

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 02.06.2021 18:31:07  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781853be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
Образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела



**УТВЕРЖДАЮ:**  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова

« 6 » *сентябрь* 2017г.

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания по выполнению практических работ  
для студентов специальности  
«Обогащение полезных ископаемых»  
«Открытые горные работы»

Курск 2017

УДК 622

Составители: Л.А. Семенова

Рецензент

Кандидат географических наук, доцент Р.А. Попков

Материаловедение: Методические указания по выполнению практических работ для студентов специальности «Обогащение полезных ископаемых», «Открытые горные работы» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.А. Семенова.- Курск, 2017.- 24с.: рис. 9.- Библиогр.: с. 24.

Содержит основные сведения о выполнении практических работ студентов специализации «Обогащение полезных ископаемых», «Открытые горные работы» по дисциплине «Материаловедение». В работе даны рекомендации по выбору марки сталей, способов растяжения и напряжения.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной на заседании кафедры Э и УН, ГД протокол № 6 от «27» 12 2016 года.

Предназначены для студентов направления подготовки (специальности) 21.05.04 Горное дело для специализации «Обогащение полезных ископаемых», «Открытые горные работы».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

формат 60x84 1/16

Усл. Печ. Лист

Уч.-изд.л.

Тираж 100экз.

Заказ Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1	Практическая работа №1. Испытания на растяжение	4
2	Практическая работа №2. Испытания на твердость	10
3	Практическая работа №3. Углеродистые и легированные конструкционные стали. государственные стандарты	14
4	Практическая работа №4. Углеродистые и легированные инструментальные стали	17
5	Список литературы	24

## **Практическая работа №1**

### **Тема: Испытания на растяжение**

#### **Контрольные вопросы:**

1. Для чего проводятся испытания на растяжение?
2. Какие образцы испытывают чаще: цилиндрические или плоские?
3. Какие образцы называют «десятикратные» и «пятикратные»?
4. Дайте характеристику машин для испытаний на растяжение
5. Что такое кривая растяжения. Каковы ее типы
6. Что такое наклеп
7. Дайте определение предела пропорциональности, предела упругости, физического предела текучести, условного предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения, относительного сужения.

**Цель работы:** Ознакомиться с методикой испытаний металлов на растяжение, определить характеристики прочности и пластичности образцов низкоуглеродистой стали.

**Оборудование и материалы:** разрывная машина Р-20, тензомер, штангенциркуль, металлографический микроскоп, стандартные образцы низкоуглеродистой стали для растяжения.

#### **Краткое теоретическое введение**

Из всех способов механических испытаний материалов наибольшее распространение имеют испытания на растяжение. Это обусловлено тем, что данные испытания позволяют определить практически все характеристики прочности и пластичности исследуемого материала. При испытаниях на растяжение стандартный образец растягивают в испытательной машине вдоль оси до разрыва, а зависимость между растягивающей силой и изменением длины образца регистрируется в виде диаграммы растяжения (рис.1).

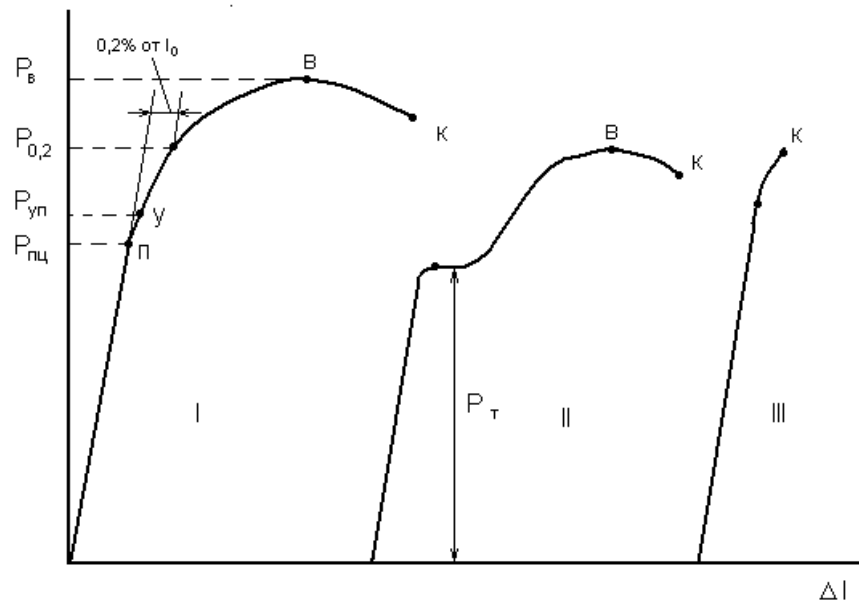


Рис.1. Диаграммы растяжения: I – пластичные материалы (медь, бронза), II – низкоуглеродистые стали, III – хрупкие материалы

