

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Определение твердости металлов и сплавов

Методическое руководство к выполнению лабораторной работы

Направление подготовки

35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Определение твердости металлов и сплавов: Методическое руководство к выполнению лабораторной работы / Сост. : А. В. Павлов, А. Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 20 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Твердость является одной из самых важных и распространенных характеристик механических свойств металлов и сплавов и зависит от их химического состава и термической обработки.

По твердости судят о качестве материала, правильности выбора и выполнения той или иной термической обработки. Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания металлов и сплавов, позволяющим в большинстве случаев без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия. Данный метод не вызывает серьезного повреждения испытываемого материала.

Под твердостью понимают способность материала сопротивляться пластической или упругой деформации при внедрении в него другого более твердого тела.

Существуют следующие методы определения твердости:

- твердость при вдавливании (макро- и микротвердость);
- твердость при царапании;
- твердость при упругом отскоке шарика;
- твердость при упругом вдавливании.

Обычно измеряют макротвердость. В этом случае индентор имеет значительные размеры, и испытания характеризуют свойства всего материала.

Измерение микротвердости производят на приборах типа ПМТ-3 с целью определения твердости отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплава на специально подготовленных шлифах. Испытания проводят вдавливанием алмазной пирамиды с квадратным основанием под нагрузкой от 2 до 200 г.

В заводской и лабораторной практике широкое распространение получил метод определения твердости при вдавливании. Он прост, не требует высокой квалификации оператора, не приводит к порче изделия, поэтому незаменим в производстве. Детали после механической и термической обработки часто проходят стопроцентный контроль твердости.

Существуют следующие основные способы измерения твердости вдавливанием:

- а) стального шарика – твердость определяется по величине диаметра оставшегося отпечатка (по методу Бринелля);
- б) алмазного конуса (или стального шарика) – твердость определяется по глубине получаемого отпечатка (по методу Роквелла);
- в) алмазной пирамиды – твердость определяется по величине получаемого отпечатка (по методу Виккерса).

Поверхность образца, на которой измеряется твердость, должна представлять шлифованную горизонтальную площадку. Противоположная сторона образца также должна быть зачищена и не иметь окалины.

Твердость при вдавливании является средней характеристикой сопротивления материала значительным пластическим деформациям, т.е. существует количественная зависимость между твердостью и другими механическими свойствами. Например, между пределом прочности σ_B и НВ:

$$\sigma_B = K \cdot \text{НВ}, \quad (1)$$

где σ_B – предел прочности при растяжении, МПа; K – коэффициент; НВ – твердость по Бринеллю.

Значения K (по Марковцу М.П.) приведены в табл. 1

Таблица 1

Материалы	<i>K</i>
Чугуны	0,15
Литейные алюминиевые сплавы	0,25
Высокопрочные стали	0,33
Малоуглеродистые стали	0,36
Деформируемые алюминиевые сплавы	0,38
Аустенитные стали и латуни	0,45

Цель работы: изучить принципы измерения твердости мягких и твердых сплавов и освоить методы определения твердости по Бринеллю и Роквеллу.

Задания

1. Изучить:
 - схемы испытания твердости по Бринеллю, Виккерсу, Роквеллу и супер-Роквеллу;
 - устройство твердомеров типа ТШ, ТК;
 - подготовку образца для испытания;
 - подготовку приборов и проведение испытаний.
2. Провести испытание на твердость образцов стали, чугуна и сплавов цветных металлов различной толщины.
3. Определить твердость.
4. Измерить твердость образцов.

Приборы, материалы и инструменты

- твердомеры ТШ, ТК и ТКС-1М с набором грузов и инденторов;
- образцы стали в закаленном и отожженном состоянии;
- образцы сплавов цветных металлов и чугунов;
- окуляр со шкалой для измерения диаметра отпечатка;
- напильник, шлифовальная шкурка;

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ

Определение твердости по Бринеллю производится согласно ГОСТ 9012-59.

Подготовка к испытаниям

1. Поверхность образца или испытываемого изделия должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидной пленки. При подготовке поверхности образца необходимо принять меры, исключающие изменение свойств металла из-за нагрева или наклепа. Обработку поверхности образца (изделия) можно проводить шлифовкой или мелким напильником.

2. Толщину образца (изделия), подвергаемого испытанию, выбирают таким образом, чтобы на противоположной стороне образца после испытаний не было заметно следов деформации.

Проведение испытаний

Определение твердости производят путем вдавливания в испытуемый материал под определенной нагрузкой P стального закаленного шарика диаметром D . После снятия нагрузки на поверхности остается сферическая лунка, по величине диаметра d которой судят о твердости (рис. 1).

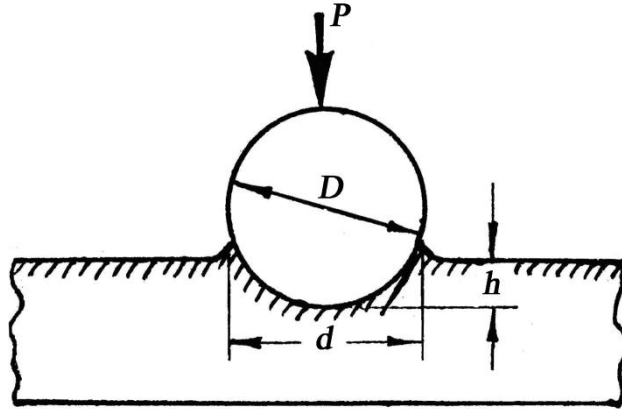


Рис. 1. Схема испытания твердости методом вдавливания стального шарика

Отношение нагрузки P , кгс, к поверхности сферической лунки F , мм², характеризует величину твердости НВ по Бринеллю:

$$\text{НВ} = \frac{P}{F}, \text{ кгс/мм}^2. \quad (2)$$

Поверхность $F = \pi Dh$. Так как высоту сегмента h измерить трудно, то ее можно выразить через диаметры шарика D и лунки d :

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

тогда

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

а число твердости

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

Получаемое число твердости зависит от диаметра отпечатка d , который тем больше, чем мягче испытуемый материал.

Однако на практике вычислений по формуле каждый раз не делают, а определяют число твердости по таблице, составленной на основе этой формулы для разных диаметров отпечатков (табл. 2).

При определении твердости по Бринеллю используются специальные прессы, где давление осуществляется или гидравлическим способом, или грузами, которые передвигаются электродвигателем (рычажный пресс).

Схема рычажного прессы ТШ представлена на рис. 2.

Испытуемый образец или деталь устанавливают на стол 4, при этом измеряемая поверхность должна быть или шлифованной, или зачищенной таким образом, чтобы

отпечаток от вдавливания шарика был отчетливо виден. Вручную поворотом маховика 2 по часовой стрелке подводят испытуемый материал под шарик до упора и нажатием кнопки 3 включают электродвигатель. Вращение ротора электродвигателя передается на кривошипно-шатунный механизм нагружения, и рычажная система передает через наконечник 5 на испытуемое изделие нагрузку P , создаваемую грузами 8.

Таблица 2

Таблица для определения чисел твердости

Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$, мм	Число твердости при нагрузке P , кгс			отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$, мм	Число твердости при нагрузке P , кгс		
	$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$		$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
2,90	444	–	–	4,50	179	59,5	14,9
2,95	429	–	–	4,55	174	58,1	14,5
3,0	415	–	34,6	4,60	170	56,8	14,2
3,05	401	–	33,4	4,65	167	55,5	13,9
3,10	388	129	32,3	4,70	163	54,3	13,6
3,15	375	125	31,3	4,75	159	53,0	13,3
3,20	363	121	30,3	4,80	156	51,9	13,0
3,25	352	117	29,3	4,85	152	50,7	12,7
3,30	341	114	28,4	4,90	149	49,6	12,4
3,35	331	110	27,6	4,95	146	48,6	12,2
3,40	321	107	26,7	5,0	143	47,5	11,9
3,45	311	104	25,9	5,05	140	46,5	11,6
3,50	302	101	25,2	5,10	137	45,5	11,4
3,55	293	97,7	24,5	5,15	134	44,6	11,2
3,60	285	95	23,7	5,20	131	43,7	10,9
3,65	277	92,3	23,1	5,25	128	42,8	10,7
3,70	269	89,7	22,4	5,30	126	41,9	10,5
3,75	262	87,2	21,8	5,35	123	41,0	10,3
3,80	255	84,9	21,2	5,40	121	40,2	10,1
3,85	248	82,6	20,7	5,45	118	39,4	9,86
3,90	241	80,4	20,1	5,50	116	38,6	9,66
3,95	235	78,3	19,6	5,55	114	37,9	9,46
4,0	229	76,3	19,1	5,60	111	37,1	9,27
4,05	223	74,3	18,6	5,65	109	36,4	9,10
4,10	217	72,4	18,1	5,70	107	35,7	8,93
4,15	212	70,6	17,6	5,75	105	35,0	8,76
4,20	207	68,8	17,2	5,80	103	34,3	8,59
4,25	201	67,1	16,8	5,85	101	33,7	8,43
4,30	197	65,5	16,4	5,90	99,2	33,1	8,26
4,35	192	63,9	16,0	5,9	97,3	32,4	8,11
4,40	187	62,4	15,6	6,0	95,5	31,8	7,96
4,45	183	60,9	15,2				

* Обозначения $2d_5$ и $4d_{2,5}$ указывают, что для отыскания по таблице числа твердости при испытании шариком диаметром 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком диаметром 2,5 мм – на 4. Например, для отпечатка диаметром 1,50 мм, полученного при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 750 кгс,

число твердости следует искать в таблице для отпечатка 3,00 мм ($2 \cdot 1,50 = 3,00$), оно равно 415.

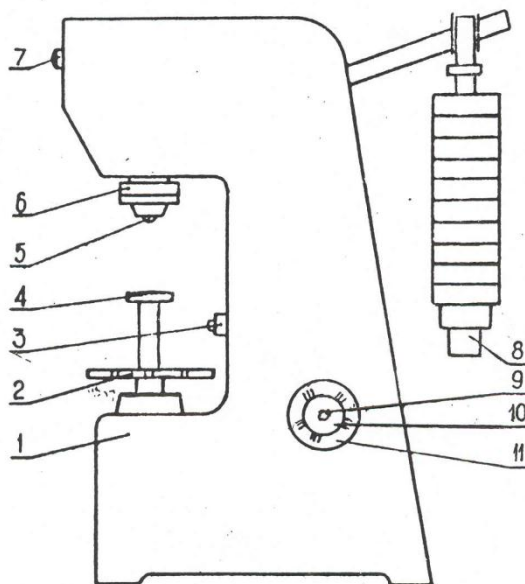


Рис. 2. Схема рычажного пресса Бринелля: 1 – корпус; 2 – маховик; 3 – кнопка; 4 – стол; 5 – наконечник; 6 – ограничитель; 7 – сигнальная лампочка; 8 – подвеска с грузами; 9 – винт; 10 – подвижный диск; 11 – неподвижный диск.

Время выдержки под нагрузкой 10, 30 и 60 с устанавливается с помощью подвижного диска 10 так, чтобы время, нанесенное на нем, было против ориентировочного числа твердости испытуемого образца, нанесенного на неподвижном диске 11 в зависимости от диаметра шарика. Закрепление диска 10 осуществляется с помощью винта 9. Затем двигатель автоматически переключается на вращение в обратную сторону, снимает нагрузку и выключается.

Нагрузку P выбирают в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости, которую приблизительно оценивают с учетом природы сплава и способа его обработки.

Длительность выдержки под нагрузкой для материалов с высокой точкой плавления (стали, чугуны) не имеет большого значения и обычно назначается минимальной (10 с). Для легкоплавких материалов ($t_{\text{рекр}} < 0^\circ \text{C}$) наблюдается явление ползучести под постоянной нагрузкой, поэтому для стабилизации пластической деформации время выдержки увеличивают до 60 с (табл. 3).

Полученный диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала. Диаметр измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и находят среднее значение. Установка лупы и замер отпечатка показаны на схеме (рис. 3). Для устранения продавливания образца насквозь или выпучивания краев испытуемые образцы должны иметь толщину не менее десятикратной глубины отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее $2,5d$, а между центрами двух соседних – не менее $4d$.

Во избежание существенных ошибок вследствие деформации стального закаленного шарика способом Бринелля обычно испытывают металлы с твердостью по Бринеллю не более 450 кгс/мм^2 (принято обозначать HB 450).

Таблица 3

Материал	Интервал твердости в числах Бринел	Минимальная толщина испытуемого образца,	Соотношение между нагрузкой P и диаметром	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , кгс	Выдержка под нагрузкой, с
1	2	3	4	5	6	7
Черные металлы: железо, сталь, чугун и другие высокопрочные сплавы	140–450	От 6 до 3 От 4 до 2 Не менее 2.	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	10
То же	<140	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	10
Цветные металлы: никель, медь, алюминий и их сплавы	>130	От 6 до 3 От 4 до 2 Менее 2	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	30
Магний и его сплавы, баббиты	35–130	От 9 до 3 От 6 до 3 Менее 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	30
То же	8–35	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=2,5D^2$	10,0 5,0 2,5	250 62,5 15,6	60

Если материал структурно неоднородный, крупнозернистый, необходимо брать большой шарик ($D = 10$ мм.), а обычно D выбирается так, чтобы d/D было в пределах 0,2–0,5, так как слишком мелкий или глубокий отпечаток приводит к значительным погрешностям при измерении твердости.

Получение постоянной и одинаковой зависимости между величиной нагрузки и диаметром отпечатка требует соблюдения определенных условий:

$$1. \frac{P}{D_{ш}^2} = \text{const},$$

где $D_{ш}$ – диаметр шарика.

К прибору прилагаются шарики диаметром 2,5; 5 и 10 мм.

2. Соотношение $\frac{P}{D_{ш}^2}$ должно быть различным для металлов разной твердости (см. табл. 3).

Измерив диаметр отпечатка, по табл. 2 определяют число твердости. Следует учесть, что цифры в табл. 2 даны для шарика $D_{ш} = 10$ мм. В случае применения шариков других диаметров необходимо полученные отпечатки умножить на 2 при $D_{ш} = 5$ мм или на 4 при $D_{ш} = 2,5$ мм.

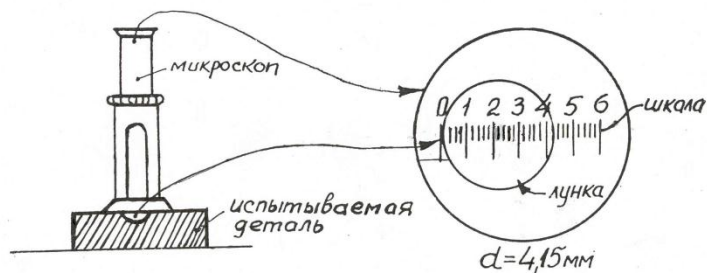


Рис. 3. Схема замера диаметра лунки

Измерение твердости образца по Бринеллю следует начинать с выбора $D_{ш}$, который зависит от размеров образца.

Пользуясь табл. 3, в зависимости от материала образца выбирают время действия нагрузки и устанавливают его на приборе. Затем, выбрав коэффициент C , по той же таблице подсчитывают нагрузку P , ставят нужное число грузов на твердомер и производят надавливание шарика на образец. Замерив полученный отпечаток (пользуясь табл. 2), определяют число твердости и заносят его в табл. 4.

Способ измерения твердости по Бринеллю не является универсальным. Его используют для материалов малой и средней твердости: сталей с твердостью \leq НВ 450, цветных металлов с твердостью \leq НВ 200. К недостаткам данного способа следует отнести невозможность испытания твердости поверхностного слоя 1–2 мм, так как шарик будет продавливать тонкий слой металла и на поверхности изделия после испытания останутся заметные следы.

Таблица 4

Результаты замера твердости по Бринеллю

/п	Ма- териал об- разца	То- лщина , мм	Ди- аметр шари- ка, мм	На- груз- ка, кгс	Вре- мя, с	Измеренные диаметры отпечатков, мм		Твердость образца, НВ	Примечание
							средний		

Пример: Необходимо измерить твердость дуралюмина. Выбрали диаметр шарика $D_{ш} = 5$ мм. Устанавливаем время действия нагрузки 30 с. Подсчитываем P по формуле, пользуясь табл. 2 (для алюминиевых сплавов $c = 10$): $P = cD_0^2 = 10 \cdot 5^2 = 250$ кг. Получив отпечаток $d_{отп} = 1,7$ мм (пользуясь табл. 1), находим твердость (для $d_{отп} = 3,4$ и $P = 10D_0^2$), равную 107 кгс/мм². Записываются значения твердости так: НВ107.

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

Измерение твердости по Бринеллю и Виккерсу имеет существенный недостаток: раздельное проведение операций вдавливания и измерения отпечатка. Этот недостаток устранен при измерении твердости по Роквеллу, которое производится согласно ГОСТ 9013-59

Сущность метода заключается во вдавливании наконечника с алмазным конусом (шкалы А и С) или со стальным шариком (шкала В) в испытуемый образец (изделие) под действием последовательно прилагаемых предварительной и основной нагрузок.

При этом способе испытания нагрузка прилагается последовательно, в две стадии: предварительная, равная 10 кгс, и основная, равная 50, 90 и 140 кгс в зависимости от шкал прибора. Основная нагрузка выдерживается до окончания пластической деформации, что продолжается обычно несколько секунд. После получения отпечатка основную нагрузку плавно снимают (но предварительная нагрузка остается). Твердость выражается в условных единицах.

Твердость по Роквеллу измеряется на трех шкалах в зависимости от твердости испытуемого материала (табл. 5).

Одно деление на шкале индикатора соответствует внедрению наконечника на 0,002 мм. Шкалы А и С имеют по 100 делений, что соответствует общему углублению на 0,2 мм. Красная шкала В смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений. Необходимость смещения вызвана тем, что глубина вдавливания при стандартных нагрузках на шарик часто получается более 0,2 мм и достигает 0,26 мм, т. е. стрелка при вдавливании делает поворот более чем на 100 делений. Чем глубже внедряется наконечник, тем материал мягче. Выразить маленькую твердость большим числом неудобно, поэтому число твердости равно разности для шкал А и С

$$HRC(HRA) = 100 - \frac{h - h_0}{0,002},$$

где 100 – общее число делений на шкале А (или С); h – глубина внедрения наконечника под действием суммарной нагрузки; h_0 – глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки 10 кгс; 0,002 – цена деления шкалы.

$$\text{Для шкалы В } HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0,002},$$

где 130 – общее число на шкале В.

Таблица 5

Обозначение шкалы	Общая нагрузка	Наконечник (индентатор)	Цвет шкалы, число единиц на шкале	Обозначение твердости	Область применения	Применяемая твердость по Бринеллю	Допускаемые измерения по Роквеллу
1	2	3	4	5	6	7	8
А	60 кгс	Алмазный конус	Черная, 100 делений	HRA	Твердые сплавы, сталь после химико-термичес	Свыше 700	Свыше 70

1	2	3	4	5	кой 6	7	8
					обработк и (цементация, азотирование, цианирование)		
В	100 кгс	Шарик ∅ 1,588 мм	Красная, 130 делений	HRB	Незакаленная сталь, цветные сплавы	60–230	25–100
С	150 кгс	Алмазный конус	Черная, 100 делений	HRC	Закаленная сталь	230– 700	20–67

Подготовка к проведению замеров

1. Толщина образца или глубина поверхностного слоя, подвергаемого испытанию, должна быть не менее чем в 8 раз больше глубины проникновения наконечника.

2. Поверхность испытуемого образца должна быть ровной и гладкой, а также свободной от окалины и других посторонних веществ.

Проведение замеров

Измерение твердости производят следующим образом. Подвешивают соответствующие грузы и вставляют в оправку шарик или алмаз *б* (рис. 4). При помощи маховичка *4* образец подводится к алмазному конусу (шарику) и слегка вдавливается в него до достижения предварительной нагрузки 10 кгс, что отмечается на циферблате индикатора установкой маленькой стрелки против красной точки.

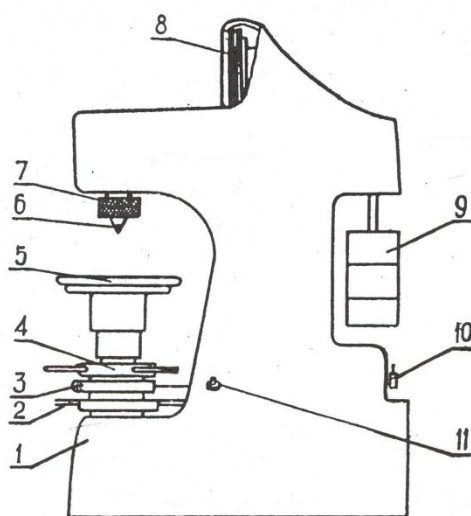


Рис. 4. Схема твердомера Роквелла: 1 – корпус;
2 – клавиша; 3 – барабан; 4 – маховичок; 5 – стол;
6 – наконечник; 7 – ограничитель; 8 – индикатор;
9 – подвеска с грузами; 10 – флажок; 11 – переключатель

После этого необходимо поворотом барабана 3 совместить ноль черной шкалы (или деление 30 красной шкалы) с большой стрелкой. С помощью переключателя 11 включить электродвигатель. Плавным нажатием на клавишу 2 включить в работу привод нагружения. Груз 9 оказывает давление на алмаз (шарик). После окончания цикла нагружения с индикатора считывают непосредственную твердость образца.

Расстояние от центра отпечатка до края образца или до центра другого отпечатка должно быть не менее 1,5d мм при вдавливании шарика, толщина образца – не менее 8-кратной глубины отпечатка. Числа твердости по Роквеллу можно приближенно перевести в числа твердости по Бринеллю и Виккерсу, и наоборот, пользуясь табл. 6.

