

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

**Кафедра металлических
и деревянных конструкций**

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И СВАРКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления 270800.62
«Строительство» всех форм обучения

НОВОСИБИРСК 2013

Методические указания подготовлены канд. техн. наук, доцентом
Т.П. Бацуновой

Рассмотрены и утверждены
методической комиссией строительного факультета
12 февраля 2013 года

Рецензенты:

- П.В. Семикин, канд. техн. наук, профессор,
зав. кафедрой строительного производства (НГАХА);
- А.В. Сергеев, канд. техн. наук, доцент кафедры
металлических и деревянных конструкций
(НГАСУ (Сибстрин))

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	
Определение твердости металлов	
по методу Бринелля.....	2
Лабораторная работа № 2	
Микроанализ углеродистых сталей	
в равновесном состоянии.....	8
Лабораторная работа № 3	
Изучение микроструктуры и свойств чугунов	14
Лабораторная работа № 4	
Определение технологических коэффициентов электродов	
при ручной электродуговой сварке.....	20
Лабораторная работа № 5	
Определение ионизирующего действия компонентов	
электродных покрытий	23
Приложение	27

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение твердости металлов по методу Бринелля

Цель работы

Ознакомиться с методикой определения твердости металлов по методу Бринелля.

Приборы, материалы и инструмент

Автоматический рычажный пресс, образцы черных и цветных металлов и сплавов различной толщины, лупа для измерения диаметра отпечатка, шлифовальный станок, напильник.

Теоретические сведения

Твердость металлов измеряют при помощи воздействия на поверхность металла наконечника (индентора), имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы. Индентор изготавливают из малодеформирующегося материала – твердой закаленной стали, алмаза, сапфира или твердого сплава.

Способы определения твердости в зависимости от характера приложения нагрузки и сопротивления вдавливанию индентора подразделяют на статические, динамические и кинетические. По принципу приложения нагрузки различают следующие способы определения твердости: царапанием – характеризует сопротивление разрушению; по высоте отскока бойка – характеризует упругие свойства материала; вдавливанием – сопротивление пластической деформации.

Наибольшее применение в технике получили статические методы испытания на твердость вдавливанием, с плавным приложением заданной нагрузки к поверхности образца и постоянной выдержкой в течение установленного времени. В результате вдавливания поверхностные слои металла, находящиеся под индентором и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток (лунка).

Твердость – свойство металла оказывать сопротивление пластической деформации при внедрении на его поверхность другого, более твердого тела (индентора). Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она про-

текает только в небольшом объеме, окруженном недеформируемым металлом.

Таким образом, твердость, определенная вдавливанием, характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство металла, отличающееся от других его механических свойств способом измерения.

Схема испытания и величина твердости по Бринеллю

Испытание проводят при температурах от $+10$ до $+25^{\circ}\text{C}$ при отсутствии ударов и вибраций. Время выдержки под нагрузкой для черных металлов составляет $10\ldots 15$ с, для цветных металлов и сплавов – $10\ldots 180$ с. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее $4d$, а от центра отпечатка до края образца – не менее $2,5d$. Метод основан на вдавливании в металл под постоянной нагрузкой P стального закаленного шарика диаметром D (рис. 1). После снятия нагрузки в металле образуется отпечаток (лунка) диаметром d .

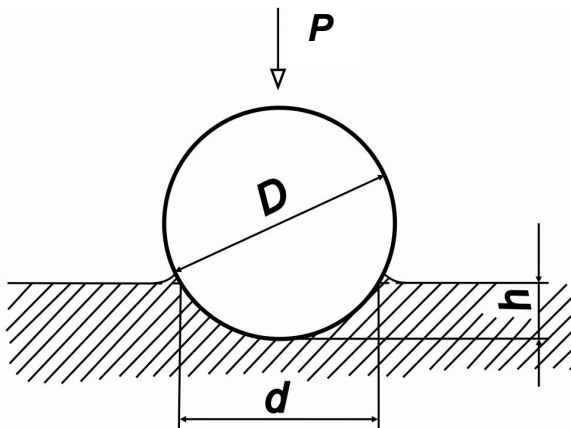


Рис. 1. Схема испытания на твердость по Бринеллю

Твердость по Бринеллю (HB) определяется отношением нагрузки, действующей на шарик, к площади поверхности полученного отпечатка:

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

где P – нагрузка, Н;

F – площадь поверхности шарового отпечатка, мм².

Поверхность F шарового сегмента

$$F = \pi Dh, \quad (2)$$

где D – диаметр вдавливаемого шарика, мм;

h – глубина отпечатка, мм.

Так как глубину отпечатка h измерить трудно, а гораздо проще измерить диаметр отпечатка d , то целесообразно величину h выразить через диаметры шарика D и отпечатка d :

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}. \quad (3)$$

Тогда поверхность F шарового сегмента (мм²)

$$F = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (4)$$

а число единиц твердости по Бринеллю будет характеризоваться формулой

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (5)$$

Выбор диаметра шарика и нагрузки

Шарики различного диаметра ($D = 10; 5$ и $2,5$ мм) применяют в зависимости от толщины испытываемого материала. Нагрузку выбирают в зависимости от качества испытываемого материала:

Толщина образца, мм	Диаметр шарика D, мм ²	Нагрузка Р, Н		
		Сталь, чугун	Медь, латунь	Алюминиевые и магниевые сплавы
Более 6	10	30000	10000	5000
От 3 до 6	5	7500	2500	1250
Менее 3	2,5	1875	625	312

Подготовка прибора и проведение испытания

Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавливаться шарик, обрабатывают наждачным камнем или напильником, чтобы она была ровной, гладкой и на ней не было окалины и других дефектов. Прибором для испытания на твердость по Бринеллю является автоматический рычажный пресс (рис. 2).