Механическими испытаниями материалов на растяжение определяют прочностные характеристики: предел пропорциональности, условный предел упругости, условный и физический пределы текучести, предел прочности (временное сопротивление разрыву), истинный предел прочности, истинное сопротивление разрыву, и характеристики пластичности: относительное удлинение и относительное сужение.

1. *Предел пропорциональности*

Предел пропорциональности  $\sigma_{плц}$  – условное напряжение, соответствующее концу линейного участка диаграммы растяжения. Предел пропорциональности определяют графически по диаграмме растяжения (рис.2).

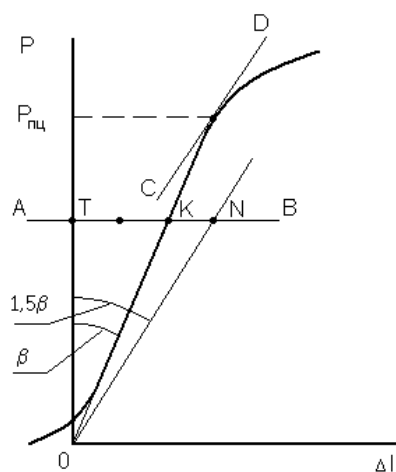


Рис.2. Схема графического определения предела пропорциональности  $\sigma_{плц}$

Для этого проводят прямую АВ, на которой откладывают отрезок  $KN=TK/2$ . Затем проводят касательную CD к кривой растяжения, параллельную прямой ON. Точка касания определяет усилие  $P_{\text{пц}}$ . Предел пропорциональности рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}}/F_0, \quad (1)$$

где  $F_0$  – площадь начального поперечного сечения образца.

## 2. *Предел упругости*

В исследовательских целях определяют условный предел упругости  $\sigma_{0,05}$ , как напряжение, соответствующее появлению остаточной деформации 0,05% или абсолютной деформации  $\Delta l = 0,0005l_0$ . Усилие, соответствующее условному пределу упругости определяют графически в соответствии со схемой, приведенной на рис.3, предел упругости рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{0,05} = P_{0,05}/F_0. \quad (2)$$

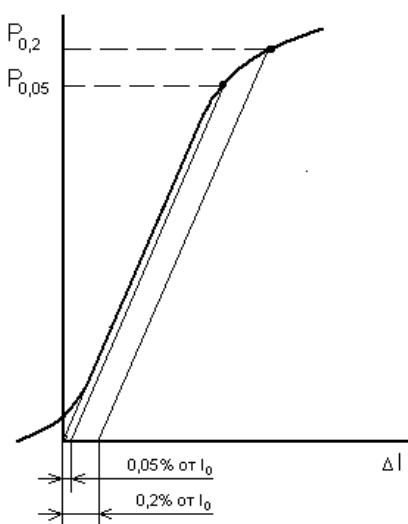


Рис.3. Схема графического определения предела упругости  $\sigma_{0,05}$  и предела текучести  $\sigma_{0,2}$

## 3. *Предел текучести*

Предел текучести – это напряжение, при котором материал начинает испытывать пластическую деформацию. Если деформация материала при растяжении развивается в соответствии с диаграммой растяжения I-го типа (без образования площадки текучести, рис.1), то в этом случае определяют условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , по методике, аналогичной методике определения  $\sigma_{0,05}$  (рис.3). Условный предел текучести рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2}/F_0. \quad (3)$$

Если материал деформируется с образованием площадки текучести (II тип), то определяют физический предел текучести, как

$$\sigma_{\tau} = P_{\tau}/F_0. \quad (4)$$

## 4. *Предел прочности (временное сопротивление разрыву)*

Сопротивление материала значительным пластическим деформациям характеризуется пределом прочности  $\sigma_B$ . Растягивающее усилие в этот момент деформации достигает своего максимального значения  $P_B$  (рис.1), при этом происходит переход от равномерной деформации к локализованной: на образце образуется шейка. Предел прочности определяется по формуле:

$$\sigma_B = P_B / F_0. \quad (5)$$

5. *Истинное сопротивление разрыву*

После локализации деформации образца при непрерывном растяжении происходит его разрушение (разрыв) в области шейки при нагрузке  $P_K$ . Истинное сопротивление разрыву определяется выражением:

$$S_K = P_K / F_K, \quad (6)$$

где  $F_K$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.