Таблица 6

Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю при $D = 10$ мм $P = 3000$ кг		Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю при $D_{ш} = 10$ мм $P = 3000$ кг		Твердость по Роквеллу		
	диаметр отпечатка,	число твердос	шкала				диаметр отпечатка	число твердости	шкала		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						235	3,95	235	23	99	62
1220	2,20	782	72	--	89	226	4,00	228	22	98	62
1114	2,25	744	69	--	87	221	4,05	223	21	97	61
1021	2,30	713	67	--	85	217	4,10	217	20	97	61
940	2,35	683	65	--	84	213	4,15	212	19	96	60
867	2,40	652	63	--	83	209	4,20	207	18	95	60
803	2,45	627	61	--	82	201	4,25	202	--	94	59
746	2,50	600	59	--	81	197	4,30	196	--	93	58
694	2,55	578	58	--	80	190	4,35	192	--	92	58
649	2,60	555	56	--	79	186	4,40	187	--	91	57
606	2,65	532	54	--	78	183	4,45	183	--	89	56
587	2,70	512	52	--	77	177	4,50	179	--	88	56
551	2,75	495	51	--	76	174	4,55	174	--	87	55
534	2,80	477	49	--	76	171	4,60	170	--	86	55
502	2,85	460	48	--	75	165	4,65	166	--	85	54

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
474	2,90	444	47	--	74	162	4,70	163	--	84	53
460	2,95	430	45	--	73	159	4,75	159	--	83	53
435	3,00	418	44	--	73	154	4,80	156	--	82	52
423	3,05	402	43	--	72	152	4,85	153	--	81	52
401	3,10	387	41	--	71	149	4,90	149	--	80	51
390	3,15	375	40	--	71	147	4,95	146	--	78	50
380	3,20	364	39	--	70	144	5,00	143	--	76	50
361	3,25	351	38	--	69	--	5,05	140	--	76	--
344	3,30	340	37	--	69	--	5,10	137	--	75	--

335	3,35	332	36	--	68	--	5,15	134	--	74	--
320	3,40	321	35	--	68	--	5,20	131	---	72	--
312	3,45	311	34	--	67	--	5,25	128	--	71	--
305	3,50	302	33	--	67	--	5,30	126	--	69	--
291	3,55	293	31	--	66	--	5,35	124	--	69	--
285	3,60	286	30	--	66	--	5,40	121	--	67	--
278	3,65	277	29	--	65	--	5,45	118	--	66	--
272	3,70	269	28	--	65	--	5,50	116	--	65	--
261	3,75	262	27	--	64	--	5,55	114	--	64	--
						--	5,60	112	--	62	--
255	3,80	255	26	--	64	--	5,65	109	---	61	--
250	3,85	248	25	--	63	--	5,70	107	--	59	--
240	3,90	241	24	100	63	--	5,75	105	--	58	--

К недостаткам измерения твердости по методу Роквелла также следует отнести то, что необходима тщательная подготовка поверхности шлифованием. На прибор Роквелла, где глубина отпечатка мала, могут оказывать влияние загрязненность, вибрация и другие условия производства.

Измерение твердости образца по Роквеллу студент начинает с выбора шкалы, пользуясь табл. 5. Затем, установив нужные грузы и индентор

(алмазный конус или оправку с шариком), проводит три замера, результаты заносит в табл. 7.

Таблица 7

Результаты замера твердости по Роквеллу

№ п\п	Материал образца	Толщина, мм	Шкала	Нагрузка, кгс	Тип рабочего органа (шарик, алмазный конус)	Номер отпечатка	Число твердости HR		
							(А, В, С)	Среднее число твердости HR (А, В, С)	

Пример: Дан образец из закаленной стали. Выбираем шкалу С; ставим грузы 150 кг. В качестве рабочего органа используем алмазный конус. Результаты замеров: 58, 60, 61 заносим в табл. 7 и определяем твердость (среднее значение) HRC 60.

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА ПРИ МАЛЫХ НАГРУЗКАХ (СУПЕР-РОКВЕЛЛ ТКС-1М, ГОСТ 22975-78)

Подготовка к работе

Прибор ТКС-1М предназначен для измерения твердости тонких пластин, малых образцов и тонких поверхностных слоев (цементованных, азотированных, цианированных). Для обеспечения достоверных результатов испытания чистота поверхности изделия должна быть не ниже Δ 7 по ГОСТ 2789-73. Допускается

испытание изделий с меньшей чистотой поверхности, но при этом следует считаться с погрешностями, которые в отдельных случаях могут существенно исказить результат испытания. На испытываемой и опорной поверхностях не должно быть трещин, грубых следов обработки, царапин, выбоин, а также грязи, смазки или каких-либо покрытий.

Следует избегать нагрева испытываемых изделий при механической обработке, так как это ведет к изменению поверхностной твердости материала.

Опорная поверхность изделия должна плотно прилегать к столу. Изделие не должно качаться, сдвигаться или деформироваться (прогибаться, пружинить). На опорной поверхности изделия не должно быть следов от предыдущих испытаний шариком или конусом.

Толщина испытываемого образца должна быть не менее восьмикратной глубины внедрения алмазного конуса или шарика.

Не испытываются на приборе:

- а) неоднородные по структуре сплавы (например, чугун);
- б) хрупкие изделия и изделия с раковинами на поверхности, следами грубой обработки и другими дефектами;
- в) изделия, которые могут пружинить или деформироваться под действием нагрузки (например, тонкостенные трубы), так как деформация исказит результаты испытания;
- г) изделия толщиной меньше, чем восьмикратная глубина отпечатка;
- д) криволинейные поверхности при радиусе кривизны менее 15 мм.

При решении вопроса о проведении испытания следует учитывать состояние опорной поверхности изделия.

На приборе можно испытывать:

- а) изделия из тонких листов;
- б) изделия из азотированных и малоцементированных сталей;
- в) изделия, на поверхности которых нежелательно иметь большой след отпечатка;
- г) участки поверхности вблизи ребер призм и других деталей;
- д) очень малые образцы;
- е) изделия, которые могут разрушаться под действием большой нагрузки.

Определение твердости на ТКС-1М проводят по двум шкалам «N» и «T».

Алмазным конусом по шкале «N» определяют твердость изделий из твердых сплавов, а также изделий с поверхностной термической обработкой. При этом твердость материалов должна быть не более 94 ед., так как при большей твердости на наконечнике алмаза создается слишком сильное давление и он может разрушиться. Нижним пределом твердости по шкале «N» являются 20 ед., так как при меньшей твердости алмаз слишком глубоко проникает в изделие, и метод становится недостаточно точным.

Стальным шариком по шкале «T» определяется твердость мягких материалов (латунь, бронза, алюминий, незакаленная сталь), верхний предел твердости – 93 ед., так как при большей твердости определение становится недостаточно точным ввиду малой глубины проникновения шарика в металл. Кроме того, при испытании твердых поверхностей шарик может деформироваться.

Нижний предел твердости по шкале «T» – 10 ед.

При испытании алмазным конусом необходимо, чтобы расстояние центра отпечатка от края образца или от центра другого отпечатка было не менее 2,5 мм, а при испытании шариком – не менее 4 мм.

По табл. 8 в зависимости от твердости образца следует выбрать шкалу твердости, нагрузку и вид наконечника.

В зависимости от твердости испытуемого образца выбирают нагрузку. С учетом выбора нагрузки на подвеску устанавливают грузы. Нагрузку 15 кгс создают подвеской, а нагрузки 30 и 45 кгс – двумя сменными грузами по 15 кгс. Нагрузка 30 кгс рекомендуется для общего назначения.

Таблица 8

Обозначение шкалы	Вид наконечника	Нагрузка HRc	Обозначение твердости	Допустимые пределы шкалы
«N»	Алмазный конус	15	H15N	70–94
«N»	————"————	30	H30N	42–86
«N»	————"————	45	H45N	20–78
T	Стальной шарик Ø 1,588	15	H15T	62–93
T	————"————	45	H45T	15–82
T	————"————	30	H30T	10–72

В каждом отдельном случае нагрузка устанавливается опытным путем.

В зависимости от нагрузки выбирается шкала и наконечник. Если выбирается шкала «N» – устанавливается алмазный наконечник, если шкала T – то стальной шарик Ø1,588.

Алмазный наконечник используется при испытании твердых материалов: закаленной азотированной стали, вольфрамовых сплавов и т.д. Он должен отвечать требованиям ГОСТ 9377–81.

Значения твердости по супер-Роквеллу переводятся в значение твердости по Роквеллу (табл. 9).

Таблица 9

Справочная таблица для перевода чисел твердости

Твердость HR по шкале С	Твердость HR по шкале А	Твердость Н по шкале 15 N	Твердость Н по шкале 30 N	Твердость Н по шкале 45 N	Твердость HR по шкале В	Твердость Н по шкале 15 Т	Твердость Н по шкале 30 Т	Твердость Н по шкале 45 Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	92,0	96,5	92,0	87,5	100	93,0	82,0	72,0
	91,5	–	91,5	86,5	99	92,5	81,5	71,0
	91,0	96,0	91,0	85,5	98	–	81,0	70,0
	90,5	–	90,5	84,5	97	92,0	80,5	69,0
	90,0	95,5	90,0	83,5	96	–	80,0	68,0
	89,5	–	89,0	82,5	95	91,5	79,0	67,0
	89,0	95,0	88,5	81,5	94	–	78,5	66,0

Продолжение табл. 9

Твердость HR по шкале С	Твердость HR по шкале А	Твердость Н по шкале 15N	Твердость Н по шкале 30N	Твердость Н по шкале 45N	Твердость HR по шкале В	Твердость Н по шкале 15Т	Твердость Н по шкале 30Т	Твердость Н по шкале 45Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	88,0	–	88,0	80,5	93	91,0	78,0	65,5
	87,5	94,5	87,0	79,5	92	90,5	77,5	64,5
71	87,0	–	86,5	78,5	91	–	77,0	63,5
70	86,5	94,0	86,0	77,5	90	90,0	76,0	62,5

69	86,0	93,5	85,0	76,5	89	89,5	75,5	61,5
68	85,5	–	84,5	75,5	88	–	75,0	60,5
67	85,0	93,0	83,5	74,5	87	89,0	74,5	59,5
66	84,5	92,5	83,0	73,0	86	88,5	74,0	58,5
65	84,0	92,0	82,0	72,0	85	–	73,5	58,0
64	83,5	–	81,0	71,0	84	88,0	73,0	57,0
63	83,0	91,5	80,0	70,0	83	87,5	72,0	56,0
62	82,5	91,0	79,0	69,0	82	–	71,5	55,0
61	81,5	90,5	78,5	67,5	81	87,0	71,0	54,0
60	81,0	90,0	77,5	66,4	80	86,5	70,0	53,0
59	80,5	89,5	76,5	65,5	79	–	69,5	52,0
58	80,0	–	75,5	64,0	78	86,0	69,0	51,0
57	79,5	89,0	75,0	63,0	77	85,5	68,0	50,0
56	79,0	88,5	74,0	62,0	76	–	67,5	49,5
55	78,5	88,0	73,0	61,0	75	85,0	67,0	48,5
54	78,0	87,5	72,0	59,5	74	–	66,0	47,5
53	77,5	87,0	71,0	58,5	73	84,5	65,5	46,5
52	77,0	86,5	70,5	57,5	72	84,0	65,0	45,5
51	76,5	86,0	69,5	56,0	71	–	64,0	44,5
50	76,0	85,5	68,5	55,0	70	83,5	63,5	43,5
49	75,5	85,0	67,5	54,0	69	83,0	62,5	42,5
48	74,5	84,5	66,5	52,5	68	–	62,0	41,5
47	74,0	84,0	66,0	51,5	67	82,5	61,5	40,5
46	73,5	83,5	65,0	50,0	66	82,0	60,5	39,5
45	73,0	83,0	64,0	49,0	65	–	60,0	38,5
44	72,5	82,5	63,0	48,0	64	81,5	59,5	37,5
43	72,0	82,0	62,0	46,5	63	81,0	58,5	36,5
42	71,5	81,5	61,5	45,5	62	–	58,0	35,5
41	71,0	81,0	60,5	44,5	61	80,5	57,0	34,5
40	70,5	80,5	59,5	43,0	60	–	56,5	33,5
39	70,0	80,0	58,5	42,0	59	80,0	56,0	32,0

Окончание табл. 9

Твердость HR по шкале С	Твердость HR по шкале А	Твердость Н по шкале 15N	Твердость Н по шкале 30N	Твердость Н по шкале 45N	Твердость HR по шкале В	Твердость Н по шкале 15Т	Твердость Н по шкале 30Т	Твердость Н по шкале 45Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	69,5	79,5	57,5	41,0	58	79,5	55,0	31,0
37	69,0	79,0	56,5	39,5	57	–	54,5	30,0
36	68,5	78,5	56,0	38,5	56	79,0	54,0	29,0
35	68,0	78,0	55,0	37,0	55	78,5	53,0	28,0

34	67,5	77,0	54,0	36,0	54	–	52,5	27,0
33	67,0	76,5	53,0	35,0	53	78,0	51,5	26,0
32	66,5	76,0	52,0	33,5	52	77,5	51,0	25,0
31	66,0	75,5	51,5	32,5	51	–	50,5	24,0
30	65,5	75,0	50,5	31,1	50	77,0	49,5	23,0
29	65,0	74,5	49,5	30,0				
28	64,5	74,0	48,5	29,0				
27	64,0	73,5	47,5	28,0				
26	63,5	72,5	47,0	26,5				
25	63,0	72,0	46,0	25,5				
24	62,5	71,5	45,0	24,0				
23	62,0	71,0	44,0	23,0				
22	61,5	70,5	43,0	22,0				
21	61,0	70,0	42,5	20,5				
20	60,5	69,5	41,5	19,5				

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ

Испытание твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999-75) проводят вдавливанием в испытуемый образец четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине 136° (рис. 5). Твердость по Виккерсу определяют так же, как и твердость по Бринеллю, т.е. отношением нагрузки P к поверхности полученного отпечатка F . Отпечаток получается в виде квадрата (см. рис. 5). С помощью микроскопа, являющегося составной частью прибора Виккерса, измеряют его диагонали и определяют их среднеарифметическое.

Величина твердости характеризуется символом HV и вычисляется по формуле:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{P \cdot 1,854}{d^2}, \text{ кгс/мм}^2, \quad (6)$$

где P – нагрузка, Н; α – угол между противоположными гранями пирамиды алмазного наконечника, $\alpha = 136^{\circ}$; d – среднее арифметическое длины обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

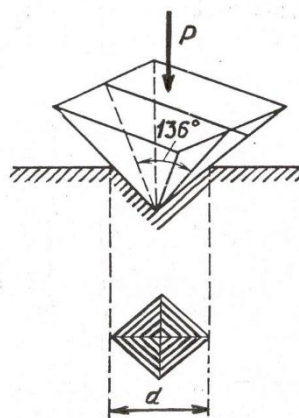


Рис.5. Схема испытания на твердость по Виккерсу

Метод Виккерса применяют главным образом для материалов, имеющих высокую твердость, а также для испытания на твердость деталей малых сечений или тонких поверхностных слоев.

При испытании применяют нагрузки, равные 10, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 Н. Малые нагрузки 50, 100 Н позволяют определять твердость деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев (например, цементованных, цианированных, азотированных и др.).

Измерения пирамидой дают более точные значения для материалов с высокой твердостью по сравнению с шариком или конусом. Алмазная пирамида имеет большой угол в вершине и диагональ, отпечаток которой примерно в 7 раз больше глубины отпечатка, что повышает точность измерения даже при проникновении пирамиды на небольшую глубину.

Нагрузку выбирают в зависимости от толщины испытываемого слоя металла. Она должна быть в 1,5 раза больше диагонали отпечатка.

На обратной стороне образца после его испытания не должно обнаруживаться место, где прилагалась нагрузка. Отношение глубины отпечатка к величине его диагонали приблизительно 1:7.

Поверхность испытываемого изделия в месте измерения твердости должна быть чистой, блестящей и иметь класс шероховатости не ниже Δ 10 по ГОСТ 2789-73.

Минимальная толщина испытываемого изделия должна быть больше длины диагонали: для стальных изделий – в 1,2 раза, для изделий из цветных сплавов – в 1,5 раза. Изделие не должно пружинить или деформироваться под действием испытательной нагрузки.

Расстояние между центром отпечатка и краем испытываемого изделия или краем соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 мм диагонали отпечатка.

Рекомендуемые нормы выбора нагрузки при определении твердости по Виккерсу представлены в табл. 10.

Таблица 10

Толщина образца, мм	Рекомендованные нагрузки, Н, при твердости HV			
	20–50	50–100	100–300	300–900
0,3–0,5	–	–	–	50–100
0,5–1,0	–	–	50–100	100–200
1,0–2,0	50–100	100–250	100–200	–
2,0–4,0	100–200	до 300	200–500	200–500
≥4,0	≥200	≥300	≥500	–

На приборе не разрешается испытывать:

- 1) неоднородные по структуре сплавы (например, чугун);
- 2) хрупкие изделия и изделия, имеющие на поверхности раковины, следы грубой обработки и другие дефекты;
- 3) изделия, которые могут деформироваться или пружинить под действием испытательной нагрузки.

При испытании цементованных или других тонких слоев металла нагрузка должна быть тем меньше, чем тоньше слой. Если толщина испытываемого слоя неизвестна, рекомендуется произвести несколько испытаний при различных нагрузках (например, при 100, 200 и 500 Н). Если основная масса (сердцевина) образца не влияет на результаты измерений, то числа твердости совпадут или будут близки друг другу. Если числа твердости при возрастании нагрузки будут уменьшаться, необходимо применять меньшие нагрузки до тех пор, пока все смежные нагрузки не дадут совпадающих или близких друг другу результатов.

Преимущество метода Виккерса – возможность измерения твердости мягких, а также особо твердых материалов. Этим методом можно измерять твердость очень тонких изделий, а также твердость поверхностных слоев (при обезуглероживании, наклепе, цементации и т.д.). Из-за большого угла в вершине наконечника-пирамиды даже при малой глубине её внедрения диагональ отпечатка имеет большое значение, что определяет высокую точность и чувствительность этого метода.

Методические указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с основными положениями, устройством и работой рычажного пресса Бринелля и прибора Роквелла. Коротко законспектировать основные теоретические положения.

2. Для определения твердости каждому студенту выдается 2 образца из стали (один – из закаленной, другой – из отожженной). Выбрать, какой образец следует измерять на прессе Бринелля и какой на приборе Роквелла.

3. При измерении твердости по Бринеллю выбрать шарик, подсчитать нагрузку (с помощью табл. 3) и установить на подвеску необходимые грузы.

4. Выбрать время выдержки (пользуясь табл. 3) и установить на приборе.

5. Провести испытания образца.

6. Замерить полученный диаметр отпечатка.

7. По табл. 2 определить твердость НВ.

8. Данные замера твердости свести в табл. 4, при этом необходимо определить σ_v , пользуясь формулой (1) и табл. 1.

9. Выбрать шкалу испытаний на приборе Роквелла для измерения второго образца (см. табл. 5), для чего необходимо помнить, что мягкие стали и сплавы испытывают по шкале В, термически обработанные – по шкале С, металлокерамические сплавы – по шкале А.

10. Установить нужный индентор и необходимые грузы (см. табл. 5).

11. Провести испытания образца.

Данные замера твердости по Роквеллу свести в табл. 7, при этом полученное число твердости по Роквеллу перевести в число твердости по Бринеллю с помощью табл. 6.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое твердость? К каким свойствам она относится?

2. Какие существуют методы определения твердости? О каких механических свойствах можно судить по твердости?

3. Почему определение твердости очень широко применяется как на производстве, так и при исследовательской работе?

4. Принцип измерения твердости по Бринеллю. У каких материалов определяют НВ?

5. В зависимости от чего выбираются диаметр шарика и нагрузка, прикладываемая к шарикам при испытании твердости по Бринеллю?

6. Какая нагрузка и какой индентор используются при измерении твердости НРА? Для каких случаев применяется шкала А?

7. Какая нагрузка и какой индентор используются при измерении твердости HRB? Для каких случаев применяется шкала В?
8. Какая нагрузка и какой индентор используются при измерении твердости HRC? Для каких случаев применяется шкала С?
9. Принцип измерения твердости по Роквеллу и по супер-Роквеллу при малых нагрузках?
10. В каких случаях измеряют твердость по Бринеллю и в каких случаях по Роквеллу? Какой метод проще, удобнее и более широко применяется?
11. В каких случаях измеряют твердость по Виккерсу?

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костин, П. П.* Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов / П. П. Костин. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
2. *Технология металлов и материаловедение / Б. В. Кнорозов.* – М. : Metallurgia, 1987. – 800 с.
3. *Материаловедение. учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.].* – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 648 с.
4. *Золотаревский, В. С.* Механические свойства металлов : учебник для вузов / В. С. Золотаревский. – М. : МИСиС, 1998. – 393 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Основные теоретические положения.....	2
Измерение твердости по Бринеллю.....	3
Измерение твердости по Роквеллу.....	9
Измерение твердости металлов и сплавов по методу Роквелла при малых нагрузках (супер-Роквелл ТКС-1М, 13 ГОСТ 22975-78).....	13
Измерение твердости по Виккерсу.....	16
Список литературы.....	19

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Технология конструкционных материалов»

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Технология конструкционных материалов: Методическое руководство к выполнению лабораторных работ/ Сост. : А.А. Аникин, А.В. Павлов, В.А. Хотинский, А.А. Аникин.; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 39 с.

В методических указаниях приведено описание лабораторных работ по горячей обработке металлов и сварке из курса «Технология конструкционных материалов и материаловедение», читаемого для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность Его цель – помочь студентам в выполнении комплекса лабораторных работ по указанным разделам курса.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания предназначены для облегчения усвоения и закрепления теоретического материала.