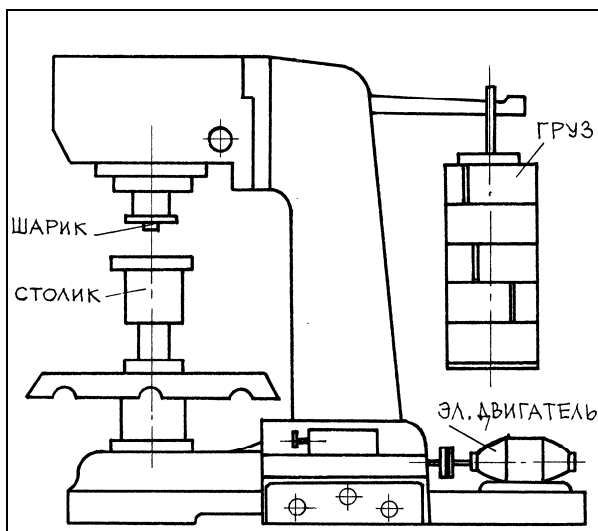


Рис. 2. Схема автоматического рычажного пресса

На подвеску устанавливают грузы, соответствующие выбранной для испытания нагрузке. Наконечник с шариком вставляют в шпиндель твердомера и закрепляют. Вращением рукоятки прижимают образец, установленный на столике, к шарiku до упора, включают электродвигатель и постепенно вдавливают шарик под действием груза. После сигнала звонком вращением рукоятки против часовой стрелки столик опускают, затем снимают образец с полученным отпечатком.

Методика измерения отпечатка и определение твердости

Полученный отпечаток измеряют с помощью лупы в двух взаимно перпендикулярных направлениях; диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений. Лупа (рис. 3) имеет шкалу, малое деление которой равно 0,1 мм.

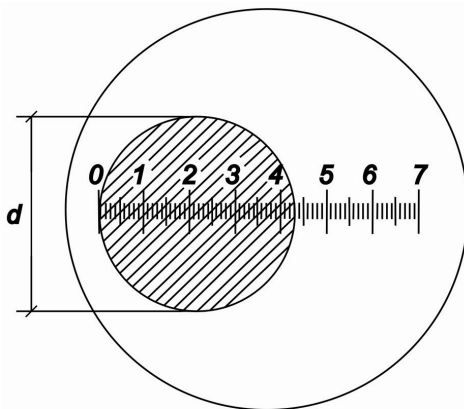


Рис. 3. Отсчет по шкале лупы

Лупу нижней опорной частью надо плотно установить на испытываемую поверхность образца над отпечатком. Поворачивая окуляр, необходимо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены. Затем, передвигая лупу, надо один край отпечатка совместить с началом шкалы. Прочитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка. Данный отсчет и будет соответствовать размеру диаметра отпечатка.

Потом лупу или образец надо повернуть на 90° и измерить диаметр отпечатка второй раз. Среднее арифметическое значение диаметра отпечатка записать в протокол испытаний.

Между временным сопротивлением ($\sigma_{вр}$) и твердостью по Бринеллю (НВ) различных металлов существует следующая приближенная зависимость:

Материал	НВ, МПа	$\sigma_{вр}$, МПа
Сталь	1200 – 1750	$\approx 0,343 \cdot \text{НВ}$
	1750 – 4500	$\approx 0,362 \cdot \text{НВ}$
Медь, латунь, бронза	200 – 450	$\approx 0,55 \cdot \text{НВ}$
Дюралюминий	100 – 120	$\approx 0,35 \cdot \text{НВ}$

Содержание отчета

1. Указать цель работы и написать основные теоретические положения.
2. Провести испытания твердости металлов. Данные занести в протокол испытаний:

Протокол испытаний на твердость по методу Бринелля

Материал, толщина образца, мм	Нагруз-ка Р, Н	Диаметр шарика D, мм	Диаметр отпечатка d, мм			НВ, МПа	$\sigma_{вр}$, МПа
			d ₁	d ₂	d _{ср}		

Примечание. $1 \text{ Н/мм}^2 = 1 \text{ МПа} \approx 0,1 \text{ кгс/мм}^2$.

3. Рассчитать примерные значения временного сопротивления испытанных сплавов. Определить марку стали и содержание углерода в образцах, используя приложение к данным методическим указаниям (табл. П1 и П2).

4. Построить графики зависимости твердости стали от содержания в ней углерода и от величины временного сопротивления.

5. Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Микроанализ углеродистых сталей в равновесном состоянии

Цель работы

Изучить микроструктуры углеродистых сталей, определить примерное содержание в них углерода и установить связь между составом, строением стали и ее свойствами.

Приборы, материалы, инструмент

Металлографические микроскопы, набор микрошлифов углеродистых сталей с различным содержанием углерода в равновесном состоянии, демонстрационный плакат «Диаграмма состояния сплавов железо-цементит».

Теоретические сведения

1. *Микроскопическим анализом* называется исследование структуры металла с помощью микроскопа, а наблюдаемая структура – микроструктурой. *Макроструктурным* называется анализ, выполняемый невооруженным глазом или при увеличении до $30\times$, а наблюдаемая структура – макроструктурой. Микроскопический и макроскопический анализ проводят на специально подготовленных участках изделий – *шлифах*, которые должны давать характеристику всего исследуемого металла.

Для выявления *микроструктуры* металла образцы подвергают химическому травлению. Для травления железоуглеродистых сплавов наиболее универсальным травителем является 5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. В металле случайно ориентированные по отношению к поверхности зёрна вследствие анизотропии свойств имеют различную травимость. Сильнее других участков растравливаются границы зёрен. В результате на поверхности шлифа возникает микрорельеф, видимый в микроскоп.

2. *Микроструктура углеродистых сталей для равновесных условий* характеризуется нижней левой частью диаграммы со-

стояния железо-цементит (рис. 4). *Стальями* называются железо-углеродистые сплавы с содержанием углерода от 0,025 до 2,14%.

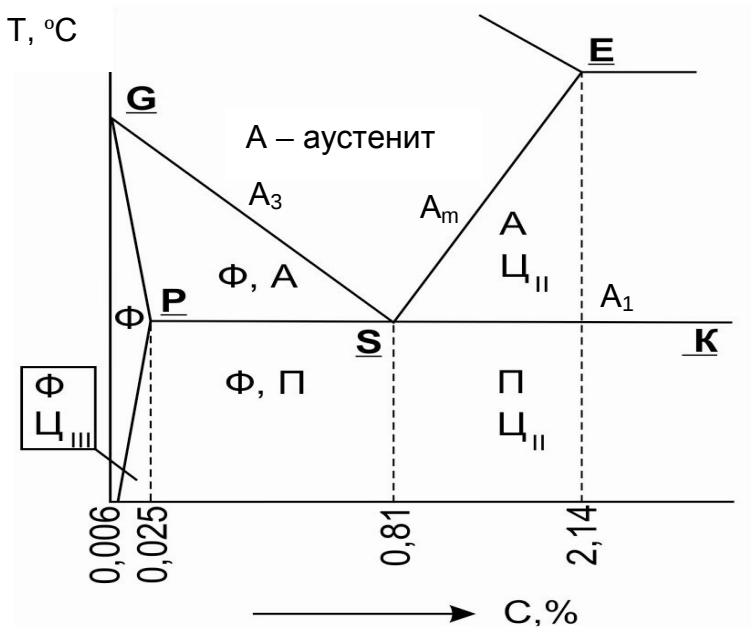


Рис. 4. «Стальной угол» диаграммы железо-цементит

Техническим железом называют сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,025% углерода. Его структура состоит из светлых зёрен феррита с отчетливыми темными границами (рис. 5,а) и имеет низкую твердость и хорошую пластичность. Растворимость углерода в α -железе переменная: с понижением температуры она уменьшается. При температуре 727 °C в α -железе растворяется 0,025% C, а при комнатной температуре – 0,006% углерода.