Если построить диаграмму растяжения в координатах истинных напряжений и деформаций –  $S$ – $e$ , то окажется, что истинное напряжение  $S$  непрерывно возрастает до момента разрушения образца (рис.4).

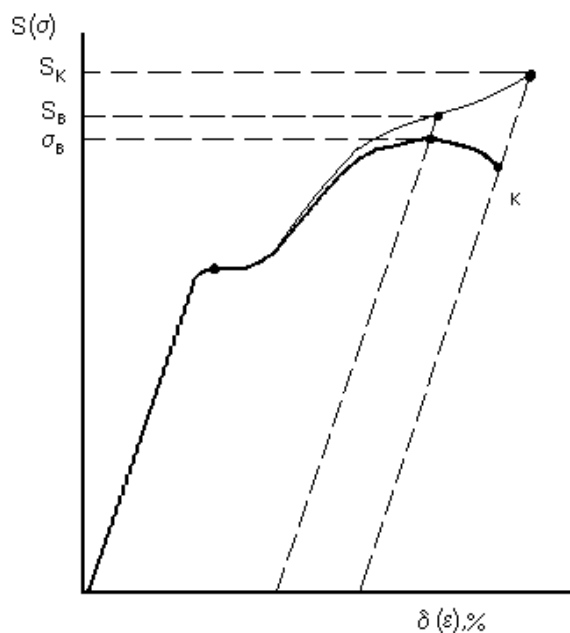


Рис.4. Диаграммы истинных и условных напряжений при испытаниях на растяжение

Это означает, что материал при пластической деформации упрочняется до разрушения. Для корректного построения диаграммы  $S$ – $e$  необходимо определить истинное напряжение в момент образования шейки  $S_B$ . Для этого необходимо знать площадь поперечного сечения образца до момента образования шейки  $F_B$ . Ее можно рассчитать, измеряя диаметр образца в месте равномерной деформации, и определяя затем относительное равномерное сужение по формуле:

$$\psi_p = (F_0 - F_B) / F_0. \quad (7)$$

Отсюда  $F_B = F_0(1-\psi_p)$ . Тогда истинное напряжение в момент образования шейки можно рассчитать по формуле:

$$S_B = P_B / F_0(1-\psi_p). \quad (8)$$

Здесь  $P_B/F_0 = \sigma_B$ . Окончательно имеем

$$S_B = \sigma_B / (1-\psi_p). \quad (9)$$

#### 6. Относительное удлинение

Относительное удлинение образца после разрыва определяется по формуле:

$$\delta = ((l_k - l_0) / l_0) \times 100\%, \quad (10)$$

где  $l_k$  – расчетная длина образца после разрыва.

#### 7. Относительное сужение

Относительное сужение рассчитывается по формуле:

$$\psi = (F_0 - F_k) / F_0 \times 100\%, \quad (11)$$

где  $F_k$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрыва.

