

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И СВАРКА

Методические указания
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Строительные материалы»
для студентов обучающихся по
направлению 270800 «Строительство»
190700 «Технология транспортных процессов»
190100 «Наземные транспортно-технологические комплексы»

Казань
2013

УДК 691.7

ББК 30.3

Смирнов Д.С.

Смирнов Д.С.. Методические указания «Металловедение и сварка» к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Строительные материалы»; Сост.: Д.С. Смирнов. Казань, КГАСУ, 2013. – 32 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Рецензент: профессор кафедры ТСМиК, д.т.н. Абдрахманова Л.А.

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2013.

© Смирнов Д.С., 2013.

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к лабораторным работам рассчитаны для студентов, обучающихся по направлению 270800 «Строительство», 190700 «Технология транспортных процессов», 190100 «Наземные транспортно-технологические комплексы». Методические указания состоят из четырех лабораторных работ, каждая из которых рассчитана на 4 часа:

1. Металлографический макроанализ;
2. Металлографический микроанализ железоуглеродистых сплавов, установление связей между структурой и свойствами;
3. Исследования влияния температуры нагрева и скорости охлаждения при термической обработке на структуру и механические свойства стали
4. Электроконтактная сварка.

Методические указания составлены в помощь студентам при выполнении ими лабораторных работ и не заменяют теоретической части данного курса. В процессе выполнения работ студенты знакомятся с кристаллическим строением металлов, видами его термической обработки, способами электроконтактной сварки, а также с приборами, применяемыми для технической экспертизы металлических изделий и технологией контактной сварки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

1. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МАКРОАНАЛИЗ

Все металлы в твердом состоянии – кристаллические тела. Кроме химического состава на свойства металлов и сплавов значительное влия-

ние оказывает их кристаллическое строение. Кристаллическое строение металлов и сплавов изменяется в зависимости от условий выплавки и последующей обработки.

Внутреннее строение металлов изучает металлографический анализ. Если структура металла видна не вооруженным глазом или требуется увеличение до тридцати кратного – это *макроанализ*. Цель металлографического анализа – отработка технологических режимов или технологическая экспертиза.

Образцы для анализа вырезаются любым механическим способом, после чего поверхность образцов шлифуется и полируется. Важно в процессе резания, шлифовки и полировки не перегревать образцы, т.к. это может привести к изменению структуры металла. Структура металла определяется в результате травления отполированной поверхности образца. Образцы, подготовленные к травлению, называют шлифами.

Металлографический макроанализ применяют для изучения волокнистости изделия, структуры сварного шва, определения глубинных слоев металла, полученных в результате химико-термической обработки и др. макрохарактеристик структуры.

1.1. Определение волокнистости изделия.

В результате обработки металла давлением его кристаллы вытягиваются в направлении действия силы, приобретая волокнистое строение. Расположение волокон показывает, как изготовлена деталь: методом резания или обработкой давлением.

Для выявления макроструктуры деформированного в горячем или холодном состоянии металла применяется следующий реактив:

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. Серная кислота H_2SO_4 | 60 см ³ . |
| 2. Хромпик $K_2Cr_2O_7$ | 25 г. |
| 3. Вода H_2O | 500 г. |

В этом составе образец после тщательной шлифовки травиться в течение 5-6 часов, затем промывается водой и сушится. После промывки выявляются направления волокон в макрошлифе.

1.2. Определение структуры сварного шва

Недостатки, снижающие физико-химические, механические и др. свойства сварных швов, называются дефектами или пороками. Дефекты сварных швов разделяются на внешние и внутренние.

К внешним дефектам относят: геометрические отклонения, трещины, подрезы, наплывы. К внутренним дефектам относят: поры, шлаковые включения, непровар корня шва, внутренние трещины.

Подготавливается шлиф сварного шва, затем этот образец травиться в течении 1-2 минут в химическом реактиве следующего состава:

- | | |
|---|--------|
| 1. Хлористый аммоний NH_4Cl | 58 г. |
| 2. Хлорная медь CuCl_2 | 85 г. |
| 3. Вода H_2O | 100 г. |

После травления образец быстро переносится под сильную струю воды, а осевшая медь прочищается ваткой. При осмотре протравленной части образца выявляются дефекты сварного шва. Наиболее распространенными из них являются непровар, газовые пузыри, шлаковые включения, пережог и др.

1.3. Определение глубины цементации.

Цементацией называют технологический процесс диффузионного насыщения углеродом стальных деталей Цементация это один из видов химико-термической обработки сталей.

Для определения глубины цементации подготовленный шлиф травиться в 3-5 % растворе азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте в те-

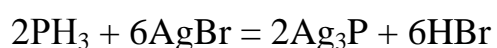
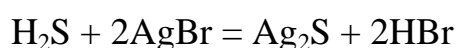
чение 1-5 сек., а затем промывается водой и сушиться. При осмотре макрошлифа после травления зона цементации выделена темным слоем, глубина которого оценивается с помощью штангенциркуля.

1.4. Определение ликваций серы и фосфора.

Большое влияние на свойства металлов оказывает химическая неоднородность, зависящая как от природы металла, так и от условий производства, условий разлива, режима термической обработки. Ликвациями называют неравномерные распределения компонентов сплава по объему отливки.

Наличие серы и фосфора в сталях ухудшают ее механические свойства. Сера образует с железом эвтектику (Fe_2S), снижая температуру плавления, и прочность стали при повышенных температурах. Это явление получило название **красноломкость**. Фосфор образует с железом фосфид железа, который выделяясь по границам кристаллических зерен, снижает прочность стали при пониженных температурах. Это явление получило название **синеломкость или хладоломкость**.

Ликвации серы и фосфора выявляются методом Баумана. Бромсеребрянную фотобумагу смачивают на свету 5 % водным раствором серной кислоты и накладывают на подготовленный макрошлиф и выдерживают в течение 3-5 минут. При наличии в стали включений сульфидов и фосфидов последние взаимодействуют с серной кислотой, выделяя газообразные сероводород (H_2S) и фосфин (PH_3). В месте выделения эти газы взаимодействуют с бромистым серебром светочувствительного слоя фотобумаги:



Далее бумага снимается с макрошлифа и фиксируется в растворе гипосульфита. Выделяющиеся Ag_2S и Ag_3P черного цвета не растворяются

в гипосульфите. Если бумага была плотно прижата к макрошлифу, то выделения Ag_2S и Ag_3P образуются в тех местах, где были включения фосфидов и сульфидов. В местах, соприкасающихся с включениями, бумага будет окрашена в темно-коричневый цвет.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ.

2.1. Определение твердости по Бринеллю

Твердость определяется вдавливанием в изделие стального шарика определенного диаметра (D) с определенной нагрузкой (P).

Число твердости по Бринеллю $HВ$ (H/m^2) равно отношению нагрузки к площади отпечатка (F).

$$HВ = P / F = P / \pi D h = 2P / \pi (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

где d – диаметр отпечатка, измеренный после снятия нагрузки, h – глубина отпечатка, вычисленная по D и d .