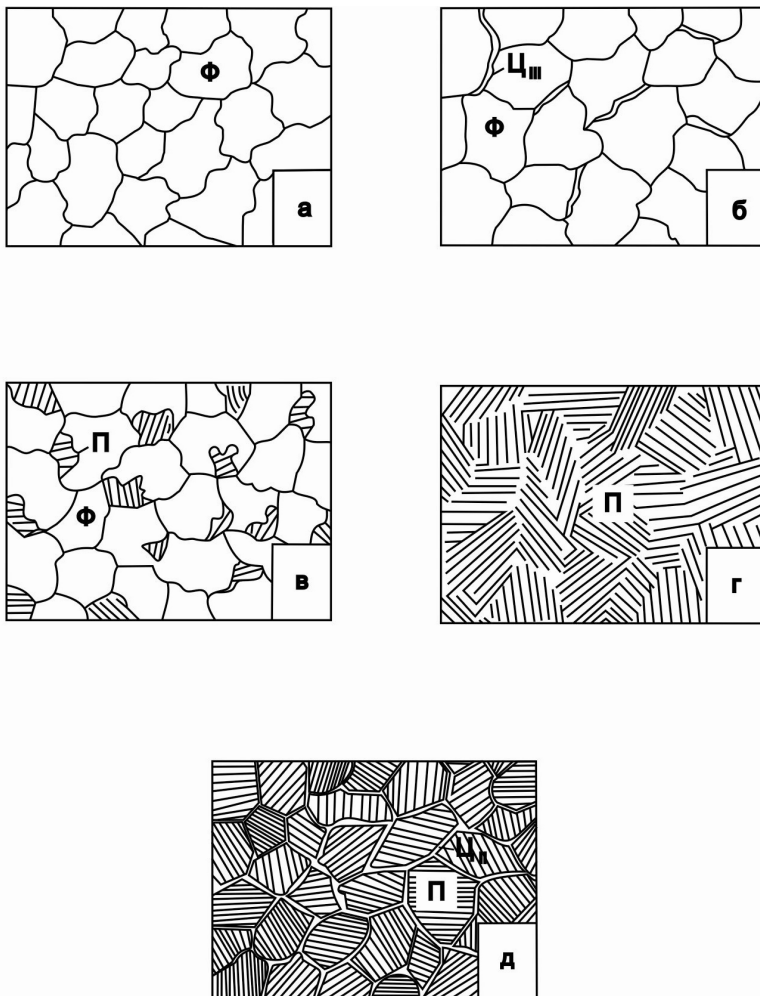


Рис. 5. Схемы структур сталей:
а, б – технического железа; **в** – доэвтектоидной стали;
г – эвтектоидной стали; **д** – заэвтектоидной стали

В связи с этим сплавы железа с содержанием углерода менее 0,006% при +20 °С имеют структуру твердого раствора внедрения углерода в α -железе – **феррита (Ф)**. Механические свойства феррита: относительное удлинение $\delta = 40\%$, твердость по Бринеллю HB 800–1000 МПа, временное сопротивление $\sigma_{вр} = 300$ МПа.

В сплавах с содержанием углерода от 0,006 до 0,025% в связи с понижением растворимости углерода в α -железе и понижением температуры из феррита выделяется третичный цементит (**Ц_{III}**) по границам зёрен феррита (рис. 5,б).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа **Fe₃C**, в состав которого входит 6,67% углерода. Карбид железа рассматривают как самостоятельный компонент. Он очень твердый: HB 8000–10000 МПа, $\sigma_{вр} = 2000$ МПа, хрупкий ($\delta = 0\%$), плохо проводит электрический ток и тепло.

3. Доэвтектоидные стали содержат от 0,025 до 0,8% углерода. Микроструктура этих сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рис. 5,в). При воздействии реактивами на микрошлиф перлитные участки травятся и, вследствие протекания процессов электрохимической коррозии, выглядят темными полями полосчатого строения. Количество перлита и феррита в доэвтектоидной стали зависит от содержания углерода: с увеличением содержания углерода уменьшается количество феррита в структуре и возрастает количество перлита.

Температурные точки, при которых происходят структурные изменения в железоуглеродистых сплавах, называются критическими и обозначаются буквой А. Температуры, соответствующие превращениям в стали с содержанием углерода до 0,8%, начинаются на линии **GS** (см. рис. 4) и обозначаются **А₃**.

4. Микроструктура эвтектоидной стали ($\approx 0,81\%$ C) состоит только из перлита. **Перлит (П)** – дисперсная механическая смесь феррита и цементита, имеющая пластинчатое строение. Перлит получается в результате распада аустенита,

содержащего 0,81% С при температуре 727 °С, и представляет собой двухфазную структуру, состоящую, как правило, из чередующихся пластинок феррита и цементита (рис. 5,г). Механические свойства перлита зависят от дисперсности (измельченности) частичек цементита. Твердость пластинчатого перлита средней дисперсности НВ 1900–2300 МПа, $\sigma_{вр} = 600$ МПа, $\delta = 20\%$.

5. Микроструктура заэвтектоидной стали содержит от 0,81 до 2,14% углерода и состоит из перлита и вторичного цементита (**Ц_{II}**), выделяющегося из аустенита.

В сплавах с содержанием углерода более 0,8% превращение аустенита начинается на линии **SE** (см. рис. 4), с выделением по границам аустенитных зерен избыточного, вторичного цементита **Ц_{II}**. Температурные точки, соответствующие превращениям на линии **SE**, обозначают **A_m**. При температуре 727 °С, обозначаемой **A₁** и соответствующей превращениям на линии **PSK** (см. рис. 4), процесс распада аустенита продолжается с выделением феррита и цементита (перлит), а выделившийся цементит остается без изменения, поэтому структура заэвтектоидной стали при комнатной температуре будет состоять из перлита (темная составляющая) и светлой сетки вторичного цементита (рис. 5,д).