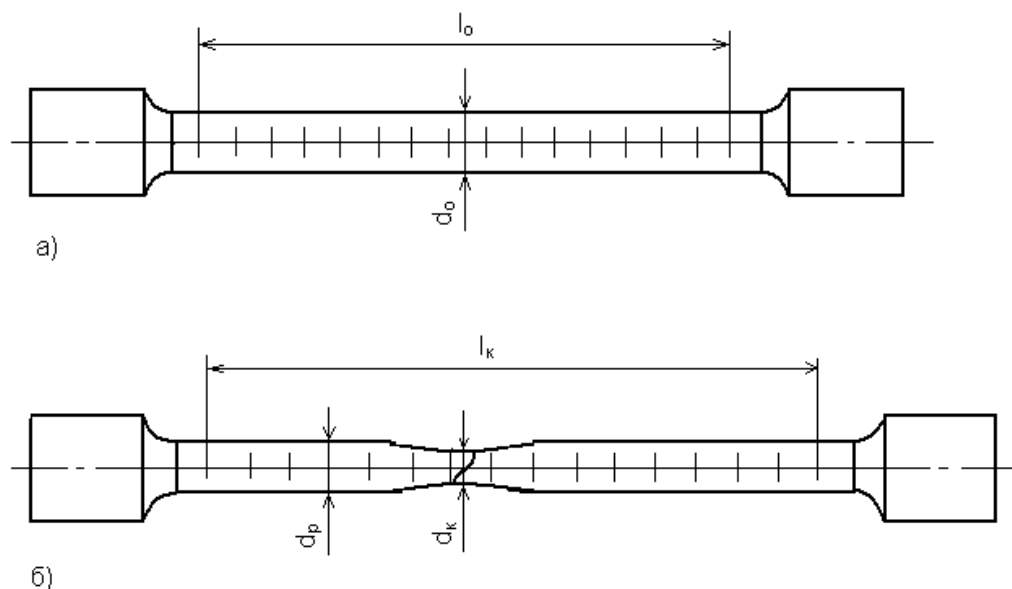


Рис. 5. Цилиндрический образец для испытаний на растяжение: а) – до испытаний, б) – после разрушения

### Порядок выполнения работы

1. Измерить диаметр образца  $d_0$ . Расчетную длину  $l_0 = 15$  см расчертить делениями через 1 см.
2. Установить образец в захватах разрывной машины, закрепить на нем тензомер.
3. Провести растяжение образца до достижения предела текучести, фиксируя показания тензометра и соответствующие показания силоизмерителя с шагом 1 кН. Цена деления тензометра составляет 1 мкм.
4. При достижении предела текучести образца ( в этот момент стрелка тензометра резко переместится за пределы шкалы) приостановить



нагружение, убрать тензомер, затем продолжить нагружение образца до разрыва, фиксируя значения  $P_B$  и  $P_K$ .

5.        Замерить  $l_k$ ,  $d_k$ ,  $d_p$ .
6.        По показаниям тензомера и силоизмерительного механизма построить первичную диаграмму растяжения  $P - \Delta l$ .
7.        Рассчитать значения  $\sigma_{\text{пц}}$ ,  $\sigma_{0,05}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$ ,  $S_B$ ,  $S_K$ ,  $\delta$ ,  $\psi_p$ ,  $\psi$  по формулам (1)–(11).
8.        Построить диаграммы условных и истинных напряжений.
9.        По указанию преподавателя вырезать части образца в области шейки и в области равномерной деформации, изготовить микрошлифы, протравить их и исследовать структуру стали в области локализованной и равномерной деформации.
10.       Результаты представить в виде отчета, выполненного в соответствии со стандартом ТПУ. Отчет должен содержать схемы, таблицы, графики, рисунки, подробные выводы.

## Практическая работа №2

### Тема: Испытания на твердость

#### Контрольные вопросы:

1. Что понимают под твердостью
2. Назовите способы определения твердости
3. Как готовят поверхностный слой образца на определение твердости
4. Что такое кратковременная и длительная твердость
5. Как проверяют правильность показаний твердомера

**Цель работы:** Ознакомиться с методикой определения твердости металлов по Бринеллю, изучить устройство и принцип работы твердомера, определить НВ различных металлов и сплавов.

**Оборудование и материалы:** Прибор для измерения твердости по Бринеллю, наконечники со стальными шариками диаметром 10,0; 5,0; 2,5; 2,0; 1,0 мм, лупа Бринелля, образцы металлов.

#### Краткие сведения

Сущность метода измерения твердости по Бринеллю металлов заключается во вдавливании шарика (стального или из твердого сплава) в образец (изделие) под действием усилия, приложенной перпендикулярно поверхности образца, в течение определенного времени, и измерении диаметра отпечатка после снятия усилия.

#### Подготовка образцов

Толщина образца  $S$  должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка  $h$  и определяется по формулам

$$S \geq 8 \frac{0,102 \cdot F}{\pi D \cdot HB}, \text{ если } F \text{ выражена в Н,}$$
$$S \geq 8 \frac{F}{\pi D \cdot HB}, \text{ если } F \text{ выражена в кгс.}$$

(1)

Минимальную толщину образца определяют в соответствии с приложением 2. Поверхность образца должна быть плоской и гладкой. Шероховатость поверхности образца должна быть не более 2,5 мкм. Образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы не изменялись свойства металла в результате механической или другой обработки, например, от нагрева или наклепа.