Лабораторные работы должны:

1. Развить навыки самостоятельной работы.
2. Дать возможность изучить лабораторное оборудование и методы проведения работ и расчетов.
3. Научить обобщать полученные опытные данные путём составления таблиц, построения графиков, зарисовки схем.
4. Научить делать правильные выводы из результатов работ и оценивать их практическое значение.

Последовательность проведения и тематика лабораторных работ соответствуют порядку изложения курса. Для работы даются краткие сведения из теории, методика выполнения работы. Работы выполняются каждым студентом. Некоторые работы выполняются бригадой в 2-3 человека, причем каждому студенту или бригаде выдается индивидуальное задание.

Отчёт по лабораторным работам подготавливается каждым студентом. Все чертежи выполняются в стандартном масштабе (лучше 1 : 1 или 1 : 2).

Текстовая часть пишется аккуратно чернилами на листе с оставлением полей 25-30 мм.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

РАСЧЕТ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

Ц е л ь р а б о т ы. Ознакомиться с расчетом шихты методом подбора.

З а д а н и е. Рассчитать шихту методом подбора на завалку в 100 кг для получения чугуна заданного химсостава.

Порядок выполнения

- Определить химсостав шихты с учетом угара (пригара) элементов.
- Выбрать состав шихты в зависимости от плавильной печи.
- Рассчитать содержание элементов в шихте.
 - Рассчитать количество ферросплавов и лома угольных электродов, необходимых для добавления в шихту, с целью получения заданного химсостава чугуна.
- Рассчитывать шихту (по заданию преподавателя) обычным способом.

Варианты заданий приведены в таблице 1.1. Расчет вести по среднему значению из указанных в таблице пределов по каждому элементу.

1.1. Краткие сведения из теории

1.2.

Отливки из серого чугуна получают путём расплавления подобранных шихтовых материалов, обеспечивающих заданный химический состав отливки, с последующей заливкой в подготовленную форму. В чугунолитейных цехах в основном используются три типа агрегатов: вагранки, электродуговые и индукционные печи.

Шихта – смесь материалов, загружаемых в плавильную печь.

В вагранках расплавление шихтовых материалов происходит за счёт тепла, выделяемого при горении кокса, который находится в непосредственном контакте с ними. Это обстоятельство обуславливает возможность перехода некоторых элементов (в первую очередь углерода и серы) из топлива в выплавляемый чугун.

В электродуговых и индукционных печах плавка шихтовых материалов производится за счёт электроразогрева дугой или индукционными токами.

Таблица 1.1

Варианты заданий по расчету шихты

№ вари- антов	Химический состав отливок, %			Плавильный агрегат	Ферросплавы для добавки марганца и кремния
	C	Mn	Si		
1	3,2-3,8	0,5-0,8	2,4-2,7	Вагранка	ФМн0,5; ФС 90
2	3,2-3,8	0,5-0,8	2,3-2,6	Вагранка	ФМн0,5; ФС 75
3	3,1-3,6	0,5-0,8	2,2-2,5	Вагранка	ФМн0,5; ФС 75
4	3,0-3,5	0,5-0,8	2,1-2,4	Вагранка	ФМн0,5; ФС 65
5	3,2-3,5	0,5-0,8	2,0-2,3	Вагранка	ФМн0,5; ФС 45
6	3,1-3,4	0,5-0,8	1,9-2,2	Вагранка	ФМн78; ФС 25
7	3,1-3,3	0,6-0,9	1,8-2,1	Дуговая печь	ФМн78; ФС 90
8	3,0-3,3	0,7-1,0	1,6-2,0	Дуговая печь	ФМн78; ФС 75
9	3,0-3,4	0,7-1,1	1,7-2,1	Дуговая печь	ФМн78; ФС 65
10	2,9-3,3	0,7-1,2	1,4-1,9	Дуговая печь	ФМн78; ФС 45
11	2,9-3,2	0,8-1,5	1,7-1,6	Дуговая печь	ФМн78; ФС 25
12	2,8-3,2	0,9-1,5	1,0-1,6	Дуговая печь	ФМн78; ФС 90
13	2,8-3,2	1,0-1,4	1,4-1,8	Индукц.печь	ФМн75; ФС 75
14	2,8-3,1	1,1-1,5	1,3-1,7	Индукц.печь	ФМн75; ФС 65
15	2,8-3,1	1,1-1,5	1,0-1,6	Индукц.печь	ФМн75; ФС 45
16	2,8-3,1	1,0-1,4	1,3-1,7	Индукц.печь	ФМн75; ФС 25
17	2,7-3,0	1,1-1,5	1,2-1,6	Индукц.печь	ФМн75; ФС 90
18	2,7-3,0	1,1-1,5	0,9-1,6	Индукц.печь	ФМн75; ФС 75
19	2,7-3,1	1,1-1,5	1,0-1,6	Дуговая печь	ФМн0,5; ФС 65
20	2,7-3,0	1,1-1,5	0,8-1,5	Дуговая печь	ФМн0,5; ФС 45
21	3,2-3,6	0,6-1,2	1,3-2,0	Дуговая печь	ФМн0,5; ФС 25
22	3,2-3,8	0,4-0,7	1,4-2,2	Индукц.печь	ФМн0,5; ФС 90
23	3,2-3,8	0,4-0,7	1,7-2,6	Индукц.печь	ФМн0,5; ФС 65
24	3,0-3,5	0,6-0,8	1,4-2,2	Индукц.печь	ФМн0,5; ФС 75
25	2,2-2,8	0,2-0,4	3,0-4,0	Вагранка	ФМн78; ФС 45
26	3,4-3,8	0,5-0,6	2,1-2,8	Вагранка	ФМн78; ФС 25

27	3,2-3,4	1,2-1,4	2,0-2,2	Дуговая печь	ФМн78; ФС 90
28	3,4-3,6	0,6-0,8	1,8-2,0	Дуговая печь	ФМн78; ФС 75
29	3,2-3,4	0,8-1,0	1,8-2,0	Дуговая печь	ФМн75; ФС 65
30	3,0-3,2	1,0-1,2	2,0-2,2	Дуговая печь	ФМн75; ФС 45

При расчете шихты необходимо учитывать угар элементов при плавке. В таблице 1.2 приведен угар элементов для различных агрегатов (при расчете брать средние значения угара).

Таблица 1.2

Данные об угаре элементов при плавке в различных печах, %

Химические Элементы	В вагранке		В дуговой Электропечи		В индукцион- Ной печи	
	от	до	от	до	от	До
Углерод, С	-	-	-5	-10	-3	-5
Кремний, Si	-10	-15	-	-	-	-
Марганец, Mn	-15	-20	-15	-20	-	-

1.2. Методика расчета шихты методом подбора

(на примере варианта 1)

Исходные данные и результаты вычислений вносим в таблицу 1.6. Заполняем первую строку таблицы 1.6, пользуясь таблицей 1.1 для варианта 1: С 3,5%; Mn 0,6%; Si 2,6%. Затем, пользуясь таблицей 1.2, заполняем вторую строку таблицы 1.6: угар по С – 0%; по Mn – 17%;

по Si – 12%. Для заполнения 3-й строки таблицы надо рассчитать, сколько

должно быть каждого элемента в шихте с прибавкой на угар. По углероду угара в вагранке нет, поэтому в шихте должно быть столько углерода, сколько в отливке (3,5% С), - заносим в таблицу 1.6 (3-я строка). Марганец в вагранке угорает. Процент марганца в шихте принимаем за X2 и составляем уравнение: от X2 угорит 17% (0,17), в результате должно

$$\text{остаться } 0,6\% \text{ Mn, т.е. } X2 - 0,17X2 = 0,6; \quad X2 = \frac{0,6}{0,83} = 0,72\% \text{ Mn}$$

(вносим в таблицу 1.6, 3-я строка).

Составляем уравнение для Si, приняв содержание Si в шихте за X3:

$$X3 - 0,12X3 = 2,6; X3 = \frac{2,6}{0,88} = 2,95\%$$

(вносим в таблицу 1.6, 3-я строка).

Следующий этап: надо набрать 100 кг шихты, как это рекомендуется в таблице 1.3 для плавильного агрегата (в нашем случае вагранка). Шихта состоит из доменных чугунов ЛК1 и ЛК2, скрапа (стальной лом или пакетированная стружка) и возврата собственного производства (бракованные отливки, отрезанные литники и т.д.).

Выборную шихту вносим в таблицу 1.6 (строки 4-7). Теперь необходимо подсчитать, сколько

C, Si и Mn в выбранной шихте. В таблице 1.4 приведен химический состав шихтовых материалов. Масса чугуна ЛК1 в нашем примере составляет 20 кг, т.е. 0,2 части от всей шихты. Берем из таблицы 1.4 содержание углерода в ЛК1- 3,5%, следовательно, ЛК1 внесет $3,5 \times 0,2 = 0,7\%$ C.

Таблица 1.3

**Состав шихты в зависимости от применяемых
плавильных печей, %**

Наименование материала (компоненты шихты)	Плавка в вагранке	Плавка в дуго- вой эл. печи	Плавка в индук- ционной печи
Чугуны чушковые (литей- ные ЛК-1 и ЛК-2)	15-50	15-30	0-15
Собственный возврат	20-30	20-30	20-30
Лом стальной	0-50	40-60	-
Пакетированные легко-			

весные металлоотходы	-	-	50-70
----------------------	---	---	-------

Таким же образом подсчитывается содержание Mn и Si, вносимых в шихту чугуном ЛК1 ($0,5 \times 0,2 = 0,1\%$ Mn; $3,3 \times 0,2 = 0,66\%$ Si), а

затем и другими материалами (ЛК2, возвратом и скрапом). Все эти данные заносят все эти данные заносят в таблицу 1.6 (строки 4-7) и находят суммарное содержание С, Mn и Si во всей шихте (строка 8 таблицы 1.6).

Таблица 1.4

Химический состав шихтовых материалов, %

Компоненты шихты	С	Si	Mn
Чушковый чугун ЛК-1	3,5	3,3	0,50
ЛК-2	3,6	3,0	0,50
Возврат собственного производства	химсостав по варианту (см. табл. 1)		
Лом стальной или пакетированные легковесные металло-отходы	0,2	0,3	0,80

Теперь необходимо сравнить данные из строк 3 и 8 в таблице 1.6, а разницу записать в строку 9 таблицы 1.6, т.е. установить, сколько элементов в выбранной шихте и сколько необходимо иметь, чтобы получить заданный химсостав отливки. Если в выбранной шихте элемента больше, чем надо, то необходимо уменьшить массу того компонента шихты, который вносит наибольшее количество этого элемента (например, при избытке Mn надо уменьшить массу скрапа, а увеличить массу чушкового чугуна). Чаше при расчете получается так, что элементов не хватает, тогда их добавляют материалами сверх 100 кг. Для добавления углерода используется лом угольных электродов, который содержит 100% углерода (заполняется строка 10 таблицы 1.6), для добавления марганца используется ферромарганец, а кремния – ферросилиций, марки которых заданы в таблице 1.1 в соответствии с вариантом. Химический состав электропечных ферросплавов по основному элементу приведен в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Химический состав ферросплавов

Наименование ферро-сплавов	Марка	Кремний (среднее содержание), %	Марганец (среднее содержание), %
Ферросилиций (ГОСТ 1415-70)	ФС90	90	-
	ФС75	75	-
	ФС65	65	-
	ФС45	45	-
	ФС25	25	-
Ферромарганец (ГОСТ 4755-70)	ФМн0,5	-	85
	ФМн78	-	78
	ФМн75	-	75

В нашем варианте не хватает 2,19% углерода, значит, необходимо в шихту добавить 2,19 кг лома угольных электродов (на 100 кг шихты). Добавку Mn, которого не хватает 0,07%, восполняем 85%-ным ферромарганцем (ФМн0,5), необходимое количество которого (на 100 кг шихты) определяем, исходя из соотношения:

1 кг ФМн0,5 содержит 0,85 кг Mn.

Искомое Q2 кг ферромарганца должно содержать 0,07 кг Mn.

$$Q_2 = \frac{0,07}{0,85} = 0,08 \text{ кг ФМн0,5.}$$

Для добавки кремния (1,09 кг) таким же способом рассчитывают количество ферросилиция марки ФС90:

$$Q_3 = \frac{1,09}{0,90} = 1,2 \text{ кг ФС90 на 100 кг шихты.}$$

В ы в о д ы. Для получения отливки состава 3,5% C; 0,6% Mn; 2,6% Si в состав шихты должны входить:

ЛК1 – 20%;

ЛК2 – 10%;

возврат – 30%;

стальной лом – 40%;

лом угольных электродов – 1,31%;

ферромарганец ФМн0,5 – 0,08%;

ферросилиций ФС90 – 1,2%.

Сводная таблица расчета шихты (дан расчет по варианту 1)

№ пп.		Масса шихтового материала, кг	Химический состав, %			Выбранная шихта (на 100 кг шихты)
			C	Mn	Si	
1	Отливка (по варианту) печь – вагранка	-	3,5	0,6	2,6	
2	Угар, % (для вагранки, из табл. 1.2)		0	17	12	
3	Результаты подсчета химического состава шихты с учетом угара элементов		3,5	0,72	2,95	
4	Чугун ЛК1	20	$3,5 \times 0,2 = 0,7$	$0,5 \times 0,2 = 0,1$	$3,3 \times 0,2 = 0,66$	20 кг ЛК1
5	Чугун ЛК2	10	$3,6 \times 0,1 = 0,36$	$0,5 \times 0,1 = 0,05$	$3,0 \times 0,1 = 0,3$	10кг ЛК2
6	Возврат	30	$3,5 \times 0,3 = 1,05$	$0,6 \times 0,3 = 0,18$	$1,6 \times 0,3 = 0,78$	30 кг возвр.
7	Стальной лом или пакетированная стружка (скрап)	40	$0,2 \times 0,4 = 0,08$	$0,8 \times 0,4 = 0,32$	$0,3 \times 0,4 = 0,12$	40 кг скрапа
8	Суммарное содержание	100	2,19	0,65	1,86	
9	Необходимо добавить в шихту, % (или кг на 100 кг шихты)		$3,5 - 2,19 = 1,31$	$0,72 - 0,65 = 0,07$	$2,95 - 1,86 = 1,09$	

10	Лом угольных электродов		Содержит 100%С $1,31 : 1 = 1,31$			1,31 кг лома угольных электродов
11	Ферромарганец ФМн 0,5			Содержит 85%Mn $0,07 : 0,85 = 0,08$		0,08 кг ФМн0,5
12	Ферросилиций ФС90				Содержит 90% Si $1,09 : 0,9 = 1,2$	1,2 кг ФС90

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

РАСЧЕТ ПОКОВКИ

Ц е л ь р а б о т ы: Научиться проектировать поковку для изготовления детали несложной формы.

З а д а н и е. Рассчитать поковку для изготовления детали.

Порядок выполнения

- Составить и вычертить чертёж поковки.
- Определить вес исходной заготовки.
- Определить размеры исходной заготовки $D_{\text{заг}}$, $A_{\text{заг}}$, $L_{\text{заг}}$.
- Определить температурный интервалковки и температуру в печи.
- Определить время нагрева заготовок в пламенных печах.
- Определить тоннаж молота (вес падающих частей).
- Указать способ охлаждения поковок.

2.1. Краткие сведения из теории

Ковка является разновидностью обработки металлов давлением. Обработка металлов давлением основана на способности металлов в определенных условиях получать пластические (остаточные) деформации в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Таким образом, при обработке металлов давлением заготовка превращается в изделие за счет пластического деформирования твердой заготовки или ее отдельных частей, что составляет ее коренное отличие от обработки резанием, при которой форма изделия получается путем удаления (срезания) части заготовки в стружку, и от литейных процессов, в которых изделие получается при затвердевании жидкого расплавленного металла, залитого в форму.

Ковка - технологический процесс, при котором в результате ударов молота или давления пресса нагретый металл пластически деформируется,

постепенно приобретая заданную форму. Металл свободно течет (свободная ковка).

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют коваными поковками или просто поковками. Ковка применяется при индивидуальном производстве для изготовления единичных поковок из слитка или сортового проката (при ремонтных работах и индивидуальных заказах). К основным операциям свободнойковки относятся: осадка, высадка, протяжка, раскатка, прошивка, рубка, гибка.

При ковке нагрев заготовок обычно ведется в пламенных нагревательных печах. Недостатком пламенных печей является низкий коэффициент полезного действия и угар металла до 2-3 % за один нагрев и 1,0-1,5% за один подогрев. Охлаждение поковок из конструкционных сталей (углеродистых и большинства низколегированных) ведется обычно на воздухе.

При всех видах обработки металлов давлением объем его остается постоянным (изменяется только форма) – закон постоянства объема.

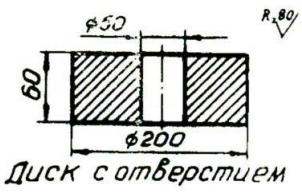
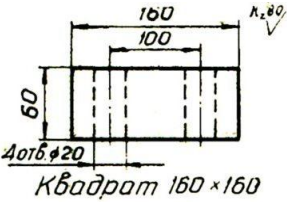
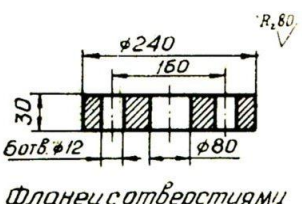
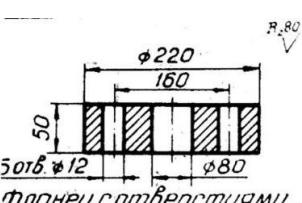
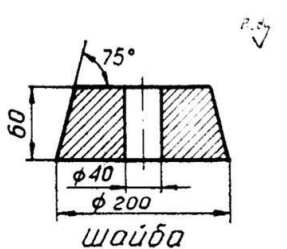
2.2. Проектирование технологического процесса изготовления поковки

2.2.1. Составление чертежа поковки

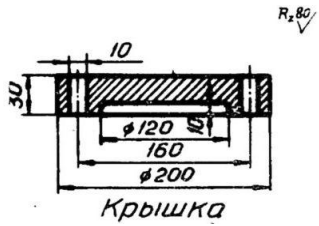
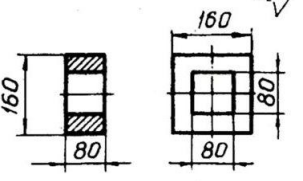
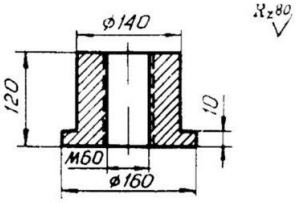
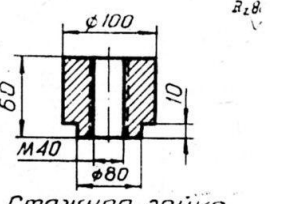
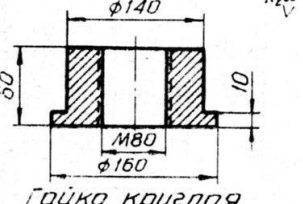
Пользуясь чертежом детали, в соответствии с вариантом задания, составляют чертеж поковки.

Варианты заданий для лабораторной работы № 2

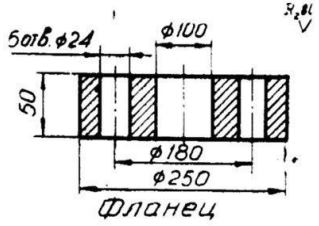
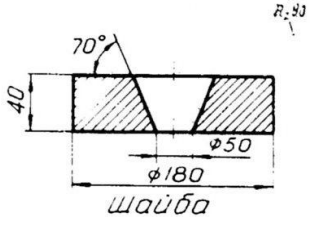
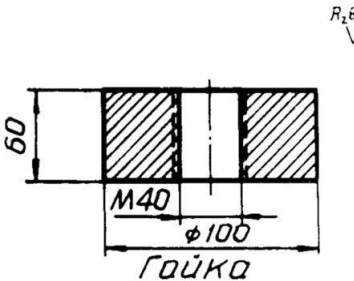
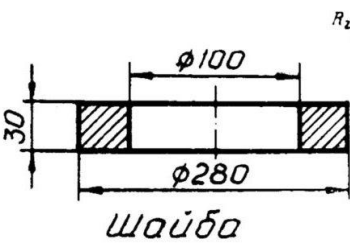
№ вар.	Эскиз детали	Кол-во	Марка стали	Тип нагрев. Устройства	Оборудов. Дляковки
1	2	3	4	5	6

1	 <p>Диск с отверстием</p>	40	45	Пламенная печь	Молот
2	 <p>Квадрат 160 x 160</p>	10	45	Пламенная печь	Молот
3	 <p>Фланец с отверстиями</p>	20	45	Пламенная печь	Молот
4	 <p>Фланец с отверстиями</p>	45	45	Пламенная печь	Молот
5	 <p>Шайба</p>	20	45	Пламенная печь	Молот
6		100	45	Пламенная печь	Молот

	<p>Ботб. $\phi 20$ 35 $\phi 180$ $\phi 260$ Диск</p>				
7	<p>75° $\phi 40$ 40 $\phi 180$ Шайба</p>	20	45	Пламенная печь	Молот
8	<p>Ботб. $\phi 20$ 50 $\phi 180$ $\phi 220$ Диск</p>	200	45	Пламенная печь	Молот
9	<p>$\phi 130$ 10 50 $\phi 180$ $\phi 168$ $\phi 50$ Шестерня</p>	20	40	Пламенная печь	Молот
10	<p>Ботб. $\phi 20$ 30 $\phi 120$ 180 $\phi 240$ Крышка</p>	30	40ХН	Пламенная печь	Молот

11	 <p>Крышка</p>	30	40XH	Пламенная печь	Молот
12	 <p>Квадратная шайба</p>	5	45	Пламенная печь	Молот
13	 <p>Стяжная гайка</p>	1	40X	Пламенная печь	Молот
14	 <p>Стяжная гайка</p>	1	40X	Пламенная печь	Молот
15	 <p>Гайка круглая</p>	2	45	Пламенная печь	Молот
16		5	40XH	Пламенная	Молот

	<p>шайба</p>			печь	
17	<p>шайба</p>	5	40XH	Пламенная печь	Молот
18	<p>шестерня</p>	50	12XH 3 А	Пламенная печь	Молот
19	<p>шестерня</p>	50	40X	Пламенная печь	Молот
20	<p>шестерня</p>	10	45	Пламенная печь	Молот

21	 <p>5 ribs $\phi 24$ $\phi 100$ $R_z 40$ 50 $\phi 180$ $\phi 250$ Фланец</p>	10	45	Пламенная печь	Молот
22	 <p>70° $R_z 30$ 40 $\phi 180$ $\phi 50$ шайба</p>	10	45	Пламенная печь	Молот
23	 <p>$R_z 80$ 60 M40 $\phi 100$ Гайка</p>	10	40X	Пламенная печь	Молот
24	 <p>$R_z 80$ 30 $\phi 100$ $\phi 280$ шайба</p>	20	45	Пламенная печь	Молот

Величина припусков устанавливается по ГОСТ 7829-70 (табл. 2.2).