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо, он немагнитен, обладает хорошей ковкостью; твердость НВ 1500–1800 МПа, $\sigma_{вр} = 600$ МПа, $\delta = 60\%$.

6. Определение содержания углерода в стали

По микроструктуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно приблизительно определить содержание углерода и установить марку стали.

В доэвтектоидной стали практически весь углерод находится в перлите (растворимость углерода в феррите при температуре +20 °С составляет лишь 0,006%). Содержание углерода в стали можно определить по формуле

$$C = \frac{\Pi \cdot 0,8}{100}, \quad (6)$$

где Π – площадь, занимаемая перлитом, %.

В заэвтектоидной стали содержание углерода вычисляется следующим образом:

$$C = \frac{П \cdot 0,8 + Ц \cdot 6,67}{100}, \quad (7)$$

где П и Ц – площади, занимаемые перлитом и цементитом соответственно, %.

Порядок выполнения работы

1. Изучить микроструктуры углеродистых сталей на микроскопе, определить структурные составляющие, фазовый состав и указать группу сталей: доэвтектоидная, эвтектоидная и заэвтектоидная.
2. По микроструктуре предложенных сталей определить содержание углерода в образцах.
3. Зарисовать схемы изученных микроструктур стали.

Содержание отчета

1. Указать цель работы и написать основные теоретические положения.
2. Вычертить «стальной угол» диаграммы состояния сплавов системы Fe-Fe₃C и дать определение структурным составляющим сплавов.
3. Схематически зарисовать микроструктуры стали.
4. По микроструктурному анализу образцов стали указать: марку стали, механические свойства, приблизительный химический состав, качество, назначение и область применения, используя приложение к данным методическим указаниям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение микроструктуры и свойств чугунов

Цель работы

Научиться определять по виду микроструктуры чугуна белые, серые обыкновенные, высокопрочные и ковкие.

Приборы, материалы, инструмент

Металлографические микроскопы, наборы микрошлифов различных чугунов в нетравленном и травленном виде, демонстрационный плакат «Диаграмма состояния сплавов железо-цементит».

Теоретические сведения

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы, содержащие от 2,14 до 6,67% углерода. По химическому составу чугуны отличаются от сталей более высоким содержанием углерода и постоянных примесей (Si, Mn, S, P). Основные свойства чугунов зависят от химического состава, количества, формы, величины и характера распределения графитовых включений, структуры металлической основы.

Белый чугун получается при быстром охлаждении жидкого чугуна, когда растворенный в чугуне углерод не успевает выделиться в свободном состоянии в виде графита, а весь оказывается связанным с железом в виде химического соединения Fe_3C (*цементит*). Такой чугун в изломе имеет белый матовый цвет. Характерная особенность белых чугунов – наличие в них твердых и малопластичных составляющих: цементита и ледебурита (цементитная эвтектика). **Ледебурит (Л)** в момент образования при температуре 1147 °С (рис. П1) состоит из механической смеси аустенита и цементита. При 727 °С эвтектика состоит из цементита (эвтектического и вторичного) и аустенита, который при этой температуре превращается в перлит.

По структуре белые чугуны делят на три группы: доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

Доэвтектические чугуны (2,14...4,3% С) имеют в микроструктуре три составляющие: ледобурит, перлит и вторичный цементит (рис. 6,а).

Эвтектический чугун (4,3% С) имеет структуру ледобурита, представляющего собой равномерную механическую смесь перлита и цементита (рис. 6,б).

Заэвтектический чугун (4,3...6,67% С) характеризуется двумя структурными составляющими: ледобуритом и первичным цементитом в виде крупных вытянутых светлых пластин (рис. 6,в).

Белые чугуны очень твердые и хрупкие, плохо поддаются обработке режущим инструментом. Отливки из белого чугуна применяют в случаях, когда детали не требуют механической обработки и не подвергаются в процессе эксплуатации ударным нагрузкам (дробильные шары, валки прокатных станов и др.). Кроме того, белые чугуны идут на переделку в сталь и для получения ковкого чугуна.

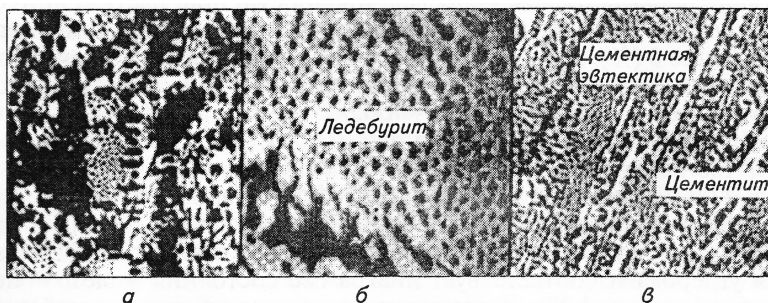


Рис. 6. Микроструктуры белых чугунов:

а – доэвтектического; б – эвтектического; в – заэвтектического

Серый чугун. Структура серого чугуна состоит из металлической основы (ее определяют после травления шлифа) и включений графита (их определяют на нетравленных шлифах), вкрапленных в эту основу. Если жидкий чугун охлаждается медленно, что обусловлено толщиной стенок изложниц или форм, то углерод успевает диффундировать и выделиться в свободном состоянии в виде графита.

Процессу графитизации способствует присутствие в чугуне кремния, алюминия или кальция. Такой чугун имеет серый цвет в изломе и называется серым. Обыкновенный серый чугун марки **СЧ** содержит графит в виде *пластинчатых включений* (рис. 7,а). Пластинчатый графит нарушает сплошность металлической основы, создает концентраторы напряжений, поэтому серый чугун имеет сравнительно невысокие значения предела прочности при растяжении и низкую пластичность.

В зависимости от состава и скорости охлаждения отливок, структура металлической основы серых чугунов может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной (рис. 7,г). При одинаковом характере графитных включений чугун с преобладающим количеством перлита (перлитный чугун) имеет более высокие механические свойства, чем чугун с преобладающим количеством феррита.