Поверхность образца или испытываемого изделия должна быть ровной, гладкой и свободной от окисной пленки. Обработку поверхности образца (изделия) можно проводить шлифовкой или мелким напильником.

Толщину образца, подвергаемого испытанию, выбирают таким образом, чтобы на противоположной стороне образца после испытания не было заметно следов деформации.

### *Измерение твердости*

Измерение твердости проводят при температуре 20°C. При измерении твердости прибор должен быть защищен от ударов и вибрации. Опорные поверхности столика и подставки, а также опорные и рабочие поверхности образца должны быть очищены от посторонних веществ (окалины, смазки и др.) Образец должен быть установлен на столике или подставке устойчиво во избежание его смещения и прогиба во время измерения твердости.

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.

Значение  $K=P/D^2$  выбирают в зависимости от металла и его твердости в соответствии с табл. 1. Усилие  $F$  в зависимости от значения  $K$  и диаметра шарика  $D$  устанавливают в соответствии с табл. 2.

Диаметр шарика  $D$  и соответствующее усилие  $F$  выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатки находился в пределах от 0,24 до 0,6  $D$ .

Таблица 1

Материал	НВ	К
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы	До 140	10
	140 и более	30
Титан и сплавы на его основе	От 50	15
Медь и сплавы на ее основе, легкие металлы и их сплавы	До 35	5
	От 35	10
Подшипниковые сплавы	8-50	2,5
Свинец, олово, и другие мягкие сплавы	До 20	1

При измерении твердости наконечник приводят в соприкосновение с поверхностью образца и плавно прикладывают заданное усилие  $F$  до тех пор, пока оно не достигнет необходимой величины.

Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия должна соответствовать табл. 3.

Время от начала приложения усилия до достижения им заданной величины должно составлять 2–8 с.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка  $d$ ; расстояние между центрами двух смежных отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка; для металлов с твердостью до 35 НВ эти расстояния должны быть соответственно  $3d$  и  $6d$ .

После измерения твердости на обратной стороне образца не должно наблюдаться пластической деформации от отпечатка.

Таблица 2

Диаметр шарика $D$ , мм	Усилие $F$ , Н (кгс), для $K$					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2 (30)		98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	9,807 (1)
2,0	1177 (120)		392,3 (40)	196,1 (20)	98,07 (10)	39,23 (4)
2,5	1839 (187,5)		612,9 (62,5)	306,0 (31,2)	153,0 (15,6)	60,80 (6,2)
5,0	7355 (750)		2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	980,7 (100)

Таблица 3

НВ	Продолжительность выдержки, с
До 10	180
10-35	120

35-100	30
100 и более	10-15

Диаметр отпечатка  $d$  измеряют с помощью микроскопа или других средств измерения. Твердость по Бринеллю  $HВ$  численно равна отношению приложенного усилия  $F$  к площади сферического отпечатка  $A$  и рассчитывается по формулам

$$HВ = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ если нагрузка выражена в Н,}$$

$$HВ = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ если нагрузка выражена в кгс.}$$

(2)

Твердость по Бринеллю обозначают символом  $HВ$ , которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10- до 15 с.

Примеры обозначения:

250  $HВ$  5/750 – твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усилии 750 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 1.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучить методические указания и приложения, делая необходимые записи.
2. По указанию преподавателя произвести отбор образцов, подготовить их к испытанию.
3. Пользуясь указаниями и приложениями, выбрать условия проведения измерения твердости  $HВ$ , провести индентирование наконечников.
4. Измерить диаметр отпечатков  $d$ .
5. Пользуясь формулами и приложениями, определить значения твердости  $HВ$ .
6. Результаты представить в виде отчета, выполненного в соответствии со стандартом ТПУ. Отчет должен содержать схемы, формулы, таблицы, графики, подробные выводы.