Деталь – изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций, она, как правило, является частью какого-либо механизма или машины (рис. 2.1).

Поковка – изделие, полученное из заготовки в результате ковки или штамповки, она предназначена для получения детали. Поковка по объему и размерам больше, чем деталь, потому что на поковке даются припуски на механическую обработку (рис. 2.2).

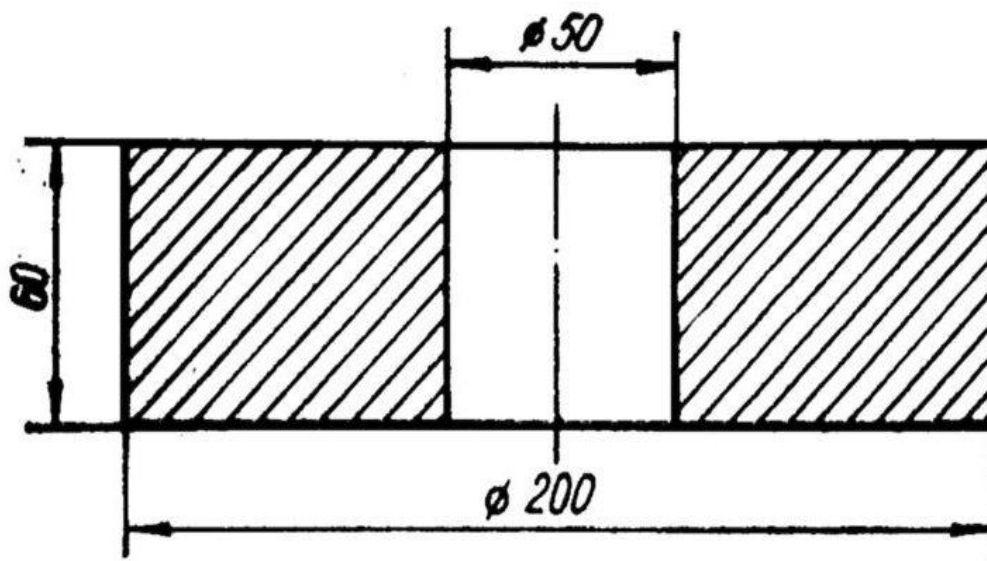


Рис. 2.1. Эскиз детали

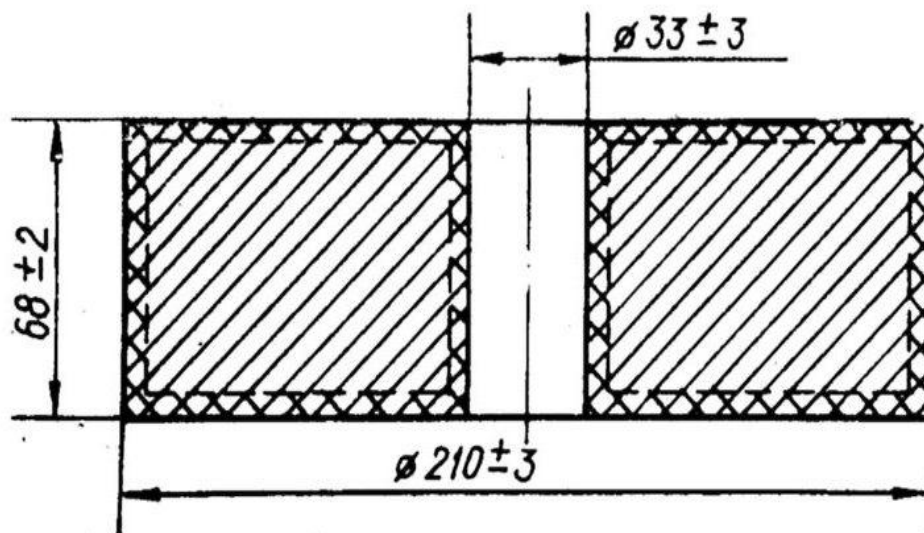


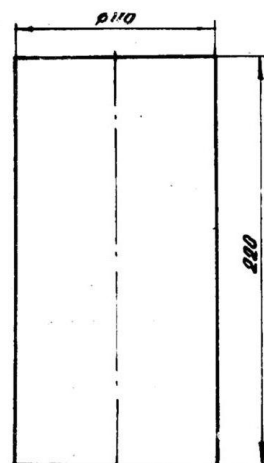
Рис. 2.2. Эскиз поковки

Заготовка предназначена для получения поковки. Заготовка по объему больше поковки на величину потерь на угар и обсежку. Из заготовки получают поковку, а из поковки после снятия припуска на механическую обработку получают готовое изделие (деталь) (рис. 2.3).

Размер поковки, равный размеру детали, плюс припуск на механическую обработку, называется номинальным размером поковки.

При ковке допускаются отклонения от номинального размера поковки (допуски), определяющие точность изготовления поковки. Допускаемые отклонения от номинального размера поковки определяются по ГОСТ 7829-70 (табл. 2.1). Цифры допускаемых отклонений ставятся у размера поковки. Например, 207 ± 2 . *опуском* на размер поковки называется разность между наибольшим и наименьшим допускаемыми размерами поковки.

Припуском на механическую обработку называется толщина слоя металла, предназначенного для снятия при механической обработке. Припуском учитываются пороки наружного слоя металла поковки (обезуглероживание, окисление),



кривизна поковки, смещение осей
отдельных частей поковки (эксцентricность),
качество применяемого инструмента
и приспособлений, чистота поверхности деталей.

При сложной форме детали, затрудняющей
ее изготовление ковкой, форма поковки
упрощается за счёт напусков металла.

Напуском называется местное увеличение
припуска с целью упрощения фигуры поковки
при ее изготовлении.

Р и с. 2..3. Эскиз заготовки

Указания к составлению чертежа поковки

- вычертить тонкими линиями чертеж готовой детали (согласно заданию);
- по таблице 2.1 определить припуски и отклонения на размеры поковки;
- толстыми линиями на чертеже детали нанести контур поковки и проставит размеры поковки с отклонениями. Припуск заштриховать или закрасить цветным карандашом.

Номинальные размеры поковки: диаметр $D_{\text{пок}}$, длина $L_{\text{пок}}$, сторона квадрата $A_{\text{пок}}$, высота $H_{\text{пок}}$, диаметр отверстия $d_{\text{пок}}$ - вычисляются по формуле:

$$D_{\text{пок}} = D_{\text{дет}} + \Delta D \text{ (на данный размер из табл. 2.1),}$$

где $D_{\text{дет}}$ – номинальный размер детали, на который дается припуск (по чертежу).

Припуски и допуски на поковки (цилиндры, диски, кубики, бруски, пластины
сплошные и с отверстием), изготавливаемые свободной ковкой
(по ГОСТ 7829-70), приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Припуски и предельные отклонения, Δ

Диаметр детали D или размер сечения A, L	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H										
		до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
До 50	H	6 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	-	-	-	-	-	-	-	-
	D, A, L	6 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	-	-	-	-	-	-	-	-
	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 50 до 80	H	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	-	-	-	-	-	-
	D, A, L	7 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	-	-	-	-	-	-
	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 80 до 110	H	7 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	-	-	-	-
	D, A, L	8 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	-	-	-	-
	d	14 ± 2	15 ± 2	15 ± 2	16 ± 2	16 ± 2	17 ± 3	18 ± 4	-	-	-	-
Св. 110 до 150	H	7 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 5	-	-
	D, A, L	9 ± 2	9 ± 2	10 ± 2	11 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 5	14 ± 5	-	-
	d	15 ± 2	16 ± 2	15 ± 2	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	20 ± 5	-	-
Св. 150 до 200	H	7 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 5	15 ± 5	-
	D, A, L	10 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	12 ± 4	13 ± 4	13 ± 4	14 ± 5	14 ± 5	15 ± 5	-
	d	16 ± 3	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	21 ± 5	22 ± 5	-
Св. 200 до 250	H D, A, L	8 ± 2	9 ± 3	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 4	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 5	15 ± 6	16 ± 6	17 ± 6

	d	11 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6
		17 ± 3	18 ± 3	18 ± 3	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	20 ± 4	21 ± 5	22 ± 6	23 ± 6	24 ± 6
Св. 250 до 300	H	9 ± 3	10 ± 3	10 ± 3	13 ± 4	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6
	D, A, L	12 ± 4	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	14 ± 5	15 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 7
	d	18 ± 4	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	20 ± 5	21 ± 5	21 ± 5	22 ± 6	23 ± 7	24 ± 7	25 ± 7
Св. 300 до 360	H	9 ± 3	10 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6
	D, A, L	13 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	15 ± 5	16 ± 5	16 ± 5	17 ± 6	18 ± 7	19 ± 7	20 ± 7
	d	19 ± 4	20 ± 4	20 ± 4	21 ± 5	21 ± 5	22 ± 5	22 ± 5	23 ± 6	24 ± 7	25 ± 7	26 ± 7

Примечания.

1. Припуски даны на размеры детали, получаемые обработкой резанием (диаметр, длина и т.д.).
2. Таблица распространяется на сплошные цилиндры при $H \geq 1,5D$, на бруски, пластины при $H \leq L$ и $A < 1,5$, на диски при $H < 0,5D$.
3. У прямоугольных деталей за размер H принимается наименьший, а размером A считается наибольший размер.
4. Припуски на размер L , как и для размера A .
5. Отверстия в поковке $d < 40$ мм разрешается не прошивать. Отверстия $d < 60$ мм разрешается не прошивать в поковках высотой $H > 120$ мм.
6. Сверх припусков в отверстиях допускается конусность $1 : 20$.

Определение величины припуска. Припуски на все размеры детали выбираются в таблице 3.1 на пересечении строки (наибольшие размеры) со столбцом (высота).

Например: наружный диаметр $D = 200$ мм; внутренний – $d = 50$ мм; высота $H = 60$ мм.

По таблице 3.1 на пересечении строки, где указаны диаметры от 150 до 200 мм, со столбцом, где указаны высоты от 50 до 65 мм, находим припуски и отклонения: для высоты 60 мм – 8 ± 2 мм; для наружного диаметра 200 мм – 10 ± 3 мм; для внутреннего диаметра 50 мм – 17 ± 3 мм.

Таким образом, размеры детали с припусками и отклонениями будут равны (мм) : по высоте $H = 68 \pm 2$, по наружному диаметру $D = 210 \pm 3$, по внутреннему диаметру $d = 33 \pm 3$.

2.2.2. Определение веса исходной заготовки

Вес заготовки при изготовлении из проката определяется по формуле

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{уг}} + G_{\text{об}}, \quad (2.1)$$

где $G_{\text{пок}}$ – вес поковки, вычисленный по номинальным размерам поковки;

$G_{\text{уг}}$ – вес отходов металла на обсечки.

Вес поковки определяется по формуле:

$$G_{\text{пок}} = V_{\text{пок}} \gamma, \quad (2.2)$$

где $V_{\text{пок}}$ – объем поковки, см^3 , вычисленный по номинальным размерам;

γ - удельный вес металла поковки. Для стали $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$.

Суммарный вес отходов на угар $G_{\text{уг}}$ и обсечки $G_{\text{об}}$ зависит от сложности поковки, количества нагревов заготовки и определяется по формуле

$$G_{\text{уг}} + G_{\text{об}} = \frac{KG_{\text{пок}}}{100}, \quad (2.3)$$

где K – суммарный отход на угар и обсечки, %, для различных видов поковок, изготавливаемых из штучных заготовок. Значения K в процентах от веса поковки выбираются по табл. 2.2.

Таблица 2.2

Суммарный отход на угар и обсечку K , % для различных типов поковок, изготавливаемых из штучных заготовок

Группа поковок	Последовательность ковки	K , %
Глухие фланцы (диски) круглые, овальные, квадратные пластины, кубики, бруски Фланцы с отверстием, хомуты, подвесы, гайки	Осадка, обкатка	1,5
	Осадка, ковка в размер, прошивка, правка	2,5

Подставляя в формулу (2.1) значения $G_{\text{пок}}$ (формула 2.2), $(G_{\text{уг}} + G_{\text{об}})$ из формулы (2.3), найдем массу исходной заготовки $G_{\text{заг}}$.

2.2.3. Определение размеров исходной заготовки

$D_{\text{заг}}$ – диаметр, $l_{\text{заг}}$ – длина и $A_{\text{заг}}$ – сторона квадрата (если заготовка квадратная).

Вычисляем объем исходной заготовки

$$V_{\text{заг}} = \frac{G}{\gamma}, \quad (2.4)$$

где $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$, удельный вес стали.

П р и м е ч а н и е. Если масса подставляется в г, объем получается в см^3 , так как объем заготовки в процессе пластической деформации остается постоянным (закон постоянства объема).

По найденному объему заготовки $V_{\text{заг}}$ определяем линейные размеры заготовки. Для круглых поковок и заготовку нужно брать круглую, для квадратных можно и круглую, но лучше квадратную. Тогда при изготовлении осадкой:

$$\text{для круглой заготовки ее длина } l_{\text{заг}} = \frac{4V}{\pi D}, \quad (2.5)$$

$$\text{для квадратной заготовки } l_{\text{заг}} = \frac{V}{A}, \quad (2.6)$$

где $D_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки; $A_{\text{заг}}$ – сторона квадрата.

Заготовка отрезается от прутка, штанги проката стали заданной марки на механических пилах или ножовках и выдается кузнецу.

Правильный расчет размеров заготовки обеспечит получение поковки заданных размеров.

Круглый или квадратный прокат (из которого получается заготовка) по ГОСТ 2590-71 и 2591-71 выпускается следующих размеров (даны не все размеры): 40; 41; 42; 45; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 63; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 110; 115; 120; 125; 130; 135; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200 мм.

Выбрав один из стандартных размеров проката (считая его $D_{\text{заг}}$, или $A_{\text{заг}}$), подставить цифровые значения в формулу (2.5) или (2.6) и найти величину $l_{\text{заг}}$.

П р и м е ч а н и е. Если объем подставляется в см^3 , значения $D_{\text{заг}}$

или $A_{\text{заг}}$ подставить в см. Исходя из условийковки (длинная заготовка при осадке гнется), необходимо, чтобы отношение $\frac{l}{D}$ или $\frac{l}{D}$ было равным 1,5-2,5.

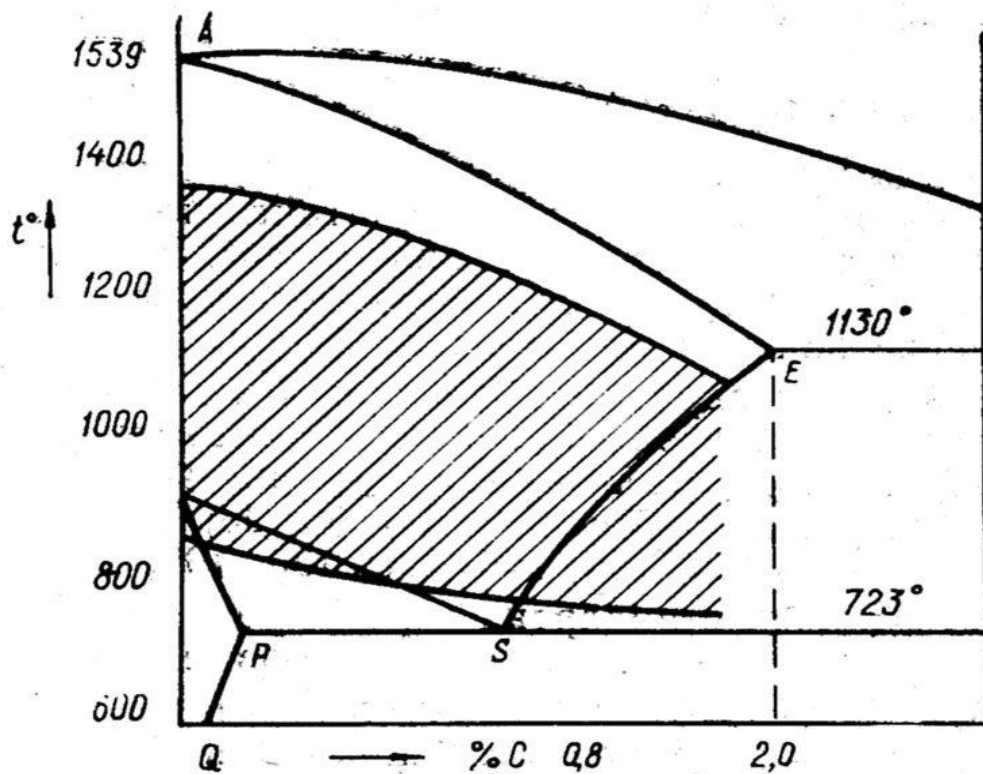
При $\frac{l}{D} > 2,5$ нужно взять прокат больших размеров ($D_{\text{заг}}, A_{\text{заг}}$). Если

$\frac{l}{D} < 1,50$, нужно взять прокат меньших размеров и вновь вычислить $l_{\text{заг}}$ по формулам (2.5) или (2.6), пока не будет выполнено указанное условие.

2.2.4. Определение температурного интервалаковки и температуры в печи

Температурный интервал горячей обработки давлением

выбирается для стали по диаграмме Fe – Fe₃C (рис. 2.4) в зависимости от содержания углерода. Для всех металлов и сплавов температура началаковки выбирается на 100-150⁰ ниже температуры плавления. При более высокой температуре наступает перегрев (укрупнение зерна) и далее при температурах, близких к температуре плавления (линия AE), пережог (окисление границ зерен и гигантский рост зерна – брак окончательный). Температура конца горячей обработки давлением выбирается из условий нормальной деформации заготовок, нормального износа инструмента и оборудования, отсутствия наклепа.



Р и с. 2.4. Диаграмма Fe-Fe₃C

В табл. 2.4 указаны рекомендуемые температуры начала и концаковки для некоторых марок стали.

Пользуясь табл. 2.4, определить для заданной марки стали температуру начала и концаковки.

При нагреве металлов изменяются их механические свойства, облегчающие деформацию при обработке давлением. С повышением температуры уменьшается прочность, твердость и увеличивается пластичность металла.

При температуре началаковки прочность стали уменьшается в 30-40 раз, что облегчает деформацию, сокращает необходимые усилия.

Для лучшего прогрева заготовок и повышения производительности в нагревательных печах создается температурный напор, равный 100-150⁰ (t_{нап}).

Температурный напор - повышение температуры в печи над температурой началаковки (t_{нач}).

В печах скоростного нагрева величина температурного напора достигает 200-300⁰, что сокращает время нагрева в 2-3 раза.

Температурные интервалы ковки

Наименование материала	Рекомендуемый интервал температур ковки, °С	
	начало	Конец
Сталь 10, 15 (С = 0,10; 0,15%)	1280	750
Сталь 20, 25, 30, 35 (С = 0,28...0,35%)	1250	800
Сталь 40, 45, 50, 55, 60 (С = 0,40...0,60%)	1200	800
Легированная сталь 40ХН; 40ХНА; 12ХНЗА; 40Х	1180	830
Шарикоподшипниковая сталь ШХ6; ШХ9; ШХ15	1150	870
Быстрорежущая сталь Р9; Р18	1150-1200	900-920
Алюминиевые сплавы: дюралюминий Д1; Д1П; Д6; Д16; Д16П	460-500	380
Магниеые сплавы МА1; МА2	420-430	300-350
Техническая медь	1000	800
Латунь Л90	900	700
Латунь Л62, ЛАН 59-3-2	800	600
Бронза БрОФ 6	900	780
Бронза БрАЖ-9-4	900	700
Бронза Бр-2 (бериллиевая)	750	650
.....		

Определить для своей поковки температуру в печи при обычном нагреве и при скоростном нагреве.

$$t_{\text{печи}} = t_{\text{нач}} + t_{\text{нап.}}$$

2.2.5. Определение времени нагрева заготовки

При нагреве в пламенных печах для заготовок диаметром >100 мм

время нагрева определяется по формуле Доброхотова-Копытова, а при диаметре ≤ 100 мм – по табл. 2.4.

Время нагрева заготовок в пламенной печи (при D>100 мм) вычисляется по формуле Доброхотова-Копытова

$$\tau = \alpha k D_{\text{заг}} \sqrt{D_{\text{заг}}} \quad (3.7)$$

где τ - полная продолжительность нагрева, ч; α - коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок в печи и форму заготовки.

Значения α приведены на рис. 2.5. студент самостоятельно выбирает способ укладки заготовок в печи.









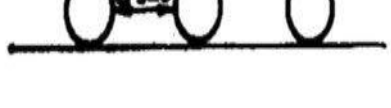
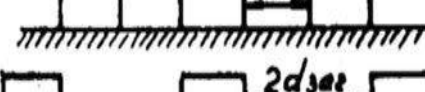

Расположение заготовок в печи, круглых	α	Расположение заготовок в печи, квадратных	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2
			1,8

Рис. 2.5. Зависимость коэффициента α от способа укладки заготовок в печи

$D_{\text{заг}}$ – диаметр или толщина заготовки, м (сторона квадрата); k – коэффициент, учитывающий физические свойства металла заготовки (теплоемкость, теплопроводность и др.). Для конструкционной углеродистой и низколегированной стали $k = 10$.