Наибольшее влияние на свойства чугуна оказывает графит. Он обеспечивает антифрикционные свойства (низкий коэффициент трения) и невысокий коэффициент термического расширения, гасит упругие колебания, делает чугун нечувствительным к надрезам.

Ковкий чугун (марка **КЧ**) получают специальным (двойным) отжигом белого доэвтектического чугуна, содержащего 2,2...3,2% С. Первая стадия графитизирующего отжига происходит при температуре 950–1000 °С, вторая – при температуре 700–720 °С. В результате отжига образуется графит *хлопьевидной формы*, который выделяется при распаде цементита (рис. 7,б). Хлопьевидная форма графита способствует повышению пластических свойств: чугун лучше переносит ударные нагрузки, обладает достаточной ударной вязкостью. В зависимости от полноты проведения двойного отжига белого чугуна металлическая основа ковкого чугуна может быть ферритной или ферритно-перлитной (рис. 7,д). Продолжительность двойного отжига 70...80 ч. Из ковкого чугуна изготавливают детали, работающие при ударных и вибрационных нагрузках. Этот чугун уступает высокопрочному чугуну по прочности и технологичности.

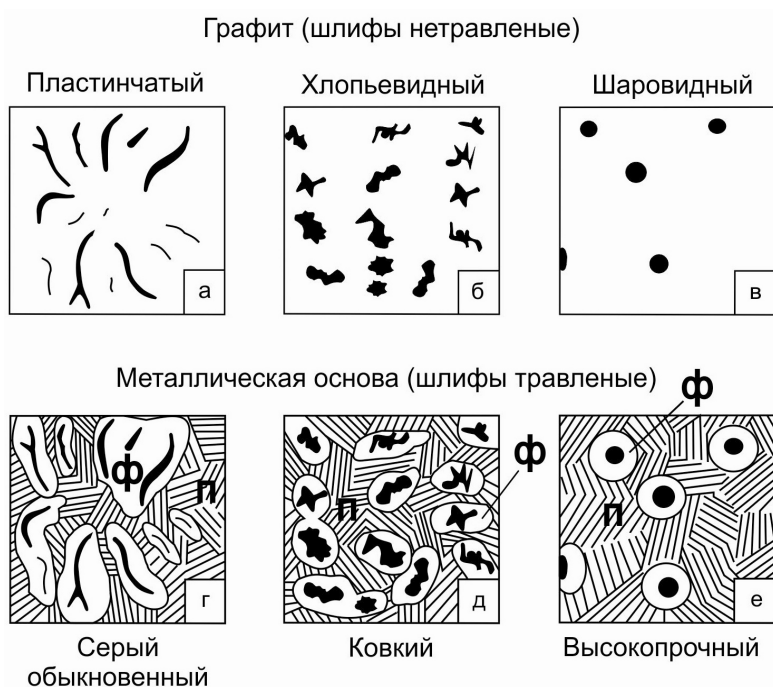


Рис. 7. Формы графита в чугунах:
а – пластиначатая; **б** – хлопьевидная; **в** – шаровидная.
 Микроструктуры металлической основы чугунов:
г – серый; **д** – ковкий; **е** – высокопрочный

Высокопрочный чугун получают медленным охлаждением и двойным модифицированием, т.е. введением в жидкий серый чугун двух модификаторов: ферросилиция для создания большого количества центров кристаллизации графита и магния или церия для получения графита *шаровидной формы* (рис. 7,в). Такой чугун называют высокопрочным (марка **ВЧ**) или модифицированным. Шаровидная форма графита не нарушает сплошности металлической основы и не создает концентраторов напряжений, что способствует повышению прочности и пластичности. Из этого чугуна изготавливают детали ответст-

венного назначения (корпуса подшипников, распределительные и коленчатые валы карбюраторных двигателей, корпуса редукторов и др.).

Высокопрочный чугун может иметь перлитную, феррито-перлитную и ферритную металлическую основу, в которой располагаются шаровидные графитные включения, окруженные пояском из феррита (рис. 7,е).

Наибольшее влияние на свойства чугуна оказывает графит: чем меньше графитных включений, чем мельче и больше они изолированы друг от друга, тем выше прочностные характеристики чугуна при одной и той же металлической основе.

Структура металлической основы чугунов с графитом определяется количеством связанного углерода ($C_{\text{связ}}$). Различают следующие структуры металлической основы серых чугунов:

- если $C_{\text{связ}}$ в пределах от 0 до 0,03%, то структура металлической основы – ферритная;
- если $C_{\text{связ}}$ в пределах от 0,03 до 0,8%, то имеем феррито-перлитную структуру металлической основы;
- если $C_{\text{связ}} = 0,8\%$, то структура металлической основы – перлитная.

Порядок выполнения работы

1. Изучить на микроскопе нетравленные микрошлифы серого, высокопрочного и ковкого чугунов; определить по форме графита название чугуна.
2. Изучить на микроскопе травленные микрошлифы чугунов и определить их структурные составляющие.
3. Зарисовать схемы микроструктур чугунов всех видов, указать марку чугуна и его свойства.

Содержание отчета

1. Указать цель работы и написать основные теоретические положения.
2. Вычертить участок диаграммы состояния железо-цементит для чугунов.

3. Зарисовать и описать микроструктуры видов чугунов с указанием их структур, свойств и области применения.

4. Оценить влияние формы графита на механические свойства чугунов. Указать наименование чугуна, его структурные составляющие, условия получения и механические свойства (по справочнику).

5. Сделать выводы.

Вывод 1. Сравнивая структуры белого и серого чугунов, необходимо отметить, что в белом чугуне весь углерод находится в состоянии в виде, а в сером – в состоянии в виде

Вывод 2. Сравнивая микроструктуры серых чугунов обычного и высокопрочного, необходимо отметить, что в обычном сером чугуне весь углерод находится в виде формы, а в высокопрочном – формы, чем и обуславливается его повышенная прочность.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение технологических коэффициентов электродов при ручной электродуговой сварке

Цель работы

Определить величину коэффициентов расплавления K_p , наплавки K_H и коэффициента потерь Φ в зависимости от силы сварочного тока.

Приборы, материалы, оборудование

Сварочный трансформатор, весы рычажные с разновесами, трансформатор тока, линейка, штангенциркуль, секундомер, пластины из низкоуглеродистой стали для наплавки, электроды марок МР-3 и УОНИ 13/55.

Теоретическая часть

Технологические коэффициенты при электродуговой сварке характеризуют экономическую эффективность и правильность выбора режима сварки.