Для определения твердости металла применяют шарики следующих диаметров: 2,5 мм; 5 мм и 10 мм, для металла толщиной, соответственно, до 3 мм; 3-6 мм; более 6 мм.

Между диаметром шарика и нагрузкой существует определенная зависимость:


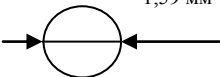

- Для черных металлов $P = 30 D^2$;
- Для меди, латуни, бронзы $P = 10 D^2$;
- Для алюминия и его сплавов $P = 2,5 D^2$.

2.2. Определение твердости по Роквеллу.

В поверхность испытуемого материала вдавливают наконечник под действием предварительной ($P_1 = 100$ Н) и окончательной (P_2) нагрузок. В качестве наконечников для твердых металлов применяют алмазный конус

с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм для мягких металлов. В зависимости от типа испытуемого материала выбирается тип наконечника и назначается окончательная нагрузка. (см. табл. 1). Показания снимают по одной из шкал прибора (А, В или С). В зависимости от шкалы, по которой определяют число твердости, приняты следующие обозначения: HRA, HRB и HRC.

Таблица 1

Тип испытуемого металла	Тип наконечника	Окончательная нагрузка (P ₂), Н	Шкала	Обозначение марки
Мягкий		600	А	HRA
		1000	В	HRB
Твердый		1500	С	HRC

Твердость по Роквеллу определяют по формуле:

$$HR = K - (h_2 - h_1) / b$$

где h_1 и h_2 – глубины внедрения наконечника под действием предварительной (P_1) и окончательной (P_2) нагрузок соответственно, мм; K – постоянное число, имеющее размерность в мм; b – цена деления шкалы индикатора, соответствующая углублению наконечника на 0,002 мм.

2.3. Определение твердости по Виккерсу.

При определении твердости в испытуемый материал вдавливают четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136°. При этом

применяют нагрузки от 50 до 1200 Н. После действия нагрузки на образце остается отпечаток в виде квадрата.

Число твердости определяют как нагрузку, приходящуюся на единицу поверхности отпечатка.

$$HV = 2 P \sin 0,5\alpha / d^2$$

где P – нагрузка на пирамиду; α – угол при вершине пирамиды; d – длина диагонали отпечатка.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ АРМАТУРЫ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ

Испытание на растяжение производят на разрывных машинах с автоматической записью кривой растяжения.

Образцы для испытания бывают в зависимости от площади поперечного сечения *нормальные* и *пропорциональные*. Нормальные образцы имеют площадь поперечного сечения 314 мм^2 ($d_0 = 20 \text{ мм}$). Они бывают двух видов:

- длинные (длина расчетной части $\ell_0 = 200 \text{ мм}$, а отношение $\ell_0 / d_0 = 10$);
- короткие ($\ell_0 = 100 \text{ мм}$, $\ell_0 / d_0 = 5$);

Площадь поперечного сечения пропорциональных образцов может быть произвольная, а расчетную длину определяют по формуле:

$$\ell_0 = 11,3 \sqrt{F_0} \quad \text{или} \quad \ell_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$$

где F_0 – исходная площадь поперечного сечения образцов, мм^2 .

Литые образцы и образцы из хрупких материалов изготавливают с расчетной длиной $\ell_0 = 2,82 \sqrt{F_0}$.

На вертикальной оси диаграммы откладывается нагрузка P , по горизонтальной абсолютное удлинение образца $\Delta\ell$.

На участке OP_p удлинение Δl образца увеличивается прямо пропорционально нагрузке P_p , называемой нагрузкой предела пропорциональности. На этом участке происходят упругие (обратимые) деформации образца и сохраняется закон Гука ($\varepsilon = \sigma / E$). **Пределом пропорциональности** σ_p называется наибольшее напряжение, до которого относительное удлинение образца остается прямо пропорциональным нагрузке P_p .

$$\sigma_p = P_p / F_0$$

Нагрузку P_e , при которой образец получает остаточное удлинение, равное 0,005 % расчетной длины, называют нагрузкой предела упругости. **Пределом упругости** σ_e называют такое напряжение, при котором остаточное удлинение получается равным 0,005 % первоначальной длине образца.

$$\sigma_e = P_e / F_0$$

Нагрузку P_T , при которой начинается течение металла, называют нагрузкой предела текучести, а горизонтальный участок кривой – площадкой текучести.

$$\sigma_T = P_T / F_0$$

Пределом текучести σ_T называют наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки.

За площадкой текучести нагрузка снова растет до некоторой максимальной величины P_b , после которой на образце начинается образование местного сужения (шейки). Уменьшение сечения в области шейки вызывает снижение нагрузки, и в точке К при нагрузке P_z происходит разрыв образца. Наибольшую нагрузку P_b , при которой начинается образование шейки, называют нагрузкой предела прочности при растяжении.

Пределом прочности при растяжении называют отношение наибольшей нагрузки, при которой начинается образование шейки к площади поперечного сечения образца.

$$\sigma_B = P_B / F_0$$

Истинное сопротивление разрыву σ_z определяют по формуле

$$\sigma_z = P_z / F_1$$

где F_1 – площадь поперечного сечения образца в месте разрыва.

Полная деформация образца $\Delta\ell_n$ складывается из остаточной $\Delta\ell_{ост}$ и упругой деформации $\Delta\ell_{упр}$. Для определения этих деформаций необходимо на диаграмме растяжения из точки К провести прямую, параллельную прямолинейному участку кривой (рис. 1) до пересечения с осью абсцисс.