Т а б л и ц а 2.4

Продолжительность нагрева заготовок из углеродистой стали диаметром от 10 до 100 мм при температуре печи 1300° и температуре металла 1200° в минутах в зависимости от их размеров и укладки в печи (одиночное, вплотную и т.д.)

Диаметр или тол- щина за- готовки, мм	Круглая заготовка				Квадратная заготовка			
	одинач- ное	на расст. $2D_{\text{заг}}$	на расст. $0,5D_{\text{заг}}$	вплот- ную	одинач- ное	на расст. $2A_{\text{заг}}$	на расст. $0,5A_{\text{заг}}$	вплот- ную
10	2	2	3	4	2,5	3,5	4,5	8
20	3	3,5	5	7	4,5	6	8	13
30	5	5,5	7	10	6	8,5	11	19
40	6,5	8	9,5	13	8	11	14	25
50	8	9,5	12	16	10,5	14,5	17,5	32
60	9,5	11,5	14	19,5	12,5	17,5	21	38
70	11	13,5	16,5	22,5	14,5	20,5	25	44
80	13	15,5	19,5	26	17	23,5	28,5	52
90	15	18	23	31	19,5	27	33,5	62
100	18	21,5	27	36	23	32,5	40	72

2.2.6 Определение тоннажа молота, необходимого

для изготовления поковки

Тоннаж молота - масса падающих частей молота (баба, поршень, шток, верхний боек).

Необходимый для изготовления поковки тоннаж молота зависит от материала заготовки, массы и размеров заготовки, сложности поковки и способа изготовления (ковка, штамповка).

При одной и той же массе и сложности поковки тоннаж молота при штамповке требуется в 5-7 раз больше, чем при ковке, так как за один удар осуществляется большая деформация и имеется трение между заготовкой и стенками штампа.

Тоннаж молота выбирается по табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

**Ориентировочные данные для выбора веса падающих частей молота
при ковке, в зависимости от массы поковки**

Масса падающих частей молота, т	Масса поковки, кг		Максимальное сечение заготовки D, сторона квадрата A
	средняя	максимальная	

0,1	0,5	2	50
0,15	1,5	4	60
0,2	2	6	70
0,3	3	10	85
0,4	6	18	100
0,5	8	25	115
0,75	12	40	135
1	20	70	160
2	60	180	225
3	100	320	270
5	200	700	350

2.2.7 Режим охлаждения поковок

Поковки из углеродистых и большинства низколегированных сталей обычно охлаждаются на воздухе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Ц е л ь р а б о т ы: Изучение технологического процесса изготовления сварной конструкции методом ручной электродуговой сварки.

З а д а н и е. Спроектировать технологический процесс изготовления сварной конструкции методом ручной электродуговой сварки.

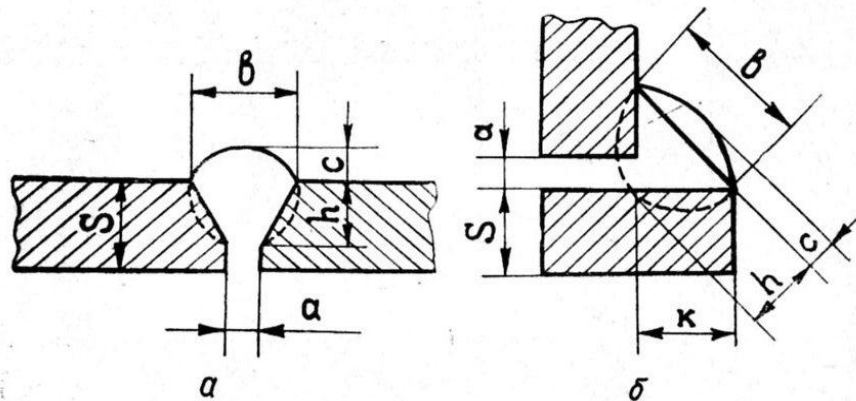
Порядок выполнения

- Ознакомиться с последовательностью операций при разработке технологического процесса изготовления сварной конструкции.
- Рассчитать основные технологические параметры сварки.
- Осуществить выбор основного технологического оборудования.

3.1 Краткие сведения из теории

Электродуговая сварка – это процесс неразъемного соединения металлов плавлением за счет использования тепла электрической дуги.

При электродуговой сварке применяют стыковое (С), нахлесточное (Н),



Р и с. 3.1. Виды сварных швов: а – стыковкой; б – угловой

угловое (У) и тавровое (Т) соединения. Сварные соединения выполняются сварными швами, которые подразделяются на стыковые и угловые (рис. 3.1).

Стыковые швы применяются для выполнения стыковых соединений.

Угловые швы применяются в нахлесточных, тавровых и угловых соединениях.

Сварные швы характеризуются: глубиной провара h , шириной шва b , величиной усиления c и катетом k .

Обозначение швов сварных соединений на чертежах и эскизах проводится согласно ГОСТ 2312-72. Видимые сварные швы изображаются сплошной линией, невидимые – пунктирной.

Для обеспечения провара металла перед сваркой производят разделку кромок механической обработкой или иным способом. Неправильная разделка кромок приводит к неполному провару сечения и другим дефектам.

Форма поперечного сечения подготовленных кромок обусловлена ГОСТ 11534-75 и определяется толщиной свариваемого металла и положением шва в пространстве (табл. 3.1).

В зависимости от свариваемого металла и требований к сварному соединению выбираются соответствующие электроды. Наибольшее распространение получили стальные электроды с покрытием из электронной обмазки. Электродные покрытия применяются для создания защиты расплавленного металла в сварочной ванне от кислорода и азота воздуха, стабилизации дуги, легирования наплавленного металла.

Электроды классифицируются:

1. По видам покрытия.
2. По толщине покрытия.
3. По допустимым пространственным положениям сварки.
4. По роду тока и полярности.
5. По назначению.

По назначению электроды подразделяются на типы (по ГОСТ 9467-75), приведенные в таблице 3.2.

3.2 Определение режимов сварки

В понятие режима сварки входят: диаметр электрода, сила сварочного тока, скорость сварки, время сварки и т.п., которые подбираются в соответствии со свариваемым материалом, формой и размерами изделия, типом сварного соединения.

3.2.1 Выбор диаметра электрода

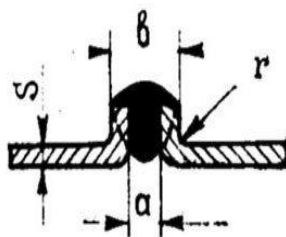
Диаметр электрода $d_{эл}$, мм, зависит от толщины свариваемого материала и определяется по формуле:

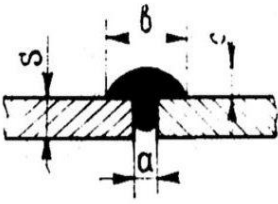
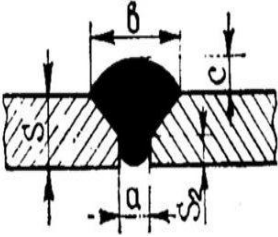
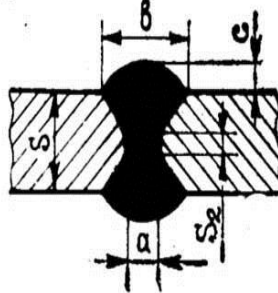
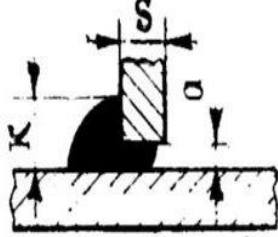
$$d_{эл} = \frac{S}{2} + 1,$$

где S – толщина свариваемого металла, мм.

Т а б л и ц а 3.1

Форма поперечного шва

№ пп.	Форма подготовленных кромок	Конструктивные элементы шва	Толщина свариваемых деталей, мм	Размеры конструктивных элементов, мм
1	с отбортовкой кромок		1-3	$r = 1 \dots 3$ $b = 2 \pm 2$ $a = 0,5 \dots 1,5$

2	без скоса кромки		1-6	$b = 3 \dots 12$ $a = 0 \dots 3$ $c = 0,5$
3	со скосом кромки		3-50	$b = 2S + 2$ $a = S_2 = 2$ $c = 0 \dots 4$
4	с симметричным скосом кромки		12-17 18-29 30-41 42-50 51-60	$b = S + 3$ $b = S + 1$ $b = S - 8$ $b = S - 11$ $a = 0 \dots 4$ $c = 0 \dots 5$
5	тавровое (без скоса кромки)		2-2,5 3-4,5 5-6 7-9 10-30	$k = 3$ $k = 4$ $k = 5$ $k = 6 \dots 8$ $a = 0 \dots 4$

Марки электродов

Марка ста- ли	Предел прочности σ_b , МПа	Марка электрода	Возможное поло- жение швов при сварке	Рекомендуемый род тока	Основное назначение электрода – для свар- ки...
Низкоуглеродистых и низколегированных сталей					
Ст 1 сп	320-420	ВИАМ-25	любое	Постоянный, Переменный	Малых толщин
Ст 2 кп	330-420	ЦМ-7	любое	-«-	Ответственных конструкций
Ст 2 сп	380-420	ЦМ-7с	нижнее	-«-	Скоростной сварки кипящей стали Спокойной стали
Ст 4 сп	420-540	ЦМ-7см	-«-	-«-	Ответственных конструкций
17ГС	520	ОММ-5	любое	-«-	Наиболее ответствен- ных конструкций
14ХГС	500	УОНИИ 13/45	-«-	Постоянный обратной полярности	Ответственных металлоконструкций
09Г2С	500	ОЗС-4	-«-	Переменный	Ответственных конструкций
		ОЗС-6	-«-	Постоянный обратной полярности	
		МР-3	-«-	Постоянный, переменный	
		АНО-4	-«-		

Углеродистых и легированных сталей					
45	610	УОНИИ 13/55	любое	Постоянный обратной полярности	Ответственных конструкций
50	640	-«-	-«-	-«-	-«-
30X	650	ВИ 10-6	-«-	-«-	-«-
40X	670	ВИ 9-6	-«-	-«-	-«-
33XC	700	УОНИИ 13/65	-«-	-«-	-«-

Продолжение таблицы 3.2

Марка ста- ли	Предел прочности σ_b , Мпа	Марка электрода	Возможное поло- жение швов при сварке	Рекомендуемый род тока	Основное назначение электрода – для свар- ки...
20ХГСА	850	ВСФ-75	любое	Постоянный обратной полярности	Ответственных конструкций
30ХМА	950	НИАТ-3М	-«-	-«-	-«-
		ЛКЗ-70	-«-	-«-	-«-
Легированных и теплоустойчивых сталей					
30ХМ	1000	ОЗС-11	любое	Постоянный обратной полярности	Ответственных конструкций
40ХФА	900	ЦЛ-20	нижнее	-«-	-«-

38XM	1100	ТМЗ-3	вертик.	-«-	-«-
12MX	420	ЦЛ-14	любое	Постоянный, переменный	-«-
12X1MФ	480	КТИ-9	-«-	-«-	
25X1MФ	900	КТИ-9	-«-	-«-	

Диаметр электрода принимается не более 12 мм независимо от толщины материала.

При сварке угловых швов диаметр электрода выбирают в зависимости от катета шва (табл. 3.3)

Таблица 3.3

Катет шва κ , мм	3	4-5	6-9
Диаметр электрода $d_{эл}$, мм	3	4	5

При сварке в вертикальном положении не рекомендуется пользоваться электродами диаметром более 5 мм, а при сварке в потолочном положении – электродами диаметром более 4 мм.

4.2.2. Выбор силы сварочного тока.

Сила сварочного тока $I_{св}$ зависит от диаметра электрода, его обмазки, коэффициента теплопроводности свариваемого металла, положения сварного шва в пространстве и определяется по формуле:

$$I_{св} = k d_{эл},$$

где k – коэффициент плотности тока, зависящий от диаметра электрода и вида покрытия (табл. 3.4)

Таблица 3.4

Диаметр электрода $d_{эл}$, мм	1-2	3	4	5	6	7
Коэффициент плотности тока k , А/мм ²	25-30	30-45	35-50	40-55	45-60	60

Повышенные значения коэффициента k принимают при сварке в нижнем положении, а при сварке вертикальных и потолочных швов – пониженные.

При отсутствии полных данных о технологии сварки расчет силы сварочного тока можно вести в зависимости от диаметра электрода по экспериментальной формуле академика К.К. Хренова:

$$I_{св} = (\beta + \alpha d_{эл}) d_{эл},$$

где β и α – опытные коэффициенты (для ручной дуговой сварки $\beta=20$; $\alpha=6$).

4.2.3. Рабочее напряжение дуги.

Рабочее напряжение дуги изменяется в сравнительно узких пределах и в зависимости от длины дуги определяется по формуле:

$$U_p = \alpha_1 + \beta_1 l.$$

где α_1 – коэффициент, характеризующий падение напряжения на электроде. Для стальных электродов при открытой дуге $\alpha_1=12-18$ В; β_1 – падение напряжения, отнесенное к одному мм длины дуги, равное 2-3 В на 1 мм;

Длина дуги выбирается в зависимости от диаметра электрода:

$$l = \frac{d_{эл} + 1}{2}$$

4.2.4. Определение веса наплавленного металла.

Вес наплавленного металла определяется по формуле:

$$Q_H = FL\gamma,$$

где F – площадь поперечного сечения, см²; L – длина сварочного шва, см; γ – плотность наплавленного металла, г/см³ (для стали $\gamma=7,85$ г/см³).

Площадь поперечного сечения шва можно определить из таблицы 3.5

Таблица 3.5

Площадь поперечного сечения шва при ручной электродуговой сварке

Швы стыковых соединений								Швы тавровых соединений и внахлест	
без скоса кромок			V-образные			X-образные			
толщина, мм	односторонний, см ²	двухсторонний, см ²	толщина, мм	односторонний, см ²	двухсторонний, см ²	толщина, мм	симметричные, см ²	катет шва, мм	сечение, см ²
2	0,095	0,11	6	0,40	0,54	14	1,12	4	0,10
3	0,11	0,14	7	0,49	0,63	16	1,35	5	0,16
4	0,16	0,123	8	0,59	0,77	18	1,60	6	0,23
5	0,21	0,269	9	0,71	0,94	20	1,88	7	0,31
6	0,27	0,33	10	0,83	1,06	22	2,16	8	0,41
7	-	0,383	12	1,119	1,35	24	2,52	9	0,52
8	-	0,46	14	1,45	1,68	26	2,85	10	0,64
9	-	0,51	16	1,93	2,21	28	3,21	12	0,92
10	-	0,624	18	2,43	2,66	30	3,61	14	1,25
12	-	0,717	20	2,82	3,10	32	4,38	16	1,64
-	-	-	22	3,44	3,67	34	4,78	18	2,08
-	-	-	24	4,01	4,24	36	5,26	20	2,56
-	-	-	-	-	-	38	5,74	22	3,11
-	-	-	-	-	-	40	6,27	24	3,69

Вес электродного материала определяется по формуле:

$$Q_э = Q_н (1 + K_н),$$

где $Q_н$ – вес наплавленного металла, г; $K_н$ – коэффициент потерь на угар, разбрызгивание и огарки электродов ($K_н=0,15-0,40$).

4.2.5. Определение времени и скорости сварки.

Основное время горения дуги, ч, определяется:

$$t_0 = \frac{Q_э}{I_{св} K_н}$$

где $I_{св}$ – сила сварочного тока, А; $K_н$ – коэффициент наплавки, выбирается по табл. 3.6.

Таблица 3.6

Коэффициент наплавки $K_н$ некоторых марок электродов, г/А ч

Марка электрода	Коэффициент наплавки
ЦМ-7	10
ЦМ-7с	10,5-11,5
АНО-6	8,5-9
УОНИИ 13/45	9,0

Для определения фактического времени, называемого технической нормой времени, пользуются коэффициентом использования сварочного поста, ч:

$$T_n = \frac{t_0}{\chi}$$

где χ – коэффициент, характеризующий общие потери времени на сварку. При работе в цехах $\chi=0,6-0,8$; при монтаже $\chi=0,5-0,7$.

Скорость сварки, м/ч, определяется по формуле:

$$V = \frac{L}{t_0}$$

где L – длина шва, м.

4.3. Выбор источника питания.

При выборе источников питания необходимо, чтобы они отвечали следующим характеристикам:

1. Обеспечивали необходимые для данного технологического процесса силу тока и напряжение дуги.

2. Имели необходимый вид внешней характеристики (падающая, круто падающая).

3. Имели такие динамические параметры, которые обеспечивали бы нормальное возбуждение дуги и минимальный коэффициент разбрызгивания металла.

Краткие технические характеристики источников питания электрической дуги приведены в табл. 3.7

Таблица 3.7

Технические характеристики источников питания

Технические характеристики	Сварочные трансформаторы			Сварочные выпрямители		
	ТД-300	ТСП-2	ТД-500	ВД-301	ВКС-500-1	ВДУ-504
Первичное напряжение, В	220-380	220-380	220-380	220-380	220-380	220-380
Напряжение холостого хода, В	61-79	62	60-76	61-65	78	78
Пределы регулирования сварочного тока, А	60-385	90-300	85-700	45-315	80-500	100-500
КПД, %	87	76	87	72	74	74
Номинальная мощность, кВт	19,4	24	32	21	37	37
Внешняя характеристика	крутопадающая			падающая		

4.4 Определение расхода электроэнергии.

Расход электрической энергии, кВт ч, определяется:

$$P_{\text{э}} = \frac{U_p I_{\text{св}} t_0}{\varphi 1000} + M_x (T_n - t_0),$$

где U_p – рабочее напряжение, В; $I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока, А; t_0 – основное время горения дуги; T_n – фактическое время, ч; φ – коэффициент полезного

действия источников питания: для трансформаторов $\varphi=0,8\dots0,85$; для генераторов $\varphi=0,3\dots0,6$; M_x – мощность холостого хода, кВт: для трансформаторов $M_x=0,2\dots0,4$ кВт; для генераторов $M_x=2\dots3$ кВт.

аблица 3.8

Исходные данные для проектирования технологического процесса ручной электродуговой сварки

№ варианта	Марка стали	Толщина свариваемого металла, мм	Длина шва, мм	Примечание
1	Ст 1 сп	2	2000	Нижнее – односторон.
2	Ст 4 сп	3	1500	-«-
3	Ст 2 кп	4	1000	-«-
4	09Г2С	5	500	-«-
5	17ГС	6	1000	-«-
6	17ХГС	8	1500	-«-
7	45	9	2000	Нижнее – двухсторон.
8	50	10	2500	-«-
9	30Х	12	3000	-«-
10	40Х	14	2000	-«-
11	33ХС	10	2000	-«-
12	20ХГСА	12	1500	-«-
13	30ХМА	14	1000	-«-
14	30ХМ	16	500	-«-
15	40ХФА	4	1000	Вертикальн. – одностр.
16	38ХМ	6	1500	-«-
17	12МХ	8	2000	-«-
18	Ст 1 сп	10	500	Вертикальн. – двухстор.
19	Ст 2 кп	12	1000	-«-
20	Ст 4 сп	14	1500	-«-
21	Сталь 45	5	1200	Вертикальн. – одностор.
22	Сталь 50	6	1400	-«-

ЛИТЕРАТУРА

1. «Технология конструкционных материалов» / под ред. А.М. Дальского . М. Машиностроение. 1985 г. 448 с.
2. В.М. Никифоров «Технология металлов и конструкционные материалы» М. Высшая школа. 1980 г. 360 с.
3. А.П. Коликов «Новые процессы деформации металлов и сплавов» М. Высшая школа. 1986 г.351 с.
4. В.Л. Раскинд «Справочник молодого кузнеца-штамповщика» М. Высшая школа. 1985 г. 256 с.
5. Е.И. Семёнов и др. «Технология и оборудованиековки и объёмной штамповки» М. Машиностроение.1987 г. 311 с.
6. А.И. Акулов и др. «Технология и оборудование сварки плавлением». М., Машиностроение, 1997 г. 385 с.
7. Справочник сварщика (под редакцией д. т. н. , профессора В.В. Степанова). М., Машиностроение, 1982 г. 473 с.
8. Справочник по сварке (под редакцией Е.В. Соколова). М., Машиностроение, 1961 г.296 с.
9. Н.П. Сергеев. Справочник молодого сварщика. М., Высшая школа, 1980 г.
244 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Лабораторная работа №1 Расчет шихты для производства чугуновой отливки.....	4
Лабораторная работа №2 Расчет поковки.....	10
Лабораторная работа №3 Проектирование технологического процесса ручной электродуговой сварки.....	28
Литература.....	38

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Оборудование сварочного поста ручной электродуговой сварки

Методические указания к практическим занятиям

Направления:
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Оборудование сварочного поста ручной электродуговой сварки:
Методические указания к практическим занятиям / Сост. : А. В. Павлов, В. А. Хотинский.; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 21 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Современное сварочное производство характеризуется высоким уровнем развития. Для грамотной эксплуатации сварочного оборудования необходимо знание его устройств, особенностей и принципов действия.

Цель работы:

1. Изучение оборудования и инструмента для ручной электродуговой сварки.
2. Проверка оборудования на выявление основных неисправностей.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сварка является прогрессивным технологическим процессом, обеспечивающим получение сварных соединений высокого качества. Многие детали машин выполняются сварно-литными, в результате чего ускоряется процесс их изготовления, уменьшается расход материала., повышается качество деталей, снижается их себестоимость.