При установившемся режиме сварки плавление электрода под действием дуги происходит равномерно, поэтому *количество расплавленного металла электрода* G_p (г) приближенно можно определить по следующей зависимости:

$$G_p = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 10^3} (L_{\text{э}} - L_o) \cdot \gamma, \quad (8)$$

где d – диаметр электрода, мм;

$L_{\text{э}}$ – длина электрода до сварки, мм;

L_o – длина огарка электрода после сварки, мм;

γ – удельный вес стали (7,8 г/см³).

Тогда коэффициент расплавления

$$K_p = \frac{G_p}{I \cdot t} \cdot 3600 \text{ г/(А·ч)}, \quad (9)$$

где I – сила тока, А;

t – чистое время горения дуги, с;

G_p – количество расплавленного электродного металла, г.

Значение коэффициента K_p зависит от марки электрода, состава его покрытия, химического состава электродной проволоки, рода и полярности тока.

Для электродов со стабилизирующим покрытием типа Э-34 (меловые, марки А-1, КЭ, МТ, ВИАМ-25) $K_p = 7 \dots 9 \text{ г/(А·ч)}$, для качественных электродов типов Э-42, Э-42А, Э-46, Э-46А, Э-50, Э-50А и других $K_p = 9 \dots 15 \text{ г/(А·ч)}$.

Количество наплавленного металла (г) определяется следующим образом:

$$G_H = G_C - G_O, \quad (10)$$

где G_C – вес образца после сварки, г;

G_O – вес образца до сварки, г.

Коэффициент наплавки K_H определяется по формуле:

$$K_H = \frac{G_H}{I \cdot t} \cdot 3600 \text{ г/(А·ч)}, \quad (11)$$

где G_H – количество наплавленного металла, г.

Поскольку расплавленный металл электрода частично разбрызгивается, испаряется и переходит в шлак в процессе горения дуги, то коэффициент наплавки обычно меньше, чем коэффициент расплавления, примерно на $2 \dots 4 \text{ г/(А·ч)}$.

Коэффициент потерь ϕ определяется по формуле:

$$\phi = G_p - G_n / G_p \cdot 100\% \text{ или } \phi = K_p - K_n / K_p \cdot 100\%. \quad (12)$$

Величина ϕ находится в пределах 5...30%.

Порядок выполнения работы

1. Взвесить опытный образец (пластину) до сварки.
2. Измерить длину электрода.
3. Наплавить сварной валик, одновременно определяя силу сварочного тока как среднюю величину за все промежутки времени горения дуги.
4. С поверхности образца удалить шлак и брызги металла на основном металле (пластине).
5. Взвесить образец после сварки и измерить длину огарка электрода.
6. Повторить опыты 3...6 раз при трех различных значениях сварочного тока.

Содержание отчета

1. Указать цель работы, перечень оборудования, приборов, материалов, применяемых при проведении работы.
2. Написать основные теоретические положения.
3. Результаты опытов занести в протокол испытаний:

Технологические параметры ручной электродуговой сварки

Марка электрода	d, мм	I, А	G _о , г	G _с , г	G _н , г	L _э , мм	L _о , мм	G _р , г	K _р , г/А·ч	K _н , г/А·ч	φ, %

4. Построить графики зависимости технологических коэффициентов K_р, K_н, коэффициента потерь ϕ от силы сварочного тока и определить оптимальное значение силы тока.
5. Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Определение ионизирующего действия компонентов электродных покрытий

Цель работы

Определить влияние ионизирующей способности компонентов электродных покрытий на устойчивость дугового разряда.

Приборы, материалы, оборудование

Сварочный трансформатор, оборудованный амперметром и вольтметром, стальная пластина, штатив для электродов. Стальные электроды (голые), электроды МР-3, электроды УОНИ 13/55, ЦМ-7, мел (CaCO_3), песок (SiO_2).

Теоретическая часть

Сварочная дуга, которая является источником тепла при электродуговой сварке, должна быть достаточно стабильной. Чтобы повысить устойчивость дуги, нужно увеличить степень ионизации газовой среды в промежутке между электродом и металлом изделия. Для этого в покрытия электродов (а также в состав флюсов при автоматической и полуавтоматической сварке) вводят ионизирующие вещества. В качестве ионизирующих веществ используют вещества с низким потенциалом ионизации и летучестью – соли натрия, калия и кальция, что обеспечивает высокую ионизацию дугового промежутка.

В обмазки электродов (и во флюсы), кроме ионизирующих веществ, вводят шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие и связывающие вещества. Некоторые из этих веществ, например плавленый шпат, кремнезем, руда, а также песок, ржавчина, влага и масло, снижают устойчивость сварочной дуги.

В качестве характеристики устойчивости сварочной дуги обычно принимается ее *разрывная длина*, т.е. расстояние между торцом электрода и наплавленным металлом в момент обрыва дуги.

Порядок выполнения работы

1. В режиме короткого замыкания вращением рукоятки дросселя по амперметру, включенному в сварочную цепь (через трансформатор тока), установить нужную ступень тока ($I \approx 100 \text{ A}$).

2. При отключенном рубильнике в штативе 1 (рис. 8) зажать электрододержатель 2 с электродом или голой сварочной проволокой 3. Зазор между стальной пластиной 4 и концом электрода должен быть примерно 2...3 мм. Основание штатива изолировано от сварочного стола 5 резиновой прокладкой 6.

3. В зазор на поверхность пластины внести исследуемое вещество. Включить рубильник и с помощью неплавящегося (угольного или графитового) электрода замкнуть зазор.

4. После обрыва дуги отключить напряжение и мерным клином (цена деления 0,1 мм) измерить разрывную длину дуги. Опыт повторить 3 раза и найти среднее значение разрывной дуги.

5. Затем повторить опыты для следующих значений тока: I_1 , I_2 , I_3 .

6. В такой же последовательности провести опыты после внесения в зазор другого вещества или применения другой марки электрода. Предварительно с поверхности пластины необходимо удалить частицы первого вещества.

7. Данные занести в протокол испытаний.