## Практическая работа №3

### Тема: Углеродистые и легированные конструкционные стали. государственные стандарты

#### 1. Цель работы:

Закрепить знания по условному обозначению марок простых и легированных сталей согласно ГОСТ;

Закрепить знания по определению основных свойств сталей в соответствии с маркировкой и химическим составом

По окончании выполнения практических заданий обучающийся должен продемонстрировать способности, умения и степень владения следующими профессиональными компетенциями:

-готовность выполнять экспериментальные и лабораторные исследования, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты (ПК- 22)

#### 2. Краткие теоретические сведения

В России и странах СНГ принята буквенно-цифровая система, согласно которой цифрами обозначается содержание элементов стали, а буквами — наименование элементов.

Буквенные обозначения применяются также для указания способа раскисления стали «КП — кипящая сталь, ПС — полуспокойная сталь, СП — спокойная сталь».

**Конструкционные стали обыкновенного качества нелегированные** (ГОСТ 380-94) обозначают буквами СТ., например СТ. 3. Цифра, стоящая после букв, обозначает марку стали.

**Конструкционные нелегированные качественные стали** (ГОСТ 1050-88) Качественные углеродистые стали маркируются двухзначными числами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: 05; 08; 10; 25; 40 и т.д.

Буква Г в марке стали указывает на повышенное содержание Mn (14Г ; 18Г и т.д.).

**Качественные стали для производства котлов и сосудов высокого давления**, согласно ГОСТ 5520-79, обозначают как конструкционные нелегированные стали, но с добавлением буквы К (например, 20К).

**Конструкционные легированные стали**, согласно ГОСТ 4543-71, обозначают буквами и цифрами. Цифры после каждой буквы обозначают примерное содержание соответствующего элемента, однако при содержании легирующего элемента менее 1,5% цифра после соответствующей буквы не ставится. Качественные дополнительные показатели пониженного содержания

примесей типа серы и фосфата обозначаются буквой — А или Ш, в конце обозначения, например (12 X НЗА, 18ХГ-Ш) и т. п.

**Стали подшипниковые**, согласно ГОСТ 801-78, обозначаются также как и легированные, но с буквой Ш в конце наименования. Следует заметить, что для сталей электрошлакового переплава буква Ш обозначается через тире (например, ШХ 15, ШХ4-Ш).

**Стали инструментальные нелегированные**, согласно ГОСТ 1435-90, делят на качественные, обозначаемые буквой У и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в десятых долях процента (например, У7, У8, У10) и высококачественные, обозначаемые дополнительной буквой А в конце наименования (например, У8А) или дополнительной буквой Г, указывающей на дополнительное увеличение содержания марганца (например, У8ГА).

#### **Стали инструментальные легированные**

согласно ГОСТ 5950-73, обозначаются также как и конструкционные легированные (например, 4Х2В5МФ и т. п.).

**Стали быстрорежущие** в своем обозначении имеют букву Р (с этого начинается обозначение стали), затем следует цифра, указывающая среднее содержание вольфрама, а затем буквы и цифры, определяющие массовое содержание элементов. Не указывают содержание хрома, т. к. оно составляет стабильно около 4% во всех быстрорежущих сталях и углерода, т. к. последнее всегда пропорционально содержанию ванадия. Следует заметить, что если содержание ванадия превышает 2,5%, буква Ф и цифра указываются (например, стали Р6М5 и Р6 М5Ф3).

**Стали нержавеющей стандартные**, согласно ГОСТ 5632-72, маркируют буквами и цифрами по принципу, принятому для конструкционных легированных сталей (например, 08Х18Н10Т или 16Х18Н12С4ТЮЛ).

Автоматные стали маркируются буквой А (А12, А30 и т.д.).

#### **Таблица обозначений легирующих элементов**

А Азот	Г Марганец
Ю Алюминий	Д Медь
Р Бор	М Молибден
Ф Ванадий	Н Никель
В Вольфрам	Б Бор
К Кобальт	Т Титан
С Кремний	Х Хром
У Углерод	Ц Цирконий
П Фосфор	

### **3.Задание**

3.1. Прочитайте краткие теоретические сведения.

3.2. Перечертите таблицу № 1 на чистый лист бумаги.

3.3. Перепишите из таблицы №1 столбец варианта, заданного преподавателем (5 позиций).

**Таблица 1**

	Марка стали	Расшифровка марок стали	Наименование деталей горного оборудования
	2	3	4
	<b>ВСт1кп</b>		
	<b>Ст20</b>		
	<b>У7</b>		
	<b>А12</b>		
	<b>08Х18Н10Т</b>		

3.4. В соответствующей графе позиции таблицы № 1 расшифруйте условное буквенное и цифровое обозначение заданных марок сталей.