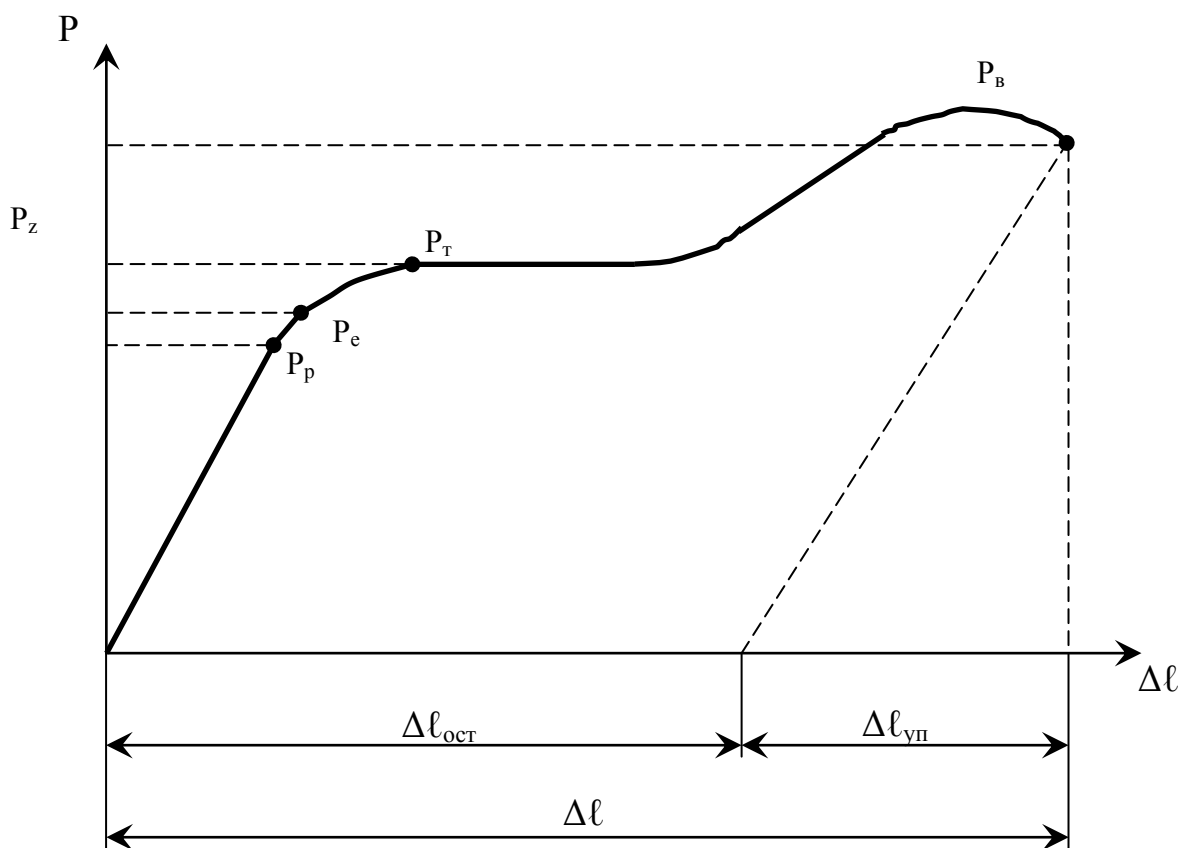


Рис. 1. Диаграмма растяжения

Относительным удлинением δ называют отношение приращения длины образца после разрыва к его расчетной длине, выраженное в процентах

$$\delta = 100 (\ell_1 - \ell_0) / \ell_0 \quad (\%)$$

где ℓ_1 – длина образца после разрыва, мм; ℓ_0 – расчетная длина образца, мм.

Относительным сужением ψ называют отношение уменьшения площади поперечного сечения после разрыва к начальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах.

$$\Psi = 100 (F_0 - F_1) / F_0 \quad (\%)$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм²; F_1 – конечная площадь поперечного сечения образца, мм².

4. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Ознакомиться с теоретической частью работы. Дать определение металлографического макроанализа. Записать, чем обусловлено волокнистое строение стали. Выписать основные дефекты сварного шва. Дать определение цементации, с какой целью и как производится цементация сталей. Дать определение ликвации и влияние ликваций серы и фосфора на свойства сталей.

Описать методику подготовки шлифов предназначенных для изучения волокнистости стали, дефектов сварного соединения, глубины цементации и ликваций серы и фосфора. Зарисовать шлифы изученных на занятии изделий.

Ознакомиться с принципом работы твердомеров Роквелла и Виккерса и с их помощью определить твердость трех эталонных образцов металла. Результаты испытаний занести в таблицу.

№№ об- разцов	Твердость			
	HRB	HRC	HB	HV

Провести испытания двух образцов нормализованной и отожженной стали. Зарисовать полученные диаграммы растяжения. Определить предел текучести, предел прочности при растяжении, относительное сужение и удлинение этих образцов. Результаты занести в таблицу.

№№ обр.	d_0	ℓ_0	F_0	d_k	ℓ_k	F_k	R_B	R_T	$\Delta\ell$	δ	ψ	σ_B	σ_T
---------	-------	----------	-------	-------	----------	-------	-------	-------	--------------	----------	--------	------------	------------

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют металлографическим макроанализом?
2. Чем обусловлено волокнистое строение металлов? Метод определения волокнистости стали?
3. Как определяется глубина цементации стали?
4. Влияние ликваций серы и фосфора на свойства стали.
5. Метод определения ликваций серы и фосфора в сталях.
6. Структура сварного шва и методы его исследования.
7. Методы определения твердости металлов.
8. В чем отличие твердости HRC, HRB, HRA?
9. Как определяется прочность, пластичность и текучесть металла?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

1. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОАНАЛИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ, УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ

Некоторые металлы способны испытывать превращения в твердом состоянии при изменении температуры, т.е. подвергаться так называемой Вторичной кристаллизации. Существование одного и того же металла в нескольких кристаллических формах с разным строением элементарной ячейки кристаллической решетки называется *аллотропией*, а процесс изменения кристаллической *аллотропическим*, или *полиморфным превращением*. Аллотропические формы металла обозначают начальными буквами греческого алфавита. При кристаллизации железа образуются четыре аллотропные его формы.

При температуре 1539°C выделяется Fe_δ, при 1401°C – Fe_γ, при 911°C – Fe_β, при 768°C – Fe_α. Каждая из аллотропных форм железа может образовывать с углеродом структурные составляющие в виде твердых растворов, механических смесей и химических соединений. Эти структурные составляющие можно увидеть под микроскопом, приготовив шлиф соответствующего сплава. Если для изучения структуры сплава требуется увеличение более тридцати кратного это *микроанализ*.

Твердые растворы и химические соединения также как и чистые компоненты состоят из кристаллов одного вида и поэтому являются *однофазными составляющими*. Механические смеси состоят из различных кристаллов и поэтому являются *многофазными составляющими*.

К однофазным структурным составляющим относятся феррит, аустенит, цементит и графит.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в Fe_α . Кристаллическая решетка феррита объемноцентрированный куб. При 20°C максимальная концентрация углерода в феррите 0,006 %, а при 723°C – 0,025 %, т.е с повышением температура растворимость углерода в Fe_α повышается. Феррит пластичен и магнитен. Твердость феррита HB = 70-80.

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в Fe_γ . Кристаллическая решетка аустенита гранецентрированный куб. Максимальная концентрация углерода в аустените 2 % может наблюдаться при температуре не ниже 1130°C. Концентрация углерода в аустените может меняться при изменении температуры сплава. Аустенит немагнитен и имеет более высокий удельный вес по сравнению с ферритом.

Цементит (карбид железа) – химическое соединение состава Fe_3C . По весу в цементите 6,67 % углерода, остальное железо. Цементит хрупкое и твердое соединение (HB=800). Кристаллическая решетка цементита имеет сложную ромбическую форму. Магнитен до 210°C. По условию образования выделяют следующие три типа цементита:

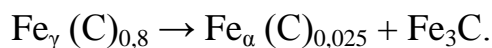
- первичный – выделяется при охлаждении жидкого расплава железа с углеродом;
- вторичный – выделяется при охлаждении аустенита;
- третичный – выделяется при охлаждении феррита.