Ручная дуговая сварка плавящимся электродом - наиболее распространенный способ дуговой сварки. При данной сварке используется энергия электрического дугового разряда, возбуждаемого и поддерживаемого в пространстве между электродом и изделием. Энергию для поддержания дугового разряда доставляет источник питания. Все операции по зажиганию дуги, перемещению ее относительно изделия и подаче электрода выполняет сварщик, манипулируя электрододержателем. Сварка выполнима во всех пространственных положениях. Необходимое для сварки оборудование: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода и маска или щиток для защиты лица сварщика от излучения и искр.

1. Источники питания сварочной дуги

Сварочная дуга является потребителем электрической энергии, которую вырабатывают или преобразовывают сварочные установки.

Источники питания дуги должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Напряжение холостого хода U_o должно быть достаточным для легкого зажигания дуги, но не превосходить пределов, безопасных для сварщика.

Для ручной дуговой сварки металлическим электродом при постоянном токе $U_o = 45-65$ В, при переменном $U_o = 55-70$ В.

2. Источник тока должен ограничить величину тока короткого замыкания и быть нечувствительным к частым его воздействиям.

Ток при коротком замыкании не должен превышать значение рабочего тока более чем в 1,5 раза.

3. Источник тока должен обладать падающей вольтамперной характеристикой, для обеспечения устойчивого горения дуги. Напряжение источника тока должно уменьшаться с увеличением сварочного тока.

4. Источник питания сварочной дуги должен обеспечивать возможность легкой регулировки силы сварочного тока.

5. Источник тока должен обладать мощностью, обеспечивающей возможность выполнения различных видов сварочных работ.

Выпускаемые источники питания электрической сварочной дуги разделяются по следующим признакам:

по роду тока: источники постоянного (преобразователи, агрегаты и выпрямители) и переменного тока (сварочные трансформаторы);

количеству одновременно подключенных постов: источники для ручной сварки покрытыми электродами; для автоматической и

полуавтоматической сварки под флюсом; сварки в защитных газах; электрошлаковой сварки; источники тока специального назначения.

характеру привода: источники с электрическим и независимым приводом (привод от ДВС).

конструктивному оформлению: стационарные, передвижные и т. п.

Выбор источника питания дуги обусловлен:

видом сварки;

характером производства;

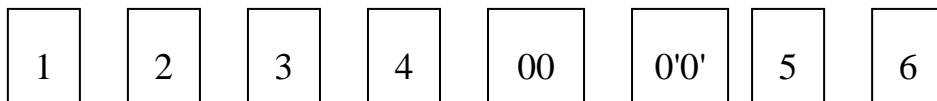
свойствами свариваемых металлов;

условиями работы источника;

применяемыми электродами.

1.1. Единая система обозначений

Для электросварочного оборудования принята система обозначений, которая состоит из буквенной и цифровой части.



Структура обозначений типов электросварочного оборудования

1 - вид изделия: А - агрегат, В - выпрямитель, И - источник питания, П - преобразователь, Т - трансформатор, У - установка;

2 - вид сварки: Д - дуговая;

3 - способ сварки: О - открытой дугой, Ф - под флюсом, Г - в защитном газе, отсутствие букв означает ручную дуговую сварку;

4 - поясняет исполнение изделия: Ж - с жесткой внешней характеристикой, П - с падающей внешней характеристикой, М или Э - с механическим или электрическим регулированием, И - для импульсной сварки, Б или Д - обозначают вид двигателя: бензиновый или дизельный; Буква М может означать многопостовый источник. Однопостовые дополнительные обозначения не имеют;

00 - значение номинального сварочного тока, округленного в десятках или сотнях ампер;

00' - регистрационный номер разработки (01,02,03 и т. д.);

5 - климатическое исполнение: У - умеренный, Х - холодный климат, Т - тропический;

6 - категория размещения: 1 - на открытом воздухе, 2 - места, защищенные от прямого воздействия солнца и осадков (палатка, кузов и т.д.), 3 - в закрытых помещениях, 4 - в отапливаемых и вентиляционных помещениях, 5 - в помещениях с повышенной влажностью.

Примеры:

ТД-301У2: трансформатор сварочный однопостовой для ручной дуговой сварки с номинальным током 315А, регистрационный номер разработки 01, климатическое исполнение У, категория размещения 2.

ВДМ-1001У3: выпрямитель многопостовой для ручной дуговой сварки с номинальным током 1000А, регистрационный номер разработки 01, климатическое исполнение У, категория размещения 3.

1.2. Источники питания переменного тока

Основным узлом современных источников переменного сварочного тока является специальный, однофазный сварочный трансформатор. Трансформатор разделяет сварочную цепь и силовую сеть, понижает напряжение сети до необходимого для сварки значения, обеспечивает формирование требуемых статических внешних характеристик и регулирование сварочного тока.

Трансформаторы с усиленными магнитными полями рассеяния делятся на две основные группы:

первую группу составляют трансформаторы с подвижными катушками обмоток типа ТД, ТДМ, ТДЭ.

вторую - трансформаторы с магнитными шунтами типа ТДФ, СТШ.

1.2.1. Сварочные аппараты типа ТД

Сварочный аппарат типа ТД выполнен с повышенной индуктивностью рассеивания, регулирование которого происходит за счет изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками (рис. 1).

Катушки первичной обмотки 2 неподвижны и закреплены внизу, а катушки вторичной обмотки 3 подвижны.

При вращении ходового винта вертикально перемещается катушка вторичной обмотки. При повороте рукоятки по часовой стрелке происходит сближение катушек обмоток трансформатора и сварочный ток увеличивается. При повороте рукоятки против часовой стрелки происходит удаление катушек друг от друга и сварочный ток уменьшается. Сверху на крышке кожуха расположена шкала сварочного тока, на которой стрелкой указателя указывается ориентировочная сила сварочного тока.

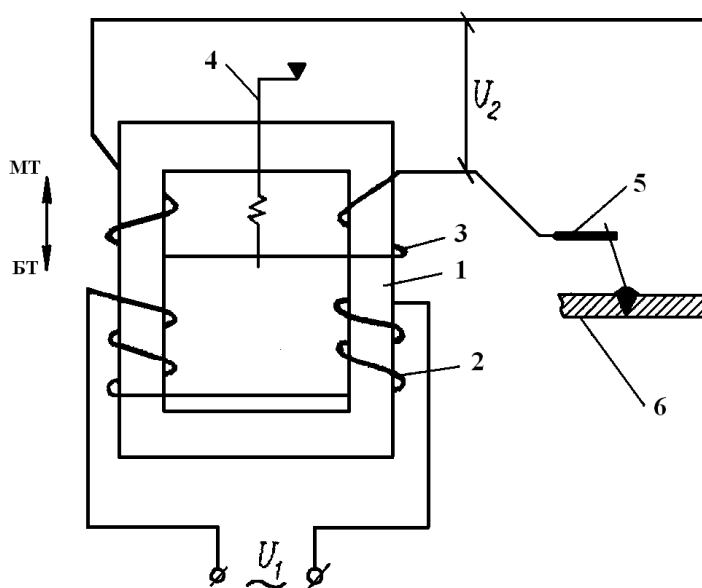


Рис. 1. Принципиальная схема аппарата типа ТД: 1 — трансформатор;
2 - первичная обмотка; 3 - вторичная обмотка; 4 -ходовой винт;
5 - электрододержатель;

1.2.2. Сварочные аппараты типа СТШ

Трансформаторы типа СТШ с развитым магнитным рассеянием и подвижными магнитными шунтами выполняются на магнитопроводах стержневого типа и имеют дисковые обмотки (рис. 2).

Обмотки трансформатора расположены симметрично на двух стержнях магнитопровода. В канале между первичными и вторичными обмотками расположен магнитный шунт.

Плавное регулирование тока в трансформаторе осуществляется перемещением магнитного шунта. При полностью вставленном в окно шунте магнитная проводимость и индуктивное сопротивление трансформатора максимальны, сварочный ток при этом минимален. При выдвигении шунта из окна магнитопровода магнитная проводимость уменьшается и сварочный ток растет.

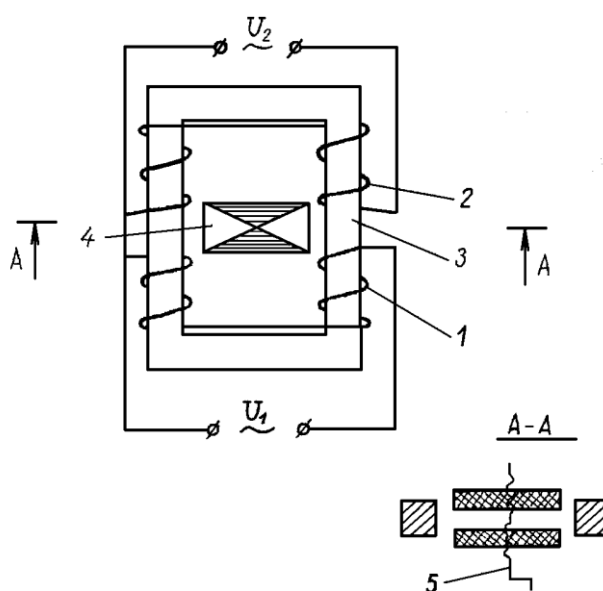


Рис. 2. Принципиальная схема аппарат типа СТШ: 1 - первичная обмотка; 2 - вторичная обмотка; 3 - магнитопровод; 4 - магнитный шунт; 5 - ходовой пинт

Трансформаторы с подвижными шунтами не уступают по массе и энергетическим показателям трансформаторам типа ТД.

Трансформаторы типа ТДФ выполнены с неподвижным магнитным шунтом. Регулирование сварочного тока осуществляется у них ступенчато, путем переключения витков вторичной обмотки.

1.2.3. Неисправности сварочных трансформаторов

Сварочные аппараты все типов очень просты и надежны в работе, обслуживание не вызывает затруднений. При работе на открытых площадках их следует защищать от атмосферных осадков, чтобы не портилась изоляция обмотки. Возможные неисправности сварочных аппаратов и способы их устранения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Неисправности сварочных аппаратов

Неисправность	Причина и способ устранения
Трансформатор сильно гудит	Ослаблено крепление сердечника, механизма перемещения катушек и болтов, стягивающих кожух - подтянуть крепление
Трансформатор сильно гудит: греется обмотка	Витковое замыкание в первичной обмотке - устранить замыкание. В случае необходимости перемотать обмотку
Чрезмерный нагрев сердечника и скрепляющих шпилек	Повреждение изоляции сердечника и шпилек - восстановить изоляцию сердечника шпилек
Трансформатор сильно нагревается	Трансформатор неправильно включен в сеть - проверить включение первичной обмотки. Сила сварочного тока выше допустимой - уменьшить силу сварочного тока, работать электродом меньшего диаметра
Сильный нагрев контактов в соединении	Нарушение электрического контакта - разоб-рать греющиеся соединения, очистить, плотно пригнать контактные поверхности и затянуть зажимы
Трансформатор не обеспечивает нижний или верхний предел регулирования	Подвижные вторичные катушки не доходят до упоров - устранить причину заедания в ходовом винте

1.3. Источники питания постоянного тока

Источники питания постоянного тока можно разделить на следующие группы: сварочные выпрямители, сварочные генераторы и агрегаты.

Сварочный преобразователь состоит из генератора постоянного тока и приводного асинхронного электродвигателя. Сварочный агрегат - из генератора и двигателя внутреннего сгорания.

В качестве генераторов применяются генераторы переменного тока с коллектором, позволяющим преобразовать переменное напряжение в постоянное, и синхронные трехфазные генераторы с выпрямителем переменного напряжения в бесконтактном выпрямительном устройстве.

1.3.1. Коллекторные генераторы с падающими внешними характеристиками

Генераторы независимого возбуждения. Сварочный генератор имеет две обмотки возбуждения (рис. 3). Независимая обмотка возбуждения 1, питающаяся от сети переменного тока через селеновый выпрямитель, создает магнитный поток Φ_n , индуктирующий в щетках генератора напряжение, необходимое для возбуждения дуги.

Падающую характеристику создает обмотка 2; поток которой Φ_p направлен встречно потоку обмотки 1. Регулирование сварочного тока производится переключателем 3 за счет переключения витков последовательной обмотки: БТ - диапазон больших токов, МТ - диапазон малых токов. Плавная регулировка сварочного тока в пределах каждого диапазона осуществляется с помощью реостата R .

По этой схеме выполнены преобразователи ПСО-500, ПД-501, ПСО-120, АСО-2000.

Генераторы с самовозбуждением. Генераторы имеют падающие внешние характеристики.

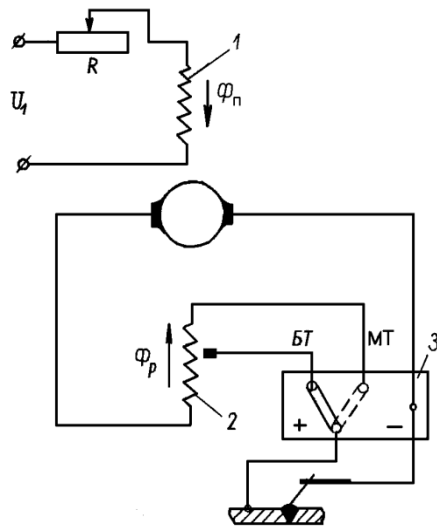


Рис. 3. Принципиальная схема генератора независимого возбуждения: 1 - независимая обмотка возбуждения; 2 - последовательная обмотка; 3 - переключатель

Параллельная обмотка возбуждения 1 (рис. 4) питается от щеток *a-c*, магнитный поток этой обмотки индуцирует на щетках *a-b* напряжение, необходимое для зажигания дуги. Последовательная обмотка 2 при горении дуги размагничивает генератор, создавая падающую характеристику. Напряжение на щетках *a-c* не меняется в процессе сварки.

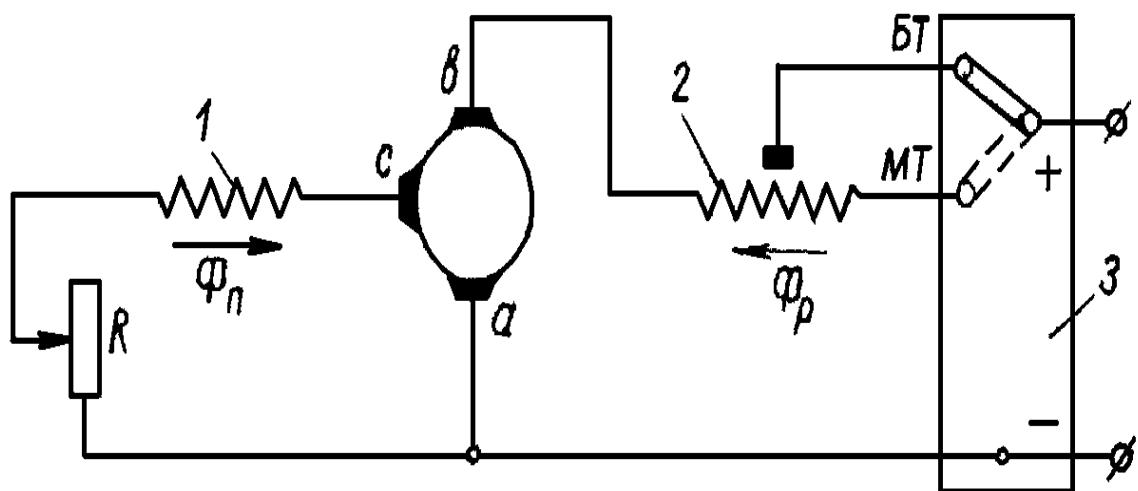


Рис. 4. Принципиальная схема генератора с самовозбуждением: 1 - параллельная обмотка возбуждения; 2 - последовательная обмотка; 3 - переключатель

Регулировка сварочного тока осуществляется с помощью переключателя *Z* и реостата *R*.

Генераторы, выполненные по этой схеме, входят в состав сварочных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания, предназначенных для ручной дуговой сварки и резки металлов в полевых условиях.

Основные преобразователи: ПСО-300, ПС-500, АСД-300, АСДП-500.

Универсальные генераторы независимого возбуждения с последовательной обмоткой. Принцип действия, электрическая схема, конструкция магнитной системы, расположение катушек обмоток возбуждения у данных генераторов те же, что и у генераторов типа ГСО-500 (генератор независимого возбуждения).

Эти генераторы универсальны, так как допускают работу с падающими и жесткими характеристиками.

При включении последовательной обмотки, когда создаваемый ею магнитный поток направлен встречно магнитному потоку обмотки независимого возбуждения, внешние характеристики генераторов падающие. При отключенной размагничивающей обмотке внешние характеристики жесткие.

Регулирование сварочного тока генераторов при работе ступенчато-плавное: путем изменения числа витков последовательной обмотки и с помощью резистора.

Основные марки преобразователей: ПГС-500-1, АСУМ-400.

1.3.2. Неисправности сварочных генераторов

При работе сварочных генераторов необходимо следить, чтобы нагрев подшипников и обмоток не превышал допустимой нормы. Перед запуском необходимо проверить исправность заземления корпусов генератора и двигателя, а также состояние всех контактов, щеток и коллектора.

Возможные неисправности сварочных генераторов и способы их устранения приведены в табл. 2.

1.3.3. Сварочные выпрямители

Сварочный выпрямитель представляет собой аппарат, преобразующий переменный ток в постоянный при помощи полупроводниковых вентилей.

Таблица 2

Неисправности сварочных генераторов

Неисправность	Причина и способ устранения
Генератор не дает напряжения	Загрязнен коллектор - прочистить коллектор. Разомкнута цепь возбуждения - проверить плотность прилегания щетки реостата к контактам.
Греется коллектор	Сильное загрязнение и искрение – прочистить.
Генератор сильно нагревается	Сила сварочного тока выше допустимой. Короткое замыкание между витками якоря - устранить. Замыкание между коллекторными пластинами - отправить генератор на ремонт.
Искрение щеток	Перегрузка генератора - снять нагрузку. Загрязнение коллектора - прочистить. Выступает слюда между пластинами - выбрать лишнюю слюду. Щетки расположены не по нейтрали - отрегулировать.
Повышение температуры подшипников	Очень густое масло – заменить. Мало масла – залить. Грязное масло – заменить. Загрязнение смазочных колец и подшипников, перекося оси агрегата - осмотреть подшипники и в случае необходимости промыть.

Выпрямитель состоит из двух основных частей (рис. 5): силового трехфазного понижающего трансформатора T_p и выпрямительного блока В, собранного из селеновых вентилей по трехфазной мостовой схеме.

Регулирование сварочного тока на выходе выпрямительного блока происходит путем изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками трансформатора. Обмотки трансформатора соединяют звездой (для малых токов) или треугольником (для больших токов), что дает два диапазона регулирования.

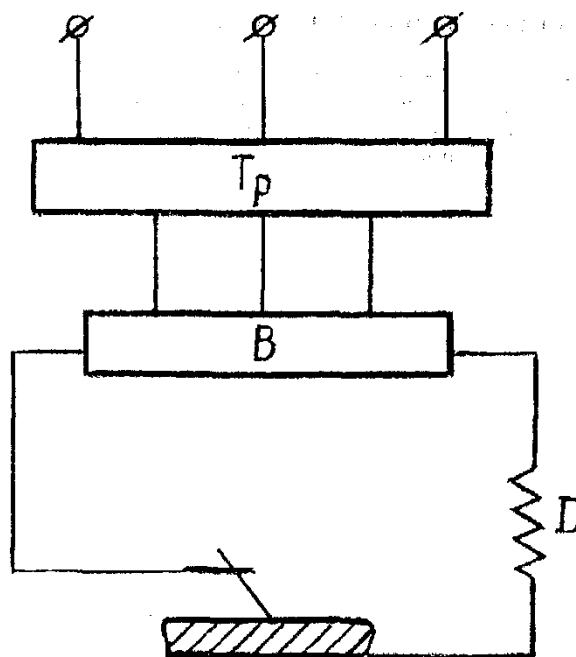


Рис. 5. Принципиальная схема сварочного выпрямителя: Тр - понижающий трансформатор; В - выпрямительный блок; Д - дроссель

Отечественная промышленность выпускает следующие типы выпрямителей:

выпрямители с круто падающими и внешними характеристиками для ручной дуговой сварки, резки и плавки: ВД-306, ВД-502, ВД-201, ВСС-300-3, ВКС-300;

выпрямители с жесткими внешними характеристиками для дуговой сварки в защитных газах: ВДГ-302, ВДГ-601, ВСЖ-303;

универсальные выпрямители, имеющие жесткие и падающие внешние характеристики: ВДУ-504, ВДУ-305, ВДУ-1001, ВДУ-1201.

Кроме однопостовых сварочных выпрямителей промышленность выпускает многопостовые выпрямители, предназначенные для одновременного питания выпрямленным током, через балластные реостаты, нескольких сварочных постов: ВДМ-1601, ВДМ-1001, ВДГМ-1602, ВДУМ-4x401, ВДУМ-2x301.

1.3.4. Неисправности сварочных выпрямителей

Обычные селеновые выпрямители не предназначены для эксплуатации на открытом воздухе, так как селеновые вентили обладают малой надежностью при работе в условиях сырости. Для работы в любых условиях служат выпрямители с кремниевыми вентилями.

Возможные неисправности и способы их устранения приведены в табл.3.

Таблица 3

Неисправности сварочных выпрямителей

Неисправность	Причина и способ устранения
Выпрямитель не дает напряжения	Вышел из строя один из вентиляй выпрямительного блока - проверить вентили с помощью тестера и заменить неисправный вентиль. Неисправно реле вентилятора – заменить. Не работает вентилятор - проверить работу вентилятора.
Двигатель регулятора не работает, а гудит	Сгорел один из предохранителей в цепи двигателя - заменить. Обрыв в цепи одной из фаз двигателя - проверить и включить двигатель в соответствии со схемой включения.
Сильное нагревание обмотки трансформатора	Витковое замыкание в обмотках - ликвидировать витковое замыкание.
Повышенное гудение трансформатора, большая сила тока холостого хода	Витковое замыкание в первичной обмотке трансформатора - ликвидировать замыкание.
Чрезмерный нагрев сердечника	Нарушение изоляции листов и шпилек - восстановить изоляцию.