3.5. Укажите два наименования деталей автомобиля, изготовленных из заданных марок сталей.

3.5. Письменно ответьте на контрольные вопросы

3.5.1. Как классифицируются стали по химическому составу, качеству и назначению?

3.5.2. Как влияет различное содержание углерода в углеродистой стали на ее механические свойства

3.5.3. Для чего вводят в стали легирующие элементы ?

#### **4.Содержание отчета.**

Отчёт должен содержать

4.1. Дату проведения практической работы

4.2. Название практической работы.

4.3. Заполненную таблицу № 1

4.4. Ответы на контрольные вопросы.



## **Практическая работа №4**

### **Тема: Углеродистые и легированные инструментальные стали**

#### **Цель работы:**

Изучить назначение, классификацию, маркировку и режимы термической обработки инструментальных сталей.

#### **Приборы и материалы:**

Металлографические микроскопы, образцы инструментальных сталей, атлас микроструктур.

#### **Краткие теоретические сведения:**

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 долях процента, буква Г говорит о повышенном содержании марганца в данной стали, А – высококачественная, т.е. более чистая по сере и фосфору сталь.

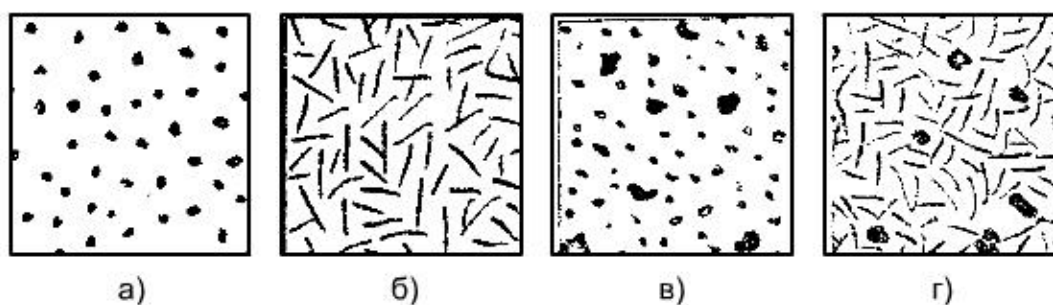


Рис.6. Схема микроструктуры углеродистых инструментальных сталей

- 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 критической 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. 7), 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).

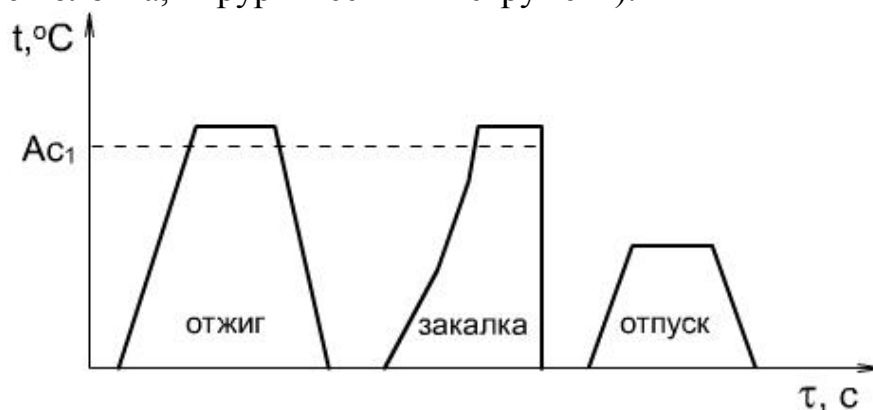


Рис. 7. График термической обработки заэвтектоидной инструментальной стали.

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 (X, 9X, 9XC, 6XВГ) 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 теплостойкостью и пригодны только для резания относительно мягких материалов 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 (11X, 13X) рекомендуются для инструментов диаметром до 15 мм, а стали повышенной прокаливаемостью (9XC, XBCГ) 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 (рис. 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 (рис. 6).

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  $Cr_7C_3$ ,  $Fe_3W_3C_6$ ,  $VC$ , 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 %.