По составу все эти типы одинаковы, но форма их кристаллов различная.

Графит – одна из разновидностей углерода, образуется при очень медленном охлаждении жидкого расплава. Имеет гексагональную кристаллическую решетку. Графит электропроводен, химически стоек, малопрочен и мягок.

К многофазным структурным составляющим относят перлит и ледебурит.

Перлит – механическая смесь (эвтектика) феррита и цементита. Перлит содержит 0,8 % углерода. Образуется в результате распада аустенита при температуре 723°C по реакции:



В зависимости от формы цементита перлит бывает пластинчатым и зернистым.

Ледебурит – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, образуется при температуре 1130°C и содержит 4,3 % углерода. При температуре 723°C и ниже ледебурит состоит из перлита и цементита.

Изменение равновесного состояния сплавов в зависимости от температуры и их состава изучают по диаграммам состояний. Для построения диаграммы состояний по оси абсцисс откладывается процентное содержание компонентов, а по оси ординат – температура. Для различных по составу сплавов строят кривые охлаждения или нагревания. Все характерные точки этих кривых соединяют на диаграмме в линии, которые называют критическими точками. Они отделяют область одних структурных составляющих от других. Диаграмма железа может отражать образование структур графита и цементита в зависимости от скорости охлаждения сплава. На рис. 2 приведена диаграмма состояния «железо-цементит». Линия ABCD на диаграмме состояния называется ликвидусом и выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии. Линия ANJESF называется солидусом и ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии. Три горизонтальные линии на диаграмме состояния указывают на протекание трех невариантных реакций. При 1499°C (линия HJB) протекает перитектическая реакция в результате которой образуется аустенит. При 1147°C (линия ECF) протекает эвтектическая реакция в результате которой образуется механическая смесь ледебурит. При 727°C (линия PSK) протекает эвтектоидная реакция с образованием перлита.

Максимальная концентрация углерода в железе 6,67 %. Сплавы железа с углеродом делят на техническое железо, стали и чугуны.

Техническое железо содержит менее 0,025 % углерода. Его структурной составляющей является феррит.

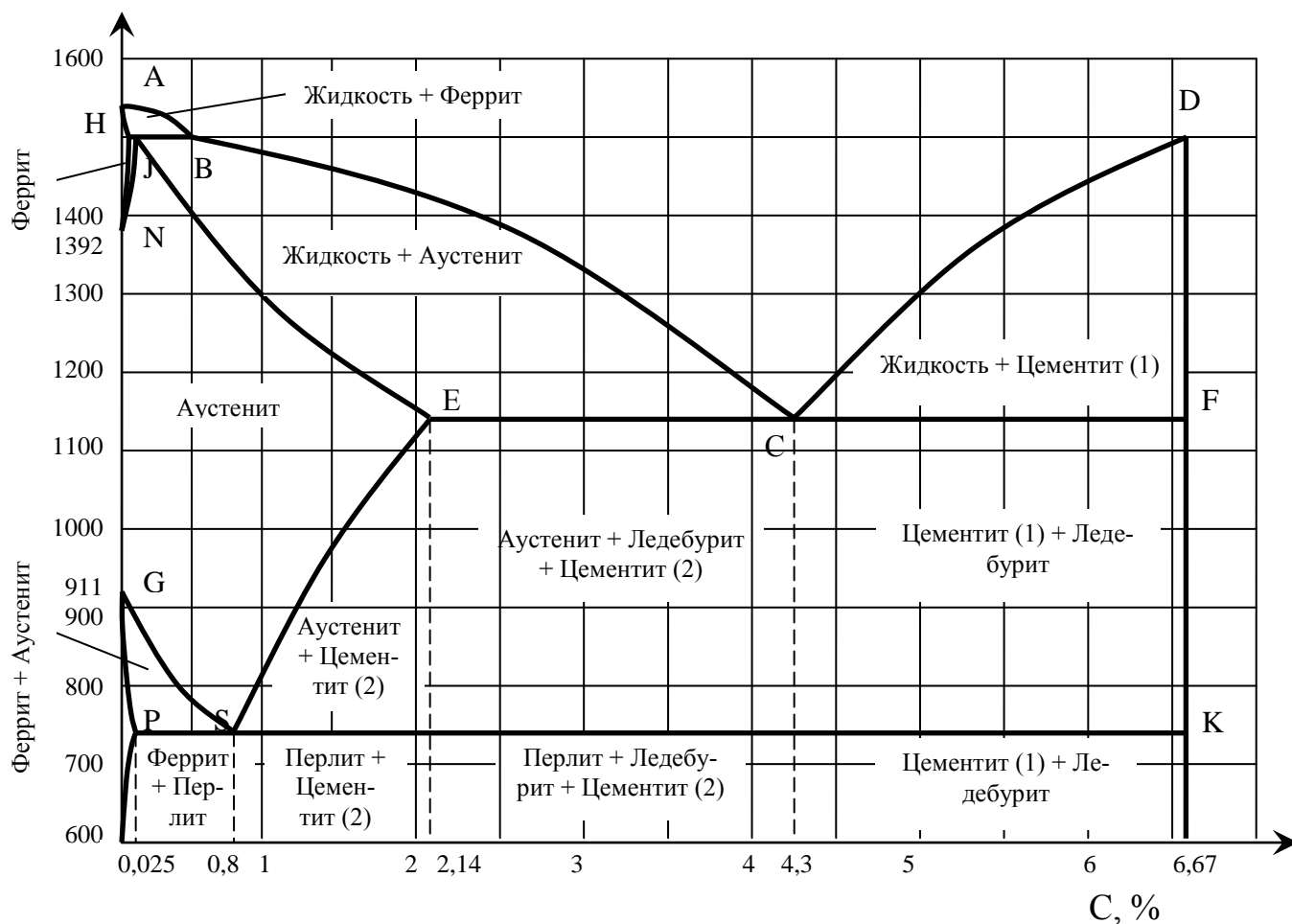


Рис. 2. Диаграмма состояний «железо-цементит»

Стали в зависимости от концентрации углерода делят на три вида. **Доэвтектоидные** с концентрацией углерода от 0,025 до 0,8 %, состоят из феррита и перлита. С увеличением углерода в составе доэвтектоидных сталей количество перлита увеличивается, а феррита снижается. При концентрации углерода 0,8 % сталь называют **эвтектоидной** и она состоит из одного перлита. Дальнейшее увеличение концентрации углерода с 0,8 до 2 % приводит к выделению при повышенных температурах из аустенита

вторичного цементита. Чем выше концентрация углерода в стали, тем выше концентрация вторичного цементита. Такие стали называют *заэвтектоидным*. Структурные составляющие заэвтектоидных сталей перлит и вторичный цементит, который располагается по границам зерен перлита в виде сетки.

При концентрации углерода в сплаве с железом свыше 2 % образуются *чугуны*. В зависимости от состояния углерода в чугуне различают белые и серые чугуны.