1.4. Техническое обслуживание источников питания

Правильное содержание сварочного оборудования является основой для обеспечения производительной, безаварийной и безопасной работы. Источники питания должны проходить ежедневные осмотры перед включением в работу, профилактические осмотры, текущие и капитальные ремонты согласно утвержденным графикам. Все работы, проводимые с источниками питания, должны фиксироваться в журнале технического состояния.

При ежедневном осмотре следует обращать внимание на надежность заземления, прочность крепления проводов, сопротивление изоляции, вращение вентилятора (для выпрямителей).

При профилактическом осмотре агрегат очищают от пыли и грязи, проверяют состояние электрических контактов и паек.

Не следует ставить агрегат вблизи источников нагрева (печи, горна, паропровода и т. д.), так как перегрев вредно отражается на изоляции обмоток. При работе вне помещения необходимо защищать агрегаты от осадков, так как при отсыревшей изоляции возможен ее пробой и замыкание.

Плановые и послеаварийные ремонты должны осуществляться специальными ремонтными службами, а не сварщиками.

Послеремонтные испытания проводятся наладчиками сварочного оборудования или в отдельных случаях сварщиками под наблюдением представителей ремонтных служб или дежурного электрика.

Примерные сроки осмотров и ремонтов источников питания приведены в табл. 4.

Таблица 4

Периодичность осмотров и ремонтов источников питания

Вид источника питания	Профилактический осмотр	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
Сварочные трансформаторы, выпрямители, преобразователи	Один раз в месяц	Один раз в 6 месяцев	Один раз в 6 лет
Источники питания переменного тока для одно- и трехфазной сварки	Один раз в 2 недели	Один раз в 4 месяца	Один раз в 4 года
Специализированные источники	Один раз в неделю	Один раз в 3 месяца	Один раз в 3 года

2. Сварочные провода

Сварочные провода служат для подвода тока от сварочной машины или источника питания к электрододержателю и свариваемому изделию. Электрододержатели снабжаются гибким изолированным проводом ПРГДО, ПРГД или АПРГДО, сплетенными из большого числа медных, отожженных и пролужженных проволочек диаметром 0,18-0,2 мм, покрытых оплеткой из хлопчатобумажной ткани и слоем вулканизированной резины.

Сечение сварочного кабеля выбирают в зависимости от силы сварочного тока из расчета 5-7 А/мм, что соответствует нормам для электротехнических установок (табл. 5).

Таблица 5

Площадь сечения сварочного провода в зависимости от силы тока

Сила тока, А	Сечение провода, мм ²	
	одинарного	двойного
200	25	2x10
300	50	2x16
450	70	2x25
600	95	2x35

Применение провода длиной более 30 м не рекомендуется в связи со значительным падением напряжения в сварочной цепи.

При продолжительной непрерывной работе (сварке) кабель перегревается. Сечение кабеля выбирают с учетом его возможного нагрева в работе до температуры 80 °С. Для предохранения кабеля от перегрева следует применять кабель большего сечения.

3. Соединительные элементы

Сварочные провода должны обеспечивать надежный подвод сварочного тока с минимальными потерями электроэнергии, а также электробезопасность сварщика.

Протяженность сварочных проводов может достигать несколько десятков метров, в этом случае требуется соединить несколько сварочных кабелей между собой.

Обычное соединение скруткой приводит к выделению теплоты, нагреву жил, нарушению изоляции, износу кабеля, замыканию, возможности поражения электрическим током.

Для соединения проводов промышленностью выпускаются специальные разъемные соединители, которые обеспечивают надежный

контакт, требуемую механическую прочность, электрическую изоляцию и быстрое соединение и разъединение элементов сварочной цепи.

Марки соединителей: МРК-500, МС-2, МСБ-2, ССП-2, концевой соединитель МК-21.

4. Электрододержатели

Электрододержатели применяют для закрепления электрода и подвода к нему электрического тока по ГОСТ 14651-78*Е.

Токоведущие части электрододержателя должны быть надежно изолированы от случайного соприкосновения со свариваемым изделием или руками сварщика. Сопротивление изоляции не менее 5 МОм. Изоляция рукоятки должна выдерживать без пробоя в течение 1 мин испытательное напряжение 1500 В при частоте 50 Гц. Превышение температуры наружной поверхности рукоятки при номинальном режиме работы не более 55 °С. Поперечное сечение рукоятки в диаметре не более 40 мм. Электрододержатель должен обеспечивать надежный электрический контакт с электродом, возможность легкой и удобной смены электрода и захват электрода не менее чем в двух положениях: перпендикулярно и под углом не менее 115° к оси электрододержателя.

Электрододержатель должен выдерживать без ремонта 8000-10000 зажимов электрода.

В зависимости от силы сварочного тока применяются различные типы электрододержателей:

пассажные: ЭД-2002У1 (200 А), ЭД-3103У1 (315 А), ЭП-3 (500 А);

с зажимом винтового типа: ЭД-2001У1 (200 А), ЭД-3001У1 (315 А), ЭВ-2 (500 А), ЭВ-4 (125 А);

с зажимом рычажного типа: ЭР-1 (300 А), ЭР-2 (500 А), ЭУ-300 (315 А).

Используются также электрододержатели с зажимом защелочного типа (ЭДС), вилочные, пружинные, пластинчатые, клиновые и другие (рис. 6).

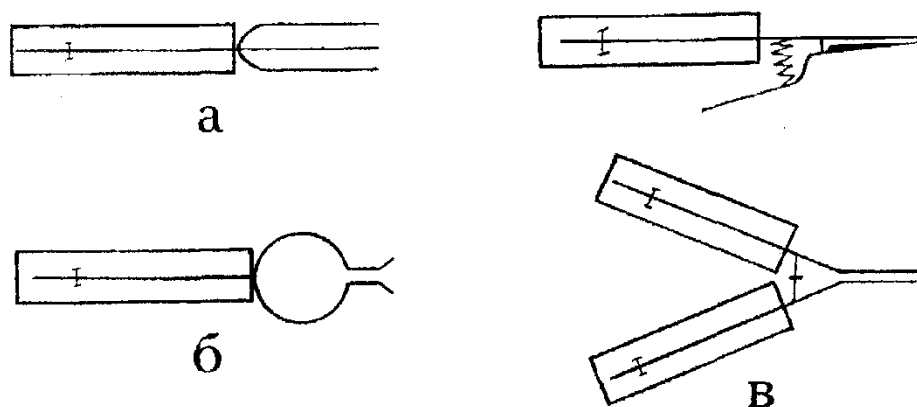


Рис. 6. Типы электрододержателей (схемы): а - вилочный;
 б - с пружинным кольцом; в - пассатижные (щипцовые)

При выборе электрододержателя необходимо учитывать: сварочный ток, диаметр электрода, характер сварочных работ, конструктивные особенности свариваемых конструкций, пространственное положение шва, требования к качеству сварного соединения.

Электрододержатель перегревается при продолжительной работе. Перегрева можно избежать подключением отрезка кабеля ко второму электрододержателю для поочередного их использования.

5. Защитные щитки и маски

Щитки и маски служат для защиты глаз и лица электросварщика от прямого излучения электрической дуги, брызг расплавленного металла и искр. Они изготавливаются из токонепроводящего, нетоксичного и невоспламеняющегося материала, фибры или поликарбонатной смолы марки ПКК (ГОСТ 12.5.035-78*).

Внутренняя сторона должна иметь матовую гладкую поверхность черного цвета. Щиток имеет ручку длиной не менее 120 мм, а маска снабжена устройством, удерживающим ее на наголовнике не менее чем в двух положениях.

Промышленностью выпускаются следующие основные типы щитков:
 общего назначения: наголовный НН-С-702У1, ручной РН-С-702У1;
 с увеличенным обзором: наголовный ННО-702У1, ручной РНО-702У1;

с подвижной рамкой (для сварки в труднодоступных местах): наголовный ННП-С 701У1.

В защитный щиток вставляются светофильтры, которые имеют различную прозрачность. В соответствии с ГОСТ 12.4.080-79 выпускаются стеклянные светофильтры следующих марок:

Светофильтры	Э1	Э2	Э3	Э4
Сварочный ток, А	30-75	75-200	200-400	400

Для предохранения светофильтра от брызг расплавленного металла его снаружи покрывают простым бесцветным стеклом.

Нельзя пользоваться случайными цветными стеклами, так как они не могут надежно защищать глаза от невидимых лучей сварочной дуги, вызывающих хроническое заболевание глаз.

6. Дополнительный инструмент сварщика

Для очистки свариваемых кромок от ржавчины, окалины и других загрязнений, а также сварных швов от шлака применяют проволочные щетки, шлакоотделители, зубило с рукояткой, молоток.

Для хранения электродов при сварке применяют брезентовые сумки длиной 300 мм, подвешиваемые к поясу сварщика, либо стаканы, изготовленные из отрезка трубы диаметром 50-75 мм, длиной 300 мм, с приваренным донышком-подставкой.

В зависимости от типа производства и характера труда для размещения и хранения инструмента на рабочем месте могут быть предусмотрены тумбочки, шкафы, столы с выдвигаемыми ящиками и другая оргтехоснастка.

На монтажных площадках для хранения и доставки инструмента к месту работы применяют переносные малогабаритные металлические ящики. В набор инструмента ЭНИ входят: электрододержатель, соединитель

кабелей, концевой соединитель, сварочный кабель - длиной 3 м, щетка, зубило, плоскогубцы комбинированные (ГОСТ 5547-93), молоток (ГОСТ 2310-77*Е), ключ разводной (ГОСТ 7275-75*Е), отвертка с диэлектрической рукояткой, защитные светофильтры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как подразделяются источники питания сварочной дуги?
2. Принцип действия и назначение сварочных трансформаторов.
3. Принцип действия и назначение сварочных генераторов и выпрямителей.
4. Основные неисправности источников питания сварочной дуги и причины их возникновения.
5. Методика обнаружения неисправностей и способы их устранения.
6. Периодичность технического обслуживания источников питания.
7. Дополнительный инструмент и принадлежности сварщика, их назначение и требования к ним.

Оборудование и материалы:

Сварочный трансформатор, генератор и выпрямитель, паспорта к ним, вольтметры и амперметры, электроды, молоток, зубило, металлическая щетка, соединители проводов, защитный щиток или маска, монтажные провода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов А.И., Нельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1977. - 432 с.;
2. Бондарь В.Х., Шкуратовский Г.Д. Справочник сварщика-строителя. - Киев: 1982. - 240 с.;

3. Бражкова О.Н. Источники питания сварочной дуги. - М.: Высш. шк., 1988. - 180 с.;
4. Закс М.И. Сварочные выпрямители. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 96 с.;
5. Закс М.И., Каганскш Б.Л., Печенин А.А. Трансформаторы для электродуговой сварки. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 136 с.;
6. Равлусевич Р.А., Глебов А.З., Кольдерцев И.С. Инструмент и средства защиты электросварщика. – М.: Машиностроение, 1984. - 96 с.;
7. Сварочное оборудование: Справочник-каталог. -Киев: 1981. - 463 с.;
8. Справочник сварщика./Под ред. В.В Степанова. - М.: Машиностроение, 1982. - 560 с.

Порядок выполнения работы

Проводится инструктаж по технике безопасности на рабочем месте. Затем студенты приступают к выполнению работы.

Задание 1. Изучение конструкций источников питания и инструмента, применяемого при ручной электродуговой сварке.

1. С помощью методических указаний, справочной литературы, наглядных пособий и плакатов ознакомится с устройством, принципом действия, и основными техническими характеристиками сварочных трансформаторов, генераторов, выпрямителей.

2. Ознакомиться с основными неисправностями источников питания сварочной дуги и методами их исправления.

3. Изучить инструмент для ручной электродуговой сварки.

4. Составить отчет.

Задание 2. Выявление неисправностей применяемого оборудования.

1. Произвести внешний осмотр.

2. Установить неисправность, указать пути ее исправления.

Задание 3. Выявление неисправностей сварочного трансформатора, генератора, выпрямителя.

1. Произвести внешний осмотр.
2. Не включая в сеть, с помощью приборов убедиться в отсутствии короткого замыкания и пробоя на корпус токоведущих элементов.
3. Включить оборудование в сеть и проанализировать его работу.
4. Установить неисправность, выяснить причину ее возникновения.
5. Указать пути исправления неисправности.

Содержание отчета

1. Привести краткое описание конструкции источников питания сварочной дуги и инструмента, применяемого при ручной дуговой сварке.
2. Указать характер неисправностей и причину их возникновения.
3. Указать методику обнаружения неисправности и способ устранения.

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания к работе	3
Краткие теоретические сведения	3
1. Источники питания сварочной дуги	3
2. Сварочные провода	15
3. Соединительные элементы	16
4. Электрододержатели	16
5. Защитные щитки и маски	17
6. Дополнительный инструмент сварщика	18
Контрольные вопросы	19
Список литературы	19
Порядок выполнения работы	20
Содержание отчета	20

Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Проектирование модельного комплекта

Методические указания по выполнению лабораторной
работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Проектирование модельного комплекта: Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А. В. Павлов, А. Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 19 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКТА

Цель работы: Ознакомить студентов с методикой расчета модели, стержня, элементов литниковой системы, устройством формы и литниковой системы.

Задание: Произвести расчет по заданной детали: размеров отливки, модели и стержня, сечения элементов литниковой системы; вычертить эскизы отливки, модели стержня в формы в сборе.

Порядок выполнения

1. Начертить эскиз детали согласно заданному преподавателем варианту (варианта даны в конце этой работы), причем можно сразу сделать напуски, что позволит исключить часть размеров, ненужных в отливке.
2. Вычертить эскиз отливки.
3. Вычертить эскиз модели.
4. Вычертить эскиз стержня.
5. Рассчитать сечения элементов литниковой системы.
6. Перечислить последовательно все операции формовки в песчано-глинистых смесях в парных опоках.
7. Вычертить форму в сборе с указанием элементов литниковой системы (без указания размеров).

1. Краткие сведения из теории

Сущность литейного производства заключается в получении отливок, т.е. изделий и заготовок деталей машин методом заливки расплавленного металла в литейные формы.

В литейном производстве широко применяют специальные методы литья: в металлические формы (кокили), центробежное литье, литье под давлением, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы и др. Такими способами можно подучить отливки высокой точности, с минимальными допусками по размерам, с высокой чистотой поверхности. Однако каждый специальный способ литья имеет свои специфические особенности, ограничивающие область его применения.

В настоящее время около 80% от всей массы чугунных к стальным отливкам получают в песчано-глинистых формах. Для изготовления отливок данным способом применяют различные приспособления, которые называют литейной оснасткой. Конфигурация отливки получается путем формовки в песчано-глинистой смеси ее модели. Модель - это элемент, имеющий конфигурацию внешней поверхности отливки. В зависимости от условий производства (массовое, серийное или индивидуальное) модели изготавливают из чугуна, алюминия, пластмассы или дерева. Внутренние отверстия и полости получают с помощью стержней, изготавливаемых в

стержневых ящиках. Стержень изготавливают из стержневой смеси, к которой предъявляют более высокие требования, чем к формовочным.

Количество стержней должно быть наименьшим, так как их изготовление увеличивает стоимость модельного комплекта. Для установки стержней в форме на модели предусматриваются стержневые знаки, которые создают углубления в форме.

Если деталь сложная и при формовке ее модель не может быть размещена в одной опоке, то модель выполняется разъемной по плоскости. Поверхность разъема должна обеспечивать свободное извлечение модели из формы. При изготовлении модели необходимо учитывать припуски на механическую обработку и литейную усадку металла. Усадка - явление уменьшения объема и размеров отливки при охлаждении металла в форме.

Для заполнения формы жидким металлом применяется литниковая система. Литниковая система - совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав, жидкий металл, поступает из ковша в полость формы. К основным элементам литниковой системы относятся литниковая чаша, шлакоуловитель, питатели.

Для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы, ее транспортировке и заливке жидким металлом применяют литейные опоки. Опоки представляют собой металлические рамы различной формы, которые изготавливают из серого чугуна, стали, алюминиевых сплавов. Они могут быть цельнолитыми, сварными или сборными из отдельных частей.

Рассмотрим изготовление формы из песчано-глинистой смеси на примере бронзовой втулки, эскиз которой приведен на рис.1.

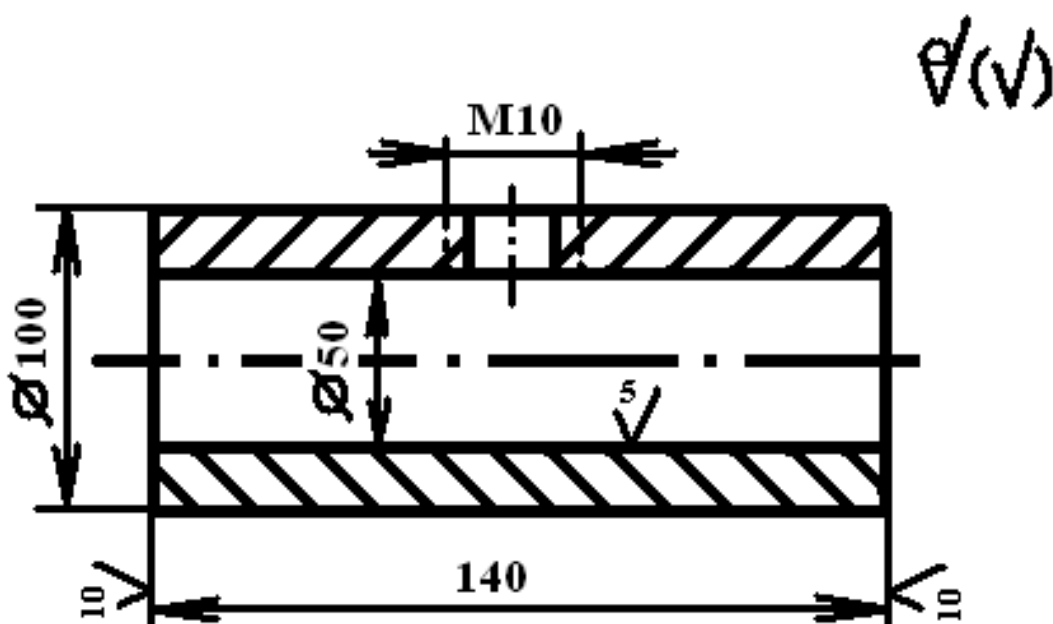


Рис.1 Эскиз детали. Материал: БрА10Ж3Мц1,5. Единичное производство

2. Построение эскиза отливки

Отливка от детали отличается в первую очередь наличием припусков и напусков на механическую обработку, мелкие отверстия, пазы и углубления в отливках не выполняются, если их размеры менее 20мм. Исходя из этого, необходимо по чертежу заданной детали выполнить эскиз отливки, на которой исключены пазы, углубления и отверстия, выполняемые механической обработкой отливки. При этом все размеры изменяются на величину припусков на механическую обработку (табл.1).

Таблица 1

Припуски на механическую обработку отливок, мм

Наибольший размер отливки (длина или высота)	Отливки группы I (массовое производство)		Отливки группы II (серийное производство)		Отливки группы III (единичное производство)	
	простые	сложные	простые	сложные	простые	сложные
Отливки из серого чугуна						
До 100	2	2	3	3	3	4
101-1200	2-4	3-6	3-6	3-8	3-8	4-10
1204-2600	5-6	7-8	7-8	9-10	9-10	11-12
2601-5400	-	-	9-10	11-12	11-14	14-16
Св. 5401	-	-	12	14	16	18
Отливки из стали						
До 200	3	4	4	6	6	7
201-1200	3-6	4-9	4-9	7-12	7-12	9-15
1201-2600	7-9	10-12	10-12	13-15	13-15	16-18
Св. 5401	-	-	18	24	24	30
Отливки из цветных сплавов						
До 200	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0
201-2600	2,5	2-6	2-6	4-8	4-8	5-10
2601-5400	-	-	7-8	9-10	9-10	11-13
Св. 5401	-	-	9	12	12	16

Примечание: 1. Отверстия $\varnothing 20$ мм и меньше в отливках в землю не изготавливаются.

2. Для верхней обрабатываемой поверхности отливки (по положению ее при заливке) рекомендуется припуск увеличить.

Пользуясь таблицей 1, выбираем припуск на механическую обработку для тех поверхностей, которые не остаются в литом состоянии (на обрабатываемых поверхностях детали отмечена шероховатость *). Для бронзовой втулки единичного производства и $l = 140$ мм припуск составляет 4мм. Кроме припусков в отливках, делают напуски, упрощая конфигурацию

* Шероховатость обозначена по ГОСТ 2789-73. Даны значения среднего арифметического отклонения профиля R_d , которое $\sqrt[10]{}$ означает, например,



, где 10 - значение R_d . Поверхности, не обрабатываемые на данной детали, обозначаются \sqrt{Ra} . Когда часть поверхностей обрабатывается, а часть нет, то в верхнем правом углу ставятся значки

(\sqrt{Ra}), а на чертеже указывается шероховатость обрабатываемых поверхностей.

детали. В нашем случае напуском является устранение на отливке отверстия М10 (см. примечание к табл.1). Эскиз отливки втулки представлен на рис.2.

Припуск на $\varnothing 100$ не назначаем, т.к. эта поверхность не подвергается механической обработке. Отливку в форме располагаем горизонтально и форму делаем разъемной: плоскость разъема обозначаем буквами МФ, а также указываем расположение верхней и нижней опоки.