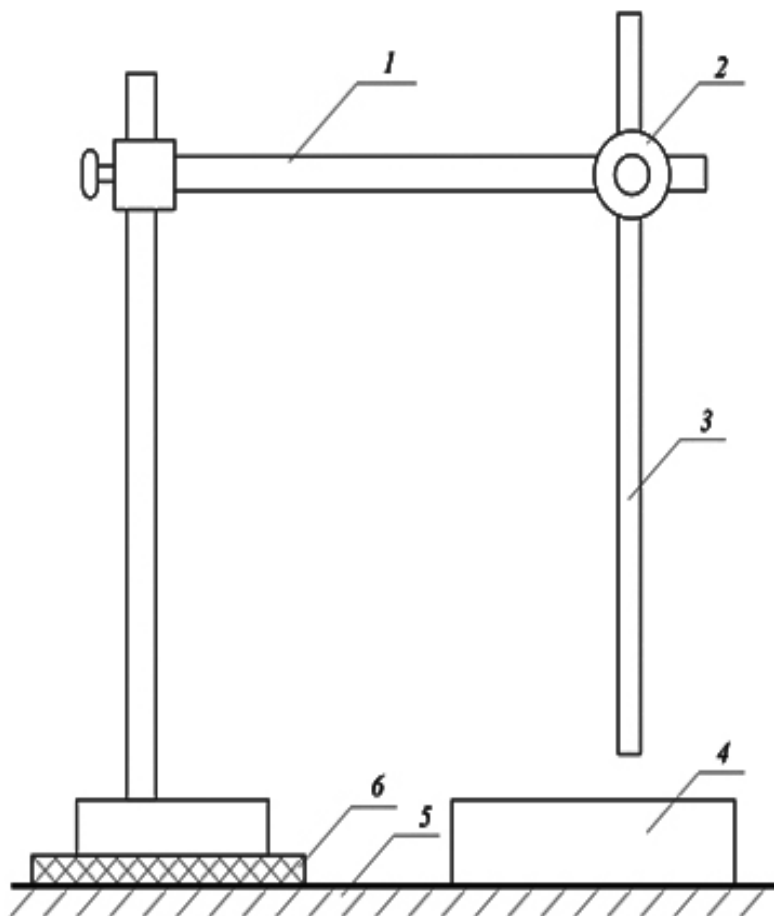


Рис. 8. Установка для работы методом «разрывной дуги»:
 1 – штатив; 2 – электрододержатель; 3 – электрод (стальная проволока); 4 – стальная пластина; 5 – сварочный стол;
 6 – резиновая прокладка

В работе проводятся две серии опытов. В первой серии изучается ионизирующее действие различных компонентов покрытий. Для этого определяется разрывная длина дуги для голой сварочной проволоки, для проволоки с добавкой различных исследуемых веществ (мел, сода, поташ, плавиковый шпат, поваренная соль, окалина и т.д.), а также для двух-трех марок качественных электродов (МР-3, ЦМ-7, УОНИ).

Во второй серии опытов изучается влияние силы сварочного тока на стабильность дуги. Для этого определяется разрывная длина дуги при трех-четырёх значениях силы тока для каждого опыта первой серии.

Содержание отчета

1. Указать цель работы, перечень оборудования, приборов, материалов, применяемых при проведении работы.
2. Начертить эскиз установки.
3. Результаты опытов свести в таблицу:

Значения разрывной длины дуги (мм)

Название компонентов	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А
-------------------------	-----------	-----------	-----------

4. Построить график зависимости разрывной дуги от силы сварочного тока для различных компонентов.
5. Сделать выводы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Механические свойства строительных сталей (толщина проката 100–5 мм)

Марка стали	Механические характеристики			Ударная вязкость КСУ (кгс·м/см ²) при температуре, °С			
	Предел текучести $\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм ²	Временное со- противление $\sigma_{\text{т}}$, кгс/мм ²	Относи- тельное удлинение $\delta_{\text{с}}$, %				
				+20	–20	–40	–70
Стали обыкновенного качества (ГОСТ 535-88)							
Ст2пс	22 – 19	34 – 44	33 – 30	–	–	–	–
Ст2сп	22 – 19	34 – 44	33 – 30	–	–	–	–
Ст3пс	25 – 21	38 – 49	26 – 23	10 – 7	5 – 3	–	–
Ст3сп						–	–
Ст4пс	27 – 24	42 – 54	24 – 21	10 – 7	5	–	–
Ст4сп						–	–
Ст5пс	29 – 27	50 – 64	20 – 17	–	–	–	–
Ст5сп						–	–
Ст6пс	29 – 32	≤ 60	15 – 12	–	–	–	–
Ст6сп						–	–

Окончание таблицы П1

Марка стали	Механические характеристики			Ударная вязкость KCU (кгс·м/см ²) при температуре, °C			
	Предел текучести σ _в , кгс/мм ²	Временное сопротивле- ние σ _т , кгс/мм ²	Относи- тельное удлинение δ _s , %	+20	–20	–40	–70
Качественные углеродистые стали (ГОСТ 1577-93)							
10кп	20 – 21	33 – 34	33 – 31	–	–	–	–
10пс				–	–	–	–
20кп	28 – 23	38 – 46	26 – 23	–	–	–	–
20пс				–	–	–	–
Низколегированные стали (ГОСТ 19281-89)							
09Г2	31 – 30	44 – 40	23 – 21	–	–	3	–
14Г2	34 – 33	46 – 47	23 – 21	–	–	3	–
09Г2С	35 – 27	50 – 44	23 – 21	6	–	3	2,5
15ХСНД	38 – 35	54 – 52	21 – 19	–	–	3	3
10Г2С1	38 – 32	52 – 46	22 – 21	6	–	3	2,5
10ХСНД	42 – 40	54 – 52	21 – 19	–	–	5	3
14Г2АФ	42 – 40	55 – 52	20 – 19	–	–	–	–
14ХГС	35	50	22	–	–	4	–

Таблица П2

Химический состав строительных сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-05)								
Ст2пс Ст2сп	0,09 – 0,15	0,25 – 0,5	0,05 – 0,15	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 0,04	–	
			0,15 – 0,30					
Ст3пс Ст3сп	0,14 – 0,22	0,4 – 0,65	0,05 – 0,15					
			0,15 – 0,30					
Ст4пс Ст4сп	0,18 – 0,27	0,4 – 0,7	0,05 – 0,15					
			0,15 – 0,30					
Ст5пс Ст5сп	0,28 – 0,37	0,5 – 0,8	0,05 – 0,15					
			0,15 – 0,30					
Ст6сп	0,38 – 0,49	0,5 – 0,8	0,15 – 0,35					
Качественные углеродистые стали (ГОСТ 1050-88)								
10кп 10пс	0,07 – 0,14	0,25 – 0,5	0,07	0,15	–	–	0,03	–
			0,05 – 0,17					
20кп	0,25 – 0,5	0,4 – 0,65	0,07	0,15	–	0,04		–
20пс	0,35 – 0,65		0,05 – 0,17					