В *белом чугуне* весь углерод химически связан в виде цементита. Белые чугуны могут быть доэвтектическими (углерода менее 4,3 %) и состоять из перлита, вторичного цементита и ледебурита, эвтектическими (углерода 4,3 %) и состоять из ледебурита, а также заэвтектическими (углерода свыше 4,3 %) и состоять из первичного цементита и ледебурита.

Большая часть углерода *серого чугуна* выделяется в виде графита. Свойства серых чугунов определяются структурой металлической основы и формой графитовых включений. По степени графитизации, количеству феррита и перлита различают следующие виды серых чугунов: ферритный серый чугун, ферритно-перлитный серый чугун и перлитный серый чугун. Меняя скорость кристаллизации или вводя различные модификаторы в жидкий чугун, можно получить графитовые включения в виде пластин (*обычный серый чугун*), хлопьев (*ковкий чугун*) или шаровидной формы (*высокопрочный чугун*). Шаровидная форма является наиболее предпочтительной, так как в этом случае чугун имеет максимальные прочностные характеристики.

Используя внешний вид микрошлифов можно определить концентрацию углерода в сплаве. Например, для заэвтектоидных сталей, концентрация углерода вычисляется по формуле:

$$C = (0,8 П / 100) + (6,67 Ц / 100)$$

где П и Ц – площади, занятые, соответственно, перлитом и цементитом, выраженные в % от всей площади микрошлифа.

В зависимости от концентрации в сплаве углерода меняются его механические свойства. Для сталей механические свойства можно определить по диаграмме приведенной на рис. 3.

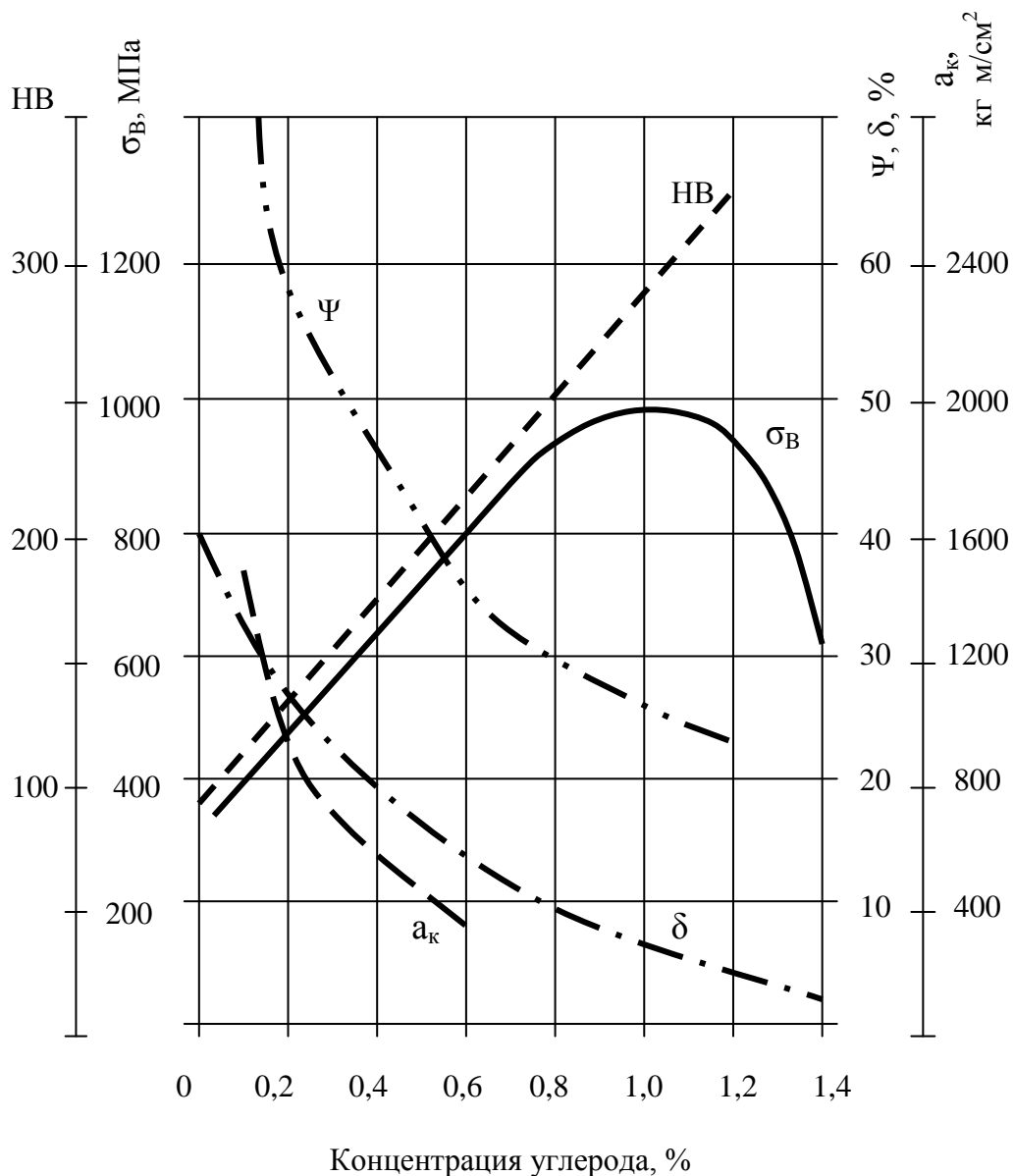


Рис. 3. Диаграмма механических свойств сталей

НВ – твердость по Бринеллю; σ_B – временное сопротивление разрыву;

Ψ – относительное сужение; δ – относительное удлинение; a_k – ударная вязкость.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Познакомиться с теоретической частью работы. Дать определение металлографического микроанализа. Дать определение сталей и чугунов, а также всех структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.

Зарисовать диаграммы рис. 2 и рис. 3.

Зарисовать, используя атлас микроструктур, виды различных структурных составляющих.

С помощью металлографического микроскопа определить структурные составляющие предложенных преподавателем образцов металлографических шлифов.

Используя сетку окуляра микроскопа, подсчитать количество структурных составляющих в предложенном преподавателем образце стали. По формуле рассчитать концентрацию углерода в этом образце и по диаграмме рис. .. определить его свойства. Результаты занести в таблицу.

№№ обр.	Вид стали	Конц. углерода, %	Фазовый структурный состав	НВ	σ , кгс/мм ²	Ψ , %	δ , %	a_k , кг м/см ²
---------	-----------	-------------------	----------------------------	----	--------------------------------	------------	--------------	------------------------------

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют металлографическим микроанализом?
2. Как определить концентрацию углерода в стали по внешнему виду микрошлифа?