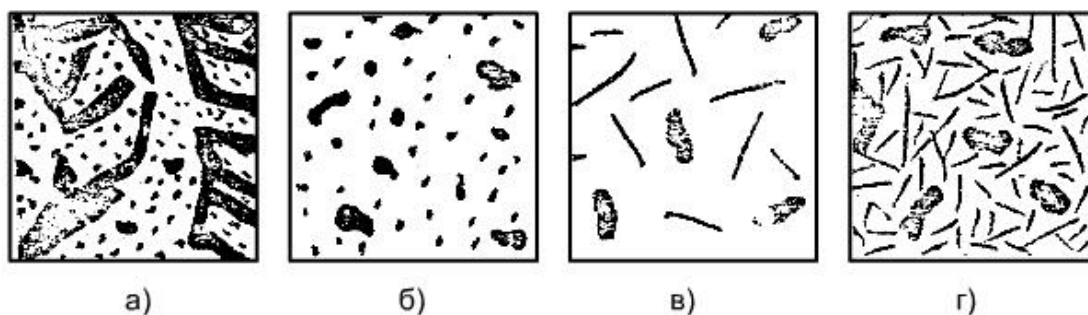


Рис. 8. Схема микроструктуры быстрорежущих сталей.

- 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 ледебурит. 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).

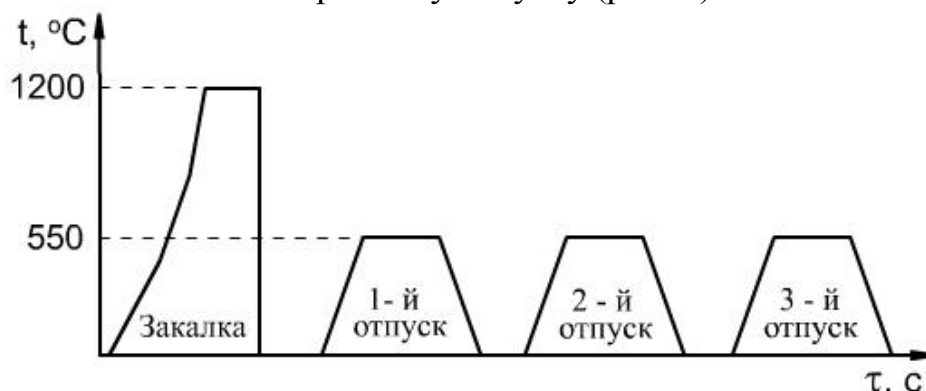


Рис. 9. График термической обработки быстрорежущей стали.  
Режимы термической обработки инструментальных сталей  
приведены в табл. 1, 2, 3.

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 ванадием. 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.

### 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 НRC
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 стали	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

## Список литературы

1. Материаловедение [Текст] : учебник / В. Н. Гадалов [и др.]. - Москва : АРГАМАК-МЕДИА : ИНФРА-М, 2014. - 272 с.
2. Акулова, Л.Ю. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Ю. Акулова, А.Н. Бормотов, И.А. Прошин ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный технологический университет», Минобрнауки России. - Пенза : ПензГТУ, 2013. - 234 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=437130>
3. Материаловедение [Электронный ресурс] : курс лекций / Юго-Западный государственный университет, Кафедра физической химии и химической технологии ; ЮЗГУ ; сост. Е. В. Агеева. - Курск : ЮЗГУ, 2013. - 131 с.
4. Шубина, Нелли Борисовна. Материаловедение [Текст] : учебное пособие для студентов вузов по специальности "Технология машиностроения" направления "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / Н. Б. Шубина. - Москва : Горная книга, 2012. - 161, [1] с.
5. Материаловедение [Электронный ресурс] : методические рекомендации по выполнению практических работ для студентов направления подготовки (специальности) 130400.65 Горное дело для специализации «Открытые горные работы», для специализации «Обогащение полезных ископаемых» / ЮЗГУ ; сост. В. С. Нечаев. - Курск : ЮЗГУ, 2015. - 49 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Лекции по материаловедению. Режим доступа: [http://supermetalloved.narod.ru/lectures\\_materialoved.htm](http://supermetalloved.narod.ru/lectures_materialoved.htm)
2. <http://tm.msun.ru> - электронные учебные пособия по дисциплине «Материаловедение и ТКМ»;
3. <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/encyclopedia/materials.html> - физика в Интернете: материалы.