску.

Отпуском называют нагрев закаленной стали ниже A_{c1} выдержка

и охлаждение (на воздухе). Различают три вида отпуска.

Низкотемпературный (низкий) отпуск проводят нагревом закаленной стали в интервале $120-250^{\circ}\text{C}$, выдержкой и охлаждением на воздухе. При нагреве закаленной стали начинается процесс распада мартенсита. Он заключается в выделении углерода в виде Fe_3C - карбида (близок к Fe_2C), что снижает степень тетрагональности решетки мартенсита ($c/a - 1$). В результате низкого отпуска стали мартенсит закалки превращается в мартенсит отпущенный, который представляет собой смесь мартенсита и Fe_3C -карбида (Fe_xC). При этом происходит уменьшение внутренних напряжений, сохранение высокой твердости и износа стойкости, небольшое увеличение пластичности и вязкости стали.

Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали после поверхностной закалки и цементации и т.д.

Среднетемпературный (средний) отпуск проводят нагревом закаленной стали при $350 - 450^{\circ}\text{C}$. При среднем отпуске распад мартенсита в ферритно-цементитную смесь завершается. Fe_3C - карбид начал превращаться в цементит еще при температуре 250°C . Степень тетрагональности Fe_3C - твердого раствора устраняется и мартенсит переходит в феррит (тетрагональная решетка переходит в ОЦК решетку). В результате среднего отпуска образуется тонкая смесь феррита и цементита, называемая трооститом отпуска. Целью среднего отпуска является устранение внутренних напряжений, получение высокого предела упругости и выносливости. Средний отпуск применяют для рессор и пружин.

Высокотемпературный (высокий) отпуск проводят при 500 - 680⁰С. Начиная с 350 - 400⁰ происходит коагуляция (укрепление) частичек цементита и их сфероидизация. Скорость коагуляции и сфероидизации карбидов увеличивается при повышении температуры. Зерна феррита укрупняются и их форма приближается к равновесной, начиная с температуры 400⁰С. Ферритно- карбидную смесь с зернистым строением цементита, образующаяся при высоком отпуске, называют сорбитом отпуска. Термообработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называют улучшением.

Целью улучшения является полное снятие внутренних напряжений, сохранение достаточной прочности, увеличение пластичности и ударной вязкости.

Высокому отпуску подвергают детали, которые испытывают в работе высокие напряжения, ударные и знакопеременные нагрузки.

7.3.3 Задание по работе

Ознакомиться с теорией и технологией отпуска закаленной углеродистой

стали и законспектировать. Для заданной марки закаленной углеродистой стали назначить режимы отпуска (температуру нагрева, время выдержки и условия охлаждения). Провести отпуск закаленных образцов и описать превращение фаз. Измерить твердость отпущенных образцов и результаты занести в таблицу 1

Таблица 1 – Результаты отпуска стали

Марка стали	Вид закалки	Температура нагрева, ⁰ С	Охлаждение	Изменение структуры при отпуске	HRC

Контрольные вопросы

- 1 Почему отпускают закаленную сталь?
- 2 Что такое отпуск стали и его виды?
- 3 Расскажите превращения при отпуске закаленной углеродистой стали?
- 4 Назначение видов отпуска стали.
- 5 Что такое улучшение стали?

Тестовые вопросы

- 1 Мартенсит закалки – это ... структура.
- 2 Для получения более ... структуры детали после закалки подвергают отпуску.

- 3 Отпуском называют нагрев закаленной стали ... A_1 , выдержка и охлаждения.
- 4 Различают ... вида отпуска.
- 5 Низкий отпуск проводят нагревом закаленной стали в интервале ...
- 6 Средний отпуск проводят нагревом при ...
- 7 Высокий отпуск проводят нагревом при ...
- 8 При отпуске закаленной стали, начинается распад ...
- а) аустенита;
 - б) аустенита остаточного;
 - в) мартенсита.
- 9 Смесь мартенсита и \square - карбида называются ...
- а) мартенситом отпущенным;
 - б) мартенситом заковки;
 - в) аустенитом остаточным.
- 10 При отпуске степень тетрагональности решетки мартенсита ...
- а) увеличивается;
 - б) снижается;
 - в) не изменяется.
- 11 Распад мартенсита закаленной стали начинается с выделения ...
- а) \square - карбида;
 - б) цементита;
 - в) карбида.
- 12 Средний отпуск применяют для ...
- 13 При среднем отпуске образуется тонкая смесь феррита и цементита, называемая ...
- а) мартенситом отпущенным;
 - б) трооститом отпуска;
 - в) сорбитом отпуска.
- 14 При высоком отпуске образуется ферритно - карбидная смесь с зернистым строением цементита называемая ...
- а) мартенситом отпущенным;
 - б) трооститом отпуска;
 - в) сорбитом отпуска.
- 15 Термическую обработку, состоящую из закалки и высокого отпуска, называют ...

Литература

- 1) Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. 1977, 1990, 2002.
- 2) Дриц М.Е. Москалев М.А. Технология конструкционных материалов М. «Высшая школа» 1990.
- 3) Прейс Г.А. и др. Технология конструкционных материалов. Киев: Высшая школа, 1991
- 4) Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1991.
- 5) Стали и сплавы. Марочник / Под ред. В.Г. Сорокина, М.А. Червосьева. М.: «Интермет инжиниринг», 2001.
- 6) Материаловедение и технология металлов/Г.П.Фетисов, В.М.Карпман, В.С.Матюнин и др. М.: Высшая школа, 2001.
- 7) Дорофеев Ю.Г., Мариненко Л.Г., Устименко В.И. Конструкционные порошковые материалы и изделия. М.: Металлургия, 1986.
- 8) Смолькин А.А., Исагулов А.З., Егоров В.В. Технология металлов и металловедение с тестовыми заданиями Алматы: Гылым, 2000.
- 9) Марочник сталей и сплавов / Под ред. Зубченко А.С. М.: Машиностроение, 2003.
- 10) Справочник технолога - машиностроителя. Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова в 2 - х томах. М., Машиностроение, 1986 - т. 2 - 496 с.
- 11) Технология холодной штамповки. Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев, 1989.
12. Токарная обработка. В.Н. Фещенко, Р.Х. Махмутов. Высшая школа. 1990 г.