3. Какое место на диаграмме состояния занимают доэвтектоидная, эвтектоидная и заэвтектоидная стали и чугуны?
4. Построить кривую охлаждения с 1600°C до комнатной температуры для железоуглеродистых сплавов с концентрацией углерода: 0,5; 0,8; 1,5; 2; 2,5; 4,3 и 5,5 %.
5. Определить качественный и количественный состав железоуглеродистых сплавов при комнатной температуре при концентрации в них углерода: 0,5; 0,8; 1,5; 2; 2,5; 4,3 и 5,5 %.
6. В чем отличие белого, серого, ковкого и высокопрочного чугуна?
7. Как изменяются механические свойства стали от концентрации в ней углерода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА И СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Механические свойства стали зависят от ее химического и структурного состава. Структурные составляющие стали изменяются в зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения. Технологический процесс, связанный с нагревом сплава до определенных температур, выдержкой при этой температуре и последующим охлаждением с заданной скоростью, с целью изменения структуры и свойств сплава называют термической обработкой.

Основными видами термической обработки сталей являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг – заключается в нагреве сталей на 20-50°C выше линии GSK (точки A_{C3} или A_{C1}) (рис. 4), выдержке при этой температуре (до 15 часов) и последующим медленным охлаждением вместе с печью со скоростью от 50° до 100°C в час до 500-600°C, а затем на воздухе. Целью отжига является устранение неоднородности структуры и химического состава, снятие внутренних напряжений, улучшение обработки резаньем и т.п. После отжига структура стали принимает крупнозернистое строение, снижается ее твердость и прочность, увеличивается пластичность и вязкость. Для доэвтектоидных и эвтектоидных сталей применяются диффузионный отжиг, полный отжиг, изотермический отжиг, рекристаллизационный отжиг и неполный отжиг. Заэвтектоидные стали подвергают сфероидизирующему отжигу.

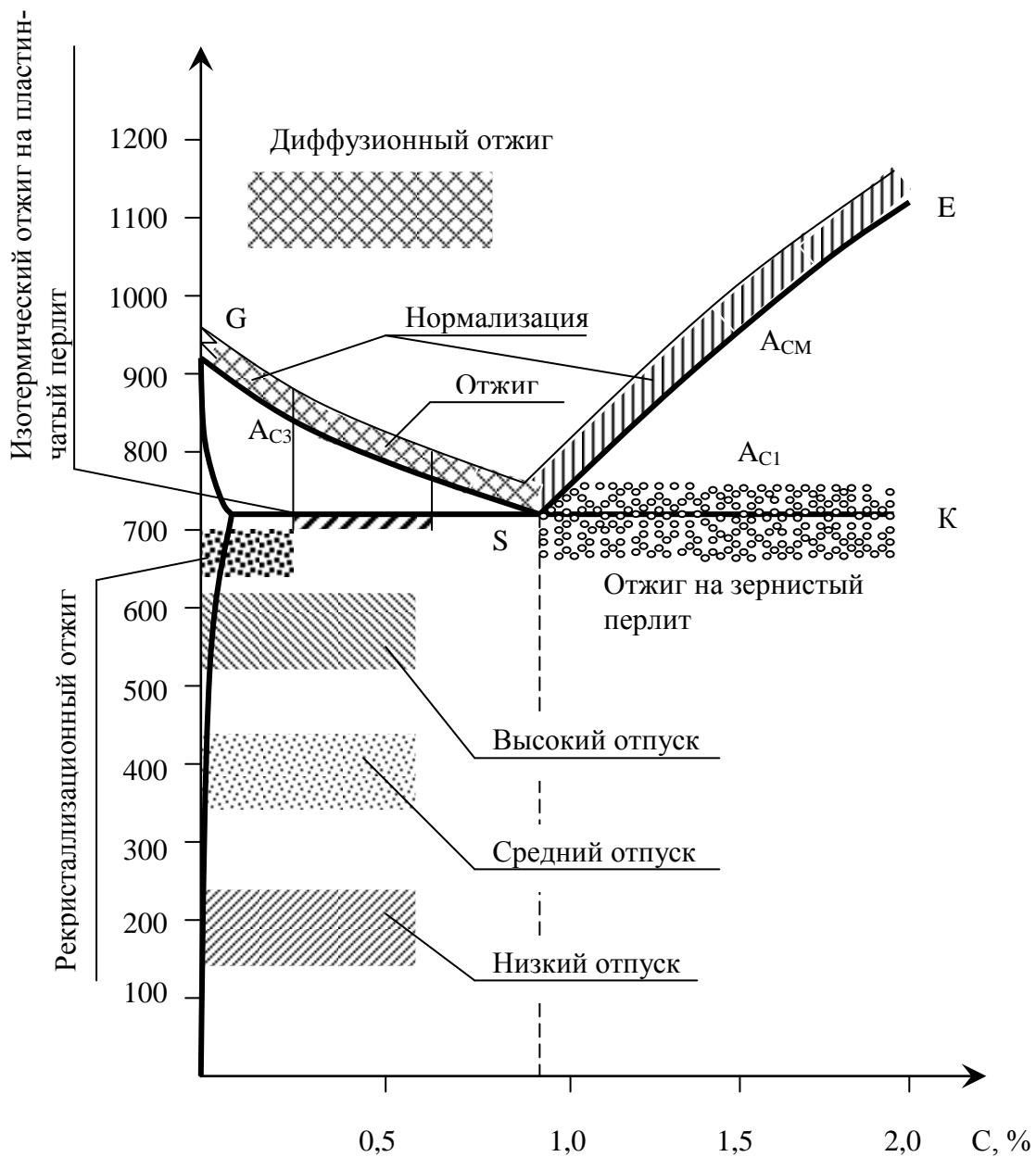


Рис. 4. Стальной угол диаграммы состояния «железо-цементит».

Нагрев металла при отжиге до высоких температур или излишне длительная выдержка, может привести к *перегреву* стали (образование крупнозернистой структуры), который можно исправить повторным отжигом при соответствующем температурном режиме. В случае нагрева стали до температур близких к линии солидус, может произойти *пережог* стали, который сопровождается окислением металла по границам зерен. Его исправить нельзя.

Нормализация – заключается в нагреве стали на 20-50°С выше линии GSE (точки A_{C3} или A_{CM}) (рис. 4), выдержке при этой температуре с последующим охлаждением на спокойном воздухе. Нормализация является переходным этапом от отжига к закалке. После нормализации сталь приобретает нормальную мелкозернистую структуру. У доэвтектоидных и эвтектоидных сталей, перлит получается очень тонкого, так называемого, сорбитообразного строения, а у заэвтектоидных сталей устраняется цементитная сетка и образуется мелкая ферритоцементитная смесь сорбит. Твердость и прочность нормализованной стали несколько выше, чем у отожженной. Нормализация является переходным этапом от отжига к закалке.

Закалка – заключается в нагреве стали на 20-50°С выше линии GSK (точки A_{C3} или A_{C1}) (рис. 4), выдержке при этой температуре и последующим быстрым охлаждением (в воде, масле, растворах солей и др.). Цель закалки повышение твердости и износостойкости стали.