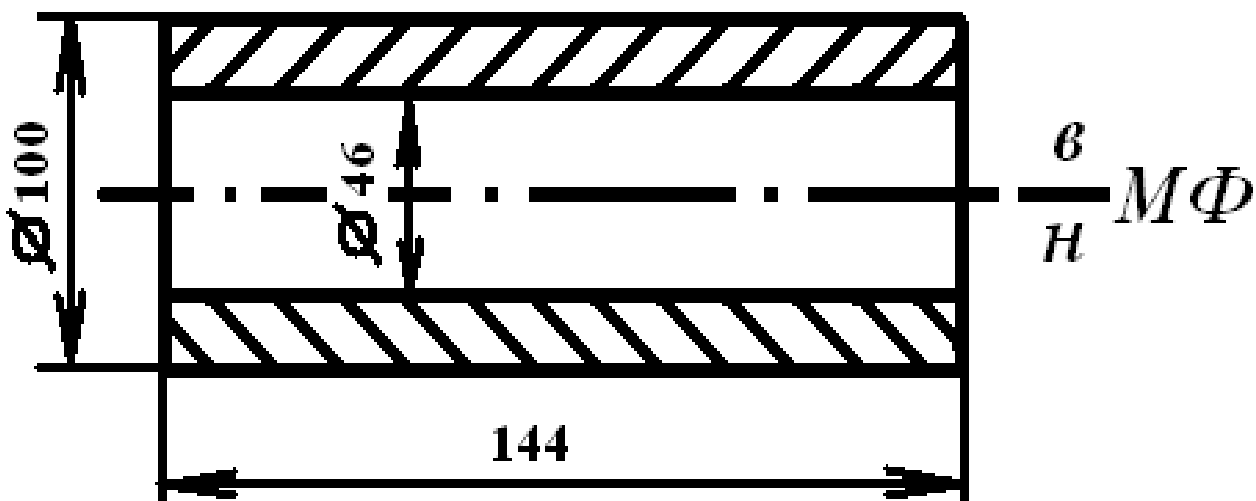


Рис. 2. Эскиз отливки

3. Построение эскиза модели

Для получения размеров модели необходимо размеры отливки увеличить на величину линейной усадки сплава (табл. 2). При вычерчивании эскиза модели надо помнить о выполнении уклонов, которые обеспечивают выемку модели из формы. Уклоны выполняются перпендикулярно плоскости разъема и для наружных и внутренних поверхностей модели принимаются от 1° до 3° .

Таблица 2

Линейная усадка литейных сплавов

№ п/п	Сплав	Температура плавления, °С	Усадка линейная, %
1.	Серый чугун	1150-1200	0,8-1,2
2.	Высокопрочный чугун	1350-1450	0,8-1,2
3.	Сталь углеродистая	1400-1525	1,6-2,2
4.	Алюминиевые сплавы	570-656	0,8-1,5
5.	Бронзы	1010-1080	1,2-2,5
6.	Латуни	950-1070	1,3-1,7

Для бронз усадка (по таблице 2) 1,2-2,5%, берем среднее значение 1,8%.
Подсчитываем наружные размеры:

$$D = 100 + \frac{100 \cdot 1,8}{100} = 101,8 \text{ мм}$$

$$l_o = 144 + \frac{144 \cdot 1,8}{100} = 146,6 \text{ мм}$$

Для крепления стержня в форме у модели должны быть стержневые знаки, которые окрашиваются в черный цвет. Диаметр знака равен диаметру отверстия в отливке, а длина знаков выбирается по табл. 3 и 4.

Таблица 3

Длина знаков горизонтальных стержней, мм

Длина стержня	Длина знака при диаметре или ширине входного отверстия									
	до 50	51-100	101-160	161-250	251-400	401-650	651-1000	1001-1600	1601-2500	Св. 2500
До 50	20	25	30	35	-	-	-	-	-	-
51-100	30	35	40	45	50	-	-	-	-	-
101-200	35	40	50	60	90	-	-	-	-	-
201-400	40	50	70	110	180	-	-	-	-	-
401-700	-	80	125	195	-	-	-	-	-	-
701-1200	-	-	135	220	-	-	-	-	-	-

Таблица 4

Длина знаков вертикальных стержней, мм

Длина стержня	Длина знака при диаметре или ширине входного отверстия									
	до 50	51-100	101-160	161-250	251-400	401-650	651-1000	1001-1600	1601-2500	Св. 2500
До 50	30	30	30	30	30	-	-	-	-	-
51-100	30	30	40	40	50	50	-	-	-	-
101-200	40	50	50	60	60	60	80	-	-	-
201-400	50	60	60	70	70	70	90	100	110	-
401-700	60	70	70	80	80	50	100	100	120	140
701-1200	-	90	100	100	110	110	130	140	150	170
1201-2000	-	-	130	130	140	140	150	160	170	190
2001-3000	-	-	-	160	170	170	180	190	200	220
Св. 3000	-	-	-	-	200	200	210	220	230	250

Для нашего случая длина знака составляет 35мм.

Эскиз модели представлен на рис. 3.

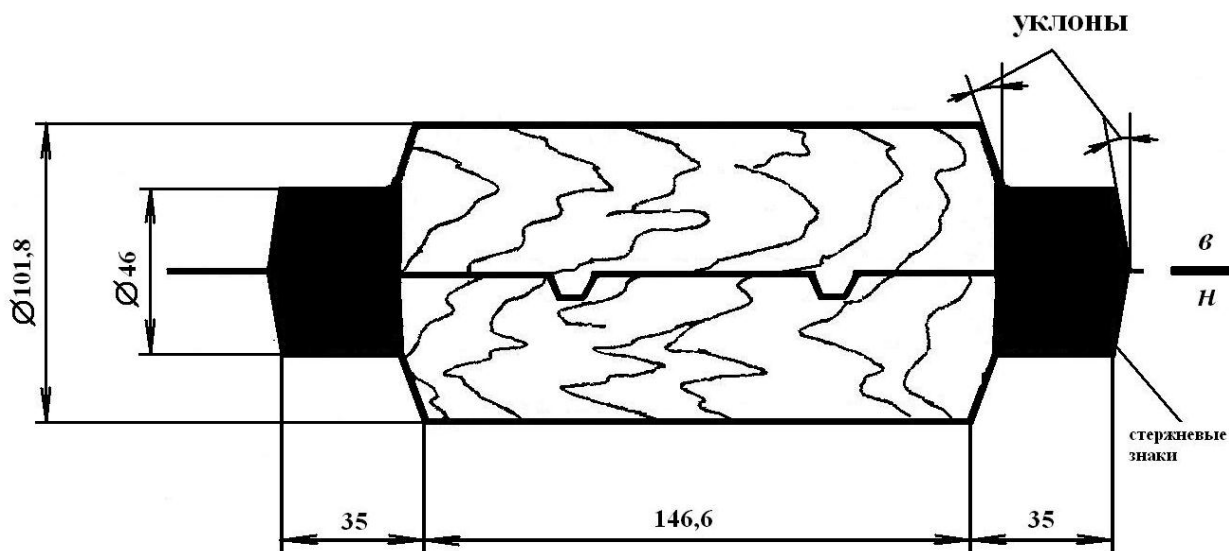


Рис. 3. Эскиз модели (из дерева)

4. Построение эскиза стержня

Диаметр стержня равен диаметру отверстия отливки, длина стержня – длина отливки плюс длина знаков (см. рис. 4).

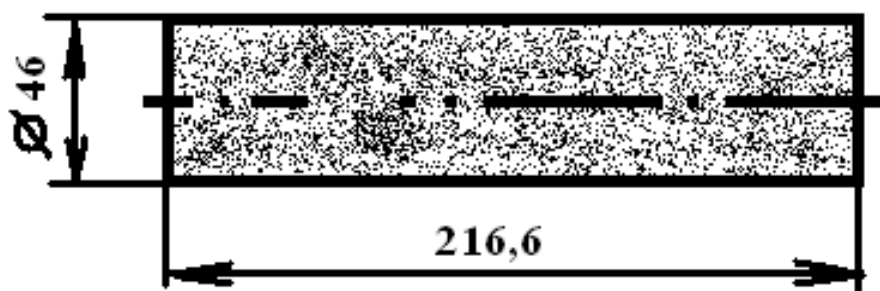


Рис. 4. Эскиз стержня

5. Расчет сечений элементов литниковой системы

Литниковые системы служат для заполнения форм жидким металлом. Конструкция литниковой системы должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать спокойное заполнение полости формы жидким металлом;
- не вызывать местных разрушений формы из-за чрезмерной скорости заливки и неправильного направления потока жидкого металла;
- не вызывать сильного разогрева пассивных узлов отливки, что приводит к возникновению брака по усадочным раковинам, трещинам и короблению;
- способствовать отделению от жидкого металла шлаков, формовочной смеси и других загрязнений;

- не препятствовать усадке при ее затвердевании;
- обеспечивать минимальный расход металла на литниковую систему.

Определение сечений элементов литниковой системы производится с учетом веса и габарита отливки, толщины ее стенок, состава металла, материала формы, конструкции литниковой системы и удельной скорости заливки.

Удельной скоростью заливки называется количество металла в килограммах, протекающее через сечение, равное 1 см^2 в 1 сек.

Удельная скорость заливки для различных сплавов (K_3) равна ($\text{кг}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$).

Чугун	1,0 - 2,5	Латунь	0,75 - 1,5
Сталь	0,8 - 1,5	Алюминиевые сплавы	1,50 - 3,0
Бронза	1,0 - 2,0		

Для примера удельную скорость заливки принимаем равную $K_3 = 1,5 \text{ кг}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$.

Продолжительность заливки (Z) для отливок приближенно равна:

до 5 кг - 3-6 с.

до 10 кг - 6-5 с.

до 25 кг - 8-12 с.

до 50 кг - 11-15 с.

Определение веса отливки

$$G_{om} = V_{om} \cdot \gamma,$$

где V_{om} - объем отливки в см^3 , вычисляется по номинальным размерам;

γ - удельный вес металла отливки, $\text{г}/\text{см}^3$.

Удельный вес металла ($\text{г}/\text{см}^3$):

Сталь - 7,85

Чугун серый - 7,4

Чугун высокопрочный - 7,2

Бронза - 8,8

Латунь - 8,6

Алюминиевые сплавы - 2,6-2,75

Объем отливки определяется по формуле :

$$V_{om} = \frac{\pi(D_{om}^2 - d_{om}^2)}{4} \cdot H_{om},$$

где $D_{от}$ - диаметр отливки, в см;

$d_{от}$ - диаметр отверстия отливки, в см;

$H_{от}$ - высота отливки, см.

Для нашей отливки:

$$V_{om} = \frac{3,14(10^2 - 4,6^2)}{4} \cdot 14,4 = \frac{3,14(100 - 21)}{4} \cdot 14,4 = 889 \text{ см}^3$$

Вес отливки равен:

$$G_{om} = V_{om} \cdot \gamma = 889 \cdot 8,8 = 7823,2 \text{ г} = 7,823 \text{ кг}$$

Сечение питателей рассчитывается по следующей формуле:

$$F_{num} = \frac{G_{от}}{K_3 \cdot Z},$$

где $G_{от}$ – вес отливки, кг;

K_3 – удельная скорость заливки, кг/см²·сек;

Z – продолжительность заливки, сек.

Для отливок весом до 1 т принимаются соотношения общей площади поперечного сечения питателей $F_{пит}$, шлакоуловителей $F_{шл}$ и стояка $F_{ст}$.

$F_{пит} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,1 : 1,2$ – для чугуна, стали, сплавов на основе меди.

$F_{пит} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 2 : 4$ – для алюминиевых сплавов.

Для примера:

$$F_{num} = \frac{G_{от}}{K_3 \cdot Z} = \frac{7,823}{1,5 \cdot 8} = 0,652 \text{ см}^2$$

$$F_{шл} = F_{num} \cdot 1,1 = 0,652 \cdot 1,1 = 0,7172 = 0,72 \text{ см}^2$$

$$F_{ст} = F_{num} \cdot 1,2 = 0,652 \cdot 1,2 = 0,7824 = 0,78 \text{ см}^2$$

6. Изготовление формы (рис.5)

На подмодельную плиту 1 кладут нижнюю половину модели 2 (рис.5,а), ставят нижнюю опоку 4, засыпают формовочной смесью 6, трамбуют, переворачивают. На полумодель по винам ставят верхнюю половину модели 3 (рис.5,б), затем верхнюю опоку 5, модели шлакоуловителя 7, стояка 8 и выпора 9, засыпают формовочной смесью и трамбуют (рис.5,б). Затем верхнюю опоку снимают и переворачивают, из обеих опок вынимают полумодели, в нижней полужоформе прорезают два питателя 10 (рис.5,в), кладут стержень 12 на стержневые знаки (рис.5,г) и закрывают верхней опокой, предварительно вынув модель шлакоуловителя. Сверху прорезают в земле литниковую чашу II (рис.5,е), вынимают модели выпора и стояка. Форма готова к заливке (питатели и литниковую чашу иногда изготавливают по моделям).

Литература

1. Рыжиков А.Д. Технологические основы литейного производства. - М.: 1962. - 527с.;
2. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. - М.: 1990. - 383с.;
3. Стальное литье. Справочник. - М.: 1963. - 887с.;
4. Власов А. Ф., Васильев П. В. Справочник конструктора модельной оснастки. - М.: 1980. - 256с.;
5. Специальные способы литья /под ред. Гуляева Б. Б., Липницкого А. М., Оболенцева Ф.Д. - М.: 1971. – 274с.

Оборудование

1. Модельный комплект, формовочный инструмент;

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

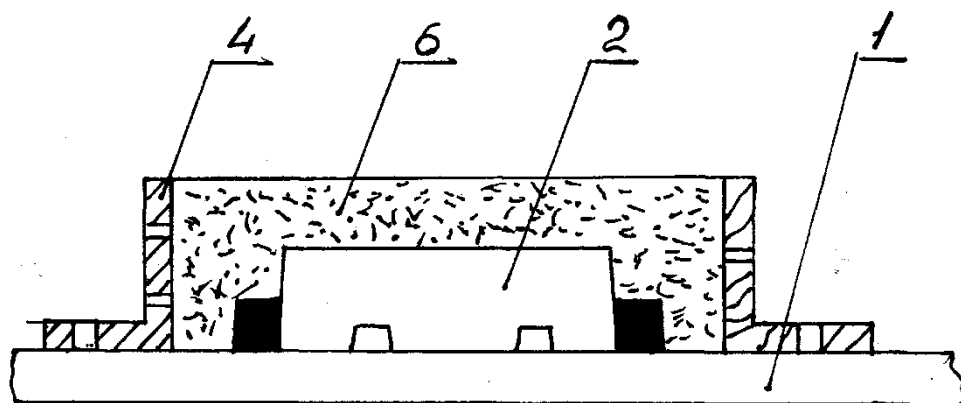


Рис. 5, а Нижняя полуформа с моделью

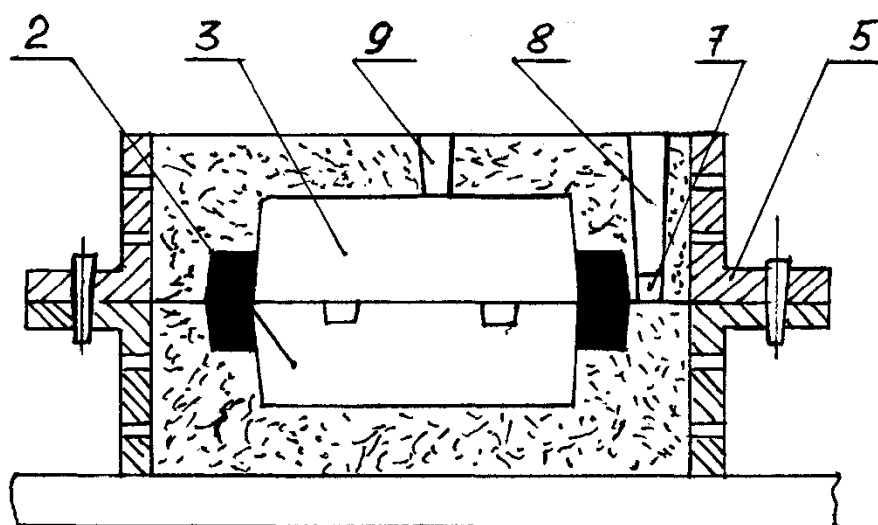


Рис. 5,б Верхняя полуформа с моделями

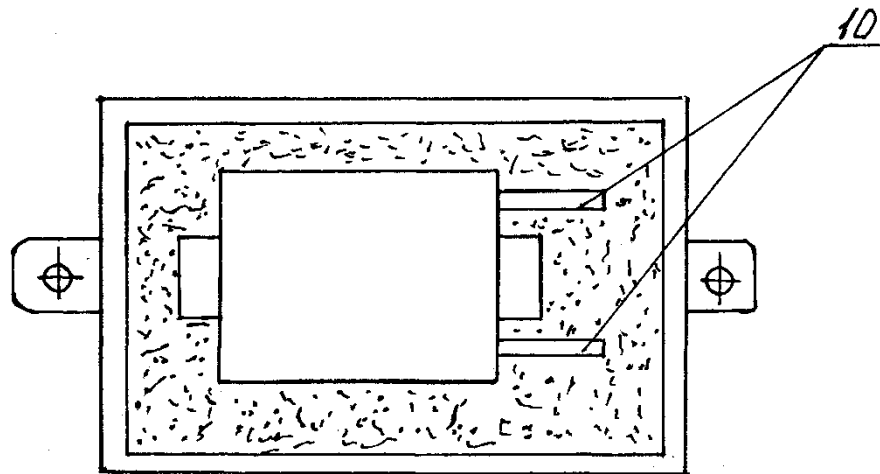


Рис. 5, в Вид нижней полуформы сверху (без стержня)

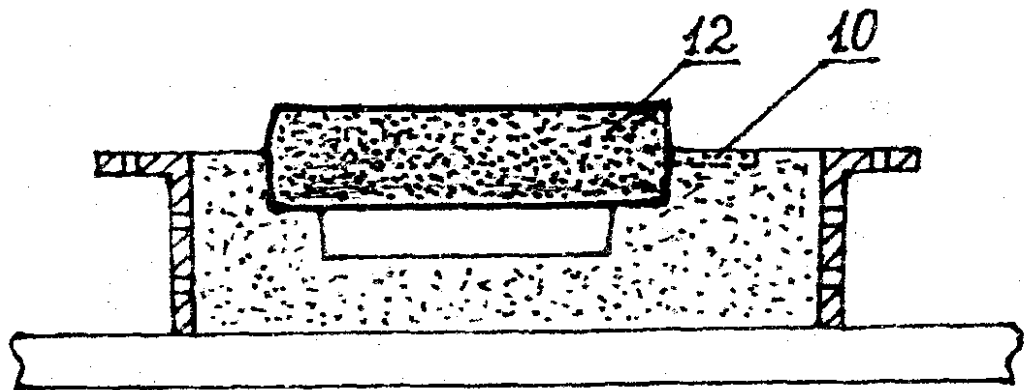
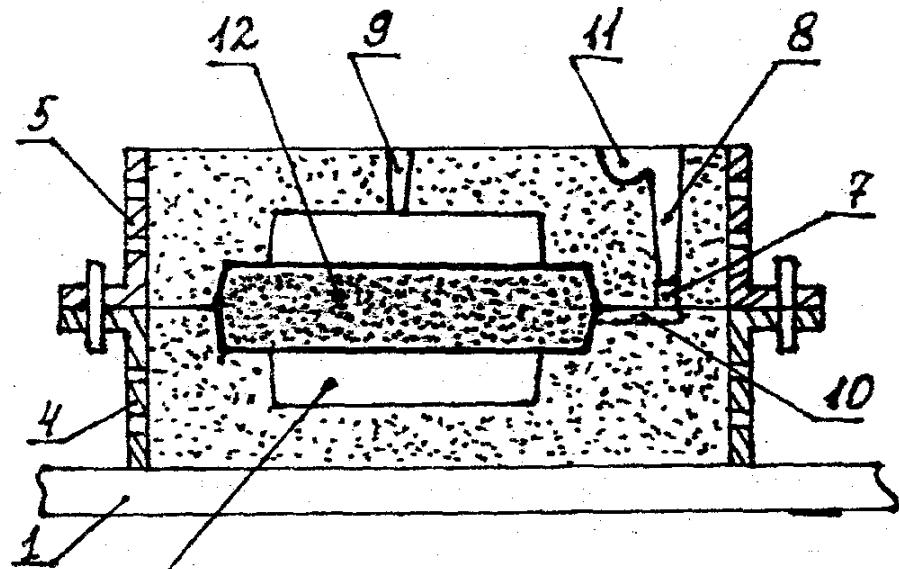


Рис. 5, г Нижняя полуформа со стержнем



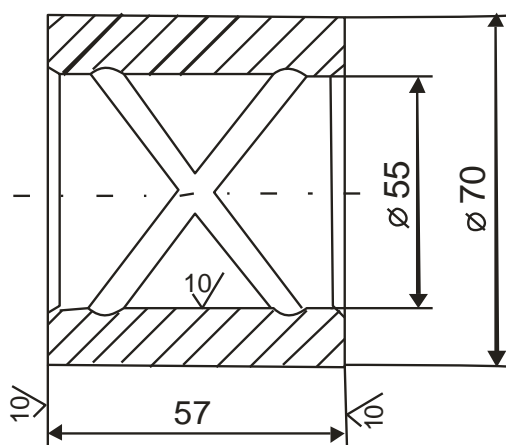
полость, которая заливается сплавом.

Рис. 5. Этапы изготовления формы

1 - подмодельная плита; 2 - нижняя половина модели; 3 - верхняя половина модели; 4 - нижняя опока; 5 - верхняя опока; 6 - формовочная смесь; 7 - шлакоуловитель; 8 - стояк; 9 - выпор; 10 - питатель; 11 - литниковая чаша; 12 - стержень

ЭСКИЗЫ ДЕТАЛЕЙ (варианты)
Вариант 1

✓ (✓)