Окончание таблицы П2

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
<i>Низколегированные стали (ГОСТ 19281-89)</i>								
09Г2сп	$\leq 0,12$	1,4 – 1,8	0,17 – 0,37	$\leq 0,3$		–	–	–
14Г2сп	0,12 – 0,18	1,2 – 1,6	0,7 – 0,37			–		–
09Г2С	$\leq 0,12$	1,3 – 1,7	0,5 – 0,8			–		0,15 – 0,3
15ХСНД	0,12 – 0,18	0,4 – 0,7	0,4 – 0,7	0,6 – 0,9	0,3 – 0,6	$\leq 0,03$	0,07 – 0,12	0,2 – 0,4
10Г2С1	$\leq 0,12$	1,3 – 1,65	0,8 – 1,1	$\leq 0,3$		–	0,07 – 0,12	$\leq 0,3$
10ХСНД	$\leq 0,12$	0,5 – 0,8	0,8 – 1,1	0,6 – 0,9	0,5 – 0,8	–	–	0,4 – 0,6
14Г2АФ	0,12 – 0,18	1,2 – 1,6	0,3 – 0,6	$\leq 0,4$		–	–	$\leq 0,3$

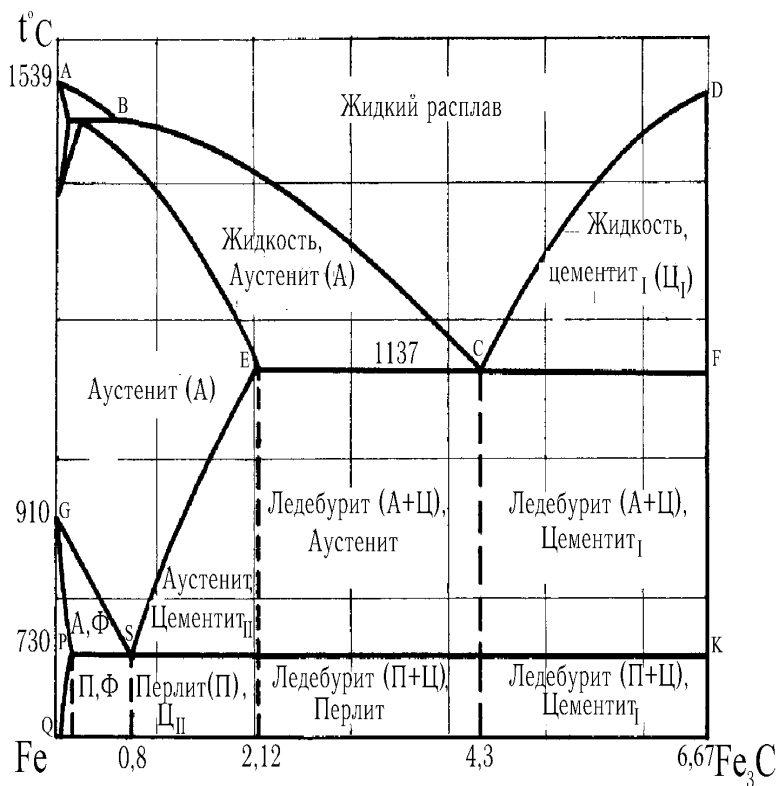


Рис. П1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

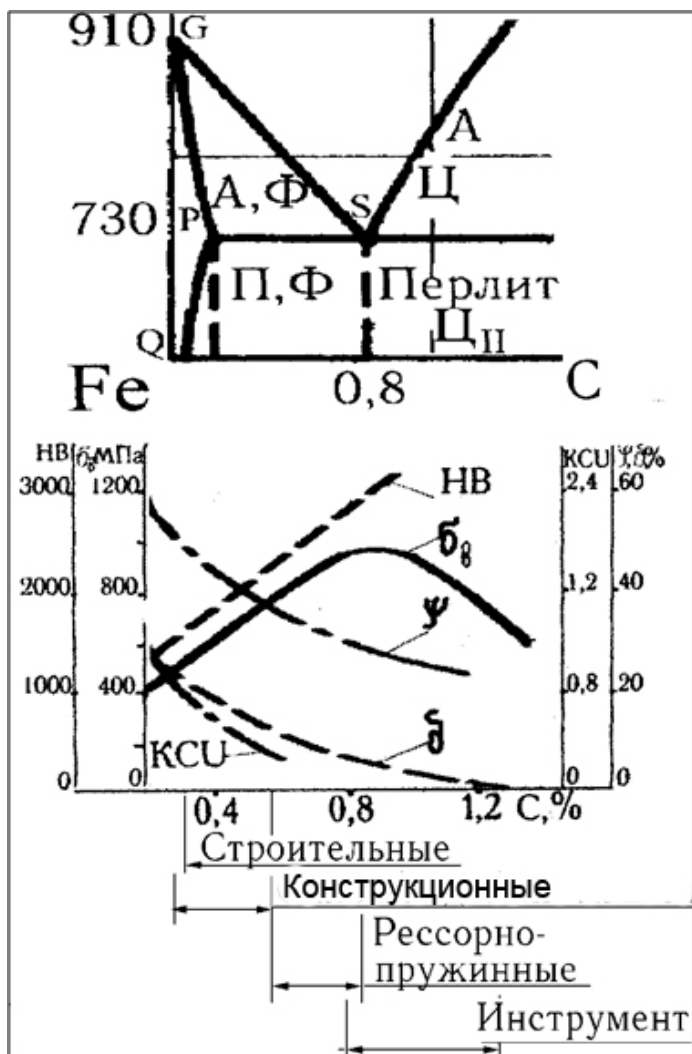


Рис. П2. Классификация и свойства сталей

Составитель
Татьяна Павловна Бацунова

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И СВАРКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления 270800.62
«Строительство» всех форм обучения

Редактор А.В. Тренина

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 54.НС.05.953.П.006252.06.06 от 26.06.2006 г.
Подписано к печати 27.03.2013. Формат 60 × 84 ¹/₁₆ д.л.
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Ризография.
Объем 2,25 п.л. Тираж 150 экз. Заказ №

Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Отпечатано мастерской оперативной полиграфии
НГАСУ (Сибстрин)