При нагреве стали под закалку, в ней происходят структурные превращения, показанные на диаграмме состояния «железо-цементит», т.е. переход перлита в аустенит. Дальнейшее медленное охлаждение металла вместе с печью приведет к диффузии атомов в аустените и его распаду при температуре очень близкой к 723°С. Продуктами распада будет перлит с крупными пластинами феррита и цементита, т.е. превращение также будет происходить в соответствии с диаграммой состояния.

Увеличение скорости охлаждения ведет к снижению температуры превращения аустенита и получению механической смеси все более тонкого строения и более высокой твердости. При скорости охлаждения 5 °С/сек (скорость охлаждения на воздухе) продуктом распада аустенита будет являться **сорбит**, при скорости 50°С/сек (скорость охлаждения в масле) – **троостит**. Перлит, сорбит и тростит – механические смеси с из-

мельченной карбидной составляющей от перлита к трооститу. Если скорость охлаждения увеличить еще больше до 500 °С/сек (скорость охлаждения в воде, растворах солей и т.д.) диффузия атомов аустенита протекать не успевает и образуется пересыщенный твердый раствор феррита, называемый *мартенситом*. Кроме мартенсита в такой стали имеется и некоторое количество остаточного аустенита необходимое для придания сплаву кристаллографического соответствия.

При мартенситных превращениях происходит увеличение объема металла. Механизм превращения аустенита в мартенсит носит сдвиговый характер. В процессе превращения атомы смещаются на незначительные расстояния, что искажает кристаллическую решетку, элементарная ячейка которой становится тетрагональной. Тетрагональность решетки увеличивается по мере увеличения содержания углерода в стали. Кристаллическая решетка мартенсита термодинамически неустойчива и как следствие сталь, закаленная под мартенсит имеет значительные внутренние напряжения. Для снятия этих напряжений и придания металлу более высоких пластичных свойств, после закалки сталь подвергают отпуску.

Отпуск – состоит в нагреве закаленной стали до температур ниже фазовых превращений с последующим охлаждением на спокойном воздухе. Отпуск называют низким при нагреве сталей до температур от 150° до 250°С; средним при нагреве до температур от 350° до 450°С и высоким при нагреве до температур от 550° до 650°С. Получающиеся структуры при низком, среднем и высоком отпуске закаленной на мартенсит стали: мартенсит отпуска, троостит отпуска и сорбит отпуска соответственно.

При отпуске неравновесная структура закаленной стали, состоящая из мартенсита и остаточного аустенита, становится более устойчивой. При этом аустенит и мартенсит разлагаются на феррито-цементитную смесь. При низком отпуске из мартенсита выделяется углерод в виде ε-

карбида ($\text{Fe}_{2,3}\text{C}$) с гексагональной решеткой. Процесс распада протекает не за счет укрупнения частиц ϵ -карбида, а за счет увеличения их числа. Выделение углерода уменьшает степень тетрагональности мартенсита и его кристаллическая решетка приближается к кубической. При среднем отпуске полностью завершается процесс выделения из мартенсита углерода в виде цементита. Образование цементита может протекать как путем перестройки решетки ϵ -карбида в решетку цементита, так и непосредственным выделением цементита из мартенсита. Это превращение сопровождается почти полным снятием внутренних напряжений. При высоком отпуске происходит укрупнение (коагуляция) частиц цементита, входящего в смесь.

Увеличение температуры отпуска приводит к увеличению пластичности изделия и уменьшению твердости и хрупкости.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Ознакомиться с теоретической частью работы. Дать определения всем приведенным видам термической обработки стали. Дать описание закалочных структур сталей и условия их образования.

Начертить «стальной» угол диаграммы «железо-цементит» и указать на нем виды термической обработки.

Провести термическую обработку стали марки Ст 45. Образцы, предложенные преподавателем подвергнуть нижнему, среднему и высокому отпуску. Определить структуры, образующиеся у стали Ст45 после различных видов термической обработки и зарисовать их, используя атлас микроструктур.

Замерить твердость образцов прошедших термическую обработку. Результаты занести в таблицу.

№ № о б р.	Ма рка ста ли	Т°С на- гре- ва	Время вы- держки об- разца в печи	Сре- да ох- лаж- де- ния	Твердость			Мик- рост- рукту- ра
					Н R В	Н R С	Н В	

Построить графическую зависимость влияния температуры закалки, скорости охлаждения и температуры отпуска на твердость стали.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют термической обработкой металлов?
2. Какие виды термической обработки вы знаете?
3. В чем заключается отжиг стали и что при этом происходит?
4. В чем заключается нормализация стали и что при этом происходит?
5. В чем заключается закалка стали и что при этом происходит?
6. Какие структуры получаются у заэвтектоидной стали после закалки?
7. Какие структуры получаются у доэвтектоидной стали после нормализации?
8. Какие структуры получаются у заэвтектоидной стали после отжига?
9. В чем отличие низкого, среднего и высокого отпуска друг от друга?
10. Какие превращения происходят в стали после закалки под мартенсит?
11. В чем отличие мартенсита от мартенсита отпуска?
12. В чем отличие перлита, троостита и сорбита друг от друга?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

1. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ СВАРКА

Процесс неразъемного соединения металлических изделий путем местного нагревания их до жидкого или пластичного состояния (без применения или с применением механического усилия).

Неразъемное сварное соединение при контактной сварке образуется за счет нагрева металла до пластического состояния и давления, создающего местную пластическую деформацию разогретых участков и обеспечивающего сближение твердых кристаллов свариваемых металлов на расстоянии, при которых проявляются межатомные и межмолекулярные силы сцепления.

При контактной сварке участки металла нагреваются проходящим по ним электрическим током. Большое влияние на процессы нагрева и сварки оказывает сопротивление контакта между соединенными деталями. Количество тепла, выделяемого током при прохождении через проводник (деталь, заготовку), определяется по формуле *Джоуля-Ленца*:

$$Q = 0,24 J^2 R t$$

где Q – количество тепла, ккал; J – сила сварочного тока, А; R – общее активное сопротивление, Ом; t – время прохождения электрического тока, сек.

Существует три основных вида контактной сварки: точечная (рис. 5 а), роликовая (рис. 5 б) и стыковая (рис. 5 в)

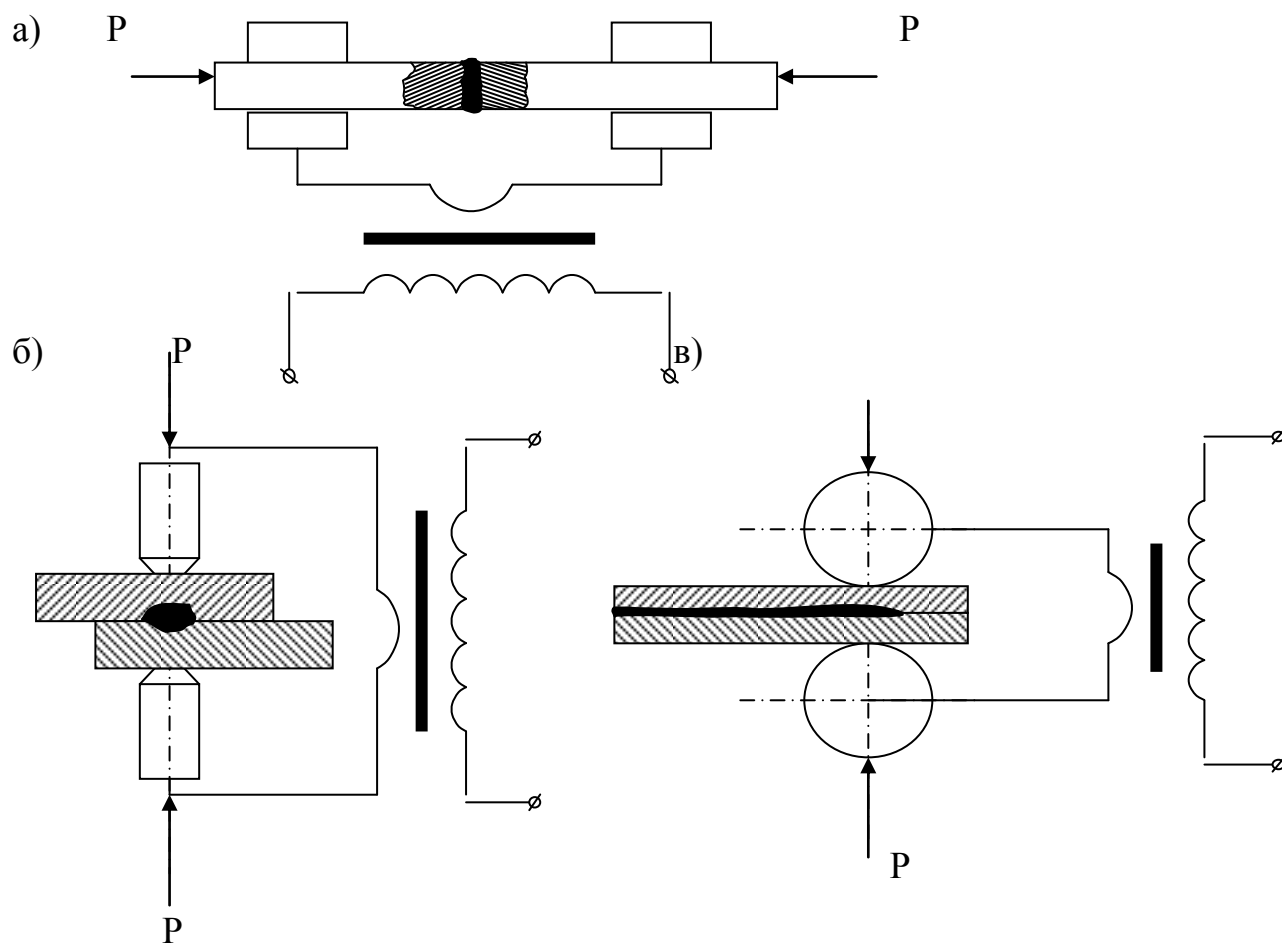


Рис. 5. Виды контактной сварки.

Стыковая сварка осуществляется тремя способами: сопротивлением, оплавлением и оплавлением с подогревом. При проведении стыковой сварки *сопротивлением* включение тока и нагрев производят после плотного прижатия торцов деталей друг к другу. После нагрева до температуры пластического состояния детали свариваются под действием сжимающего усилия, создаваемого осадочным механизмом сварочной машины. При стыковой сварке *оплавлением* вначале включают ток, а затем производят сближение торцов свариваемых деталей. При сближении торцов касание обычно происходит в нескольких точечных контактах (выступах), которые под действием тока большой силы мгновенно нагреваются до

температуры испарения. Возникает электрическая дуга, которая распространяет процесс плавления на всю торцевую поверхность свариваемых деталей. Сварка осуществляется быстрым сближением торцов деталей с приложением необходимого давления. В процессе сдавливания производится выключение сварочного тока. При сварке *оплавлением с подогревом* (прерывистым оплавлением) сближение торцов производится циклично, с перерывами, что обеспечивает более глубокий их прогрев. Заключительный этап образования сварочного соединения не отличается от процесса сварки непрерывным оплавлением.

При стыковой сварке основными параметрами являются: сила сварочного тока, усилие осадки, установочная длина арматуры и время нагрева.

При *точечной* сварке детали в местах соединений располагают внахлестку. Сварку производят в отдельных местах, создавая сварное соединение в виде точек (площадок). Электрический ток к местам сварки подводится электродами сварочной машины, и через электроды подается необходимое усилие сжатия. По окончании нагрева детали свариваются под действием сжимающего усилия, осуществляемого электродами.

При точечной сварке основными параметрами являются: сила сварочного тока, усилие сжатия электродов, диаметр контактной поверхности электродов и время нагрева.

Роликовая сварка имеет много общего с точечной сваркой и отличается тем, что электроды имеют форму дисков диаметром от 60 до 300 мм. При этом сварные точки ставятся с частичным перекрытием друг друга, благодаря чему образуется сплошной шов.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

- 2.1. Ознакомиться с теоретической частью работы. Дать определение контактной сварке. Выписать технологический процесс различных видов контактной сварки. Зарисовать принципиальные схемы различных видов контактной сварки.
- 2.2. Провести стыковую сварку сопротивлением проволоки при различных параметрах тока и времени сварки. Определить предел прочности при растяжении полученных образцов. На основании полученных данных определить оптимальные режимы сварки. Результаты занести в таблицу.

№№ обр.	J, А	τ , сек	F, мм ²	j, А/мм ²	P, кг	σ , кг/мм ²	Примечание
------------	------	--------------	--------------------	----------------------	-------	----------------------------------	------------

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид сварки называют контактной?
2. Какие виды контактной стыковой сварки вы знаете?
3. Какие параметры контактной стыковой сварки являются основными?
4. Какие параметры контактной точечной сварки являются основными?

ЛИТЕРАТУРА:

1. Материаловедение и технология металлов. Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. Под ред. Г.П. Фетисова- 6-ое изд., доп. – М.: Высш. шк., 2008 – 877 с.
2. Строительные материалы: Учебник под общей ред. В.Г. Микульского и Г.П. Сахарова – М.: Изд-во АСВ, 2007. - 520 с.
3. Строительное материаловедение. Учебное пособие для строит. спец. ВУЗов. И.А. Рыбьев – М.: Высшая школа. 2007.- 703с.

Смирнов Д.С.

«Металловедение и сварка»

Редактор
Корректор

Подписано в печать

Формат 60x84/16

Заказ №
Тираж

Печать ризографическая
Бумага тип № 1

Усл. печ. л. 2
Уч.-изд. л.

Издательство КГАСУ

420043, Казань, Зеленая 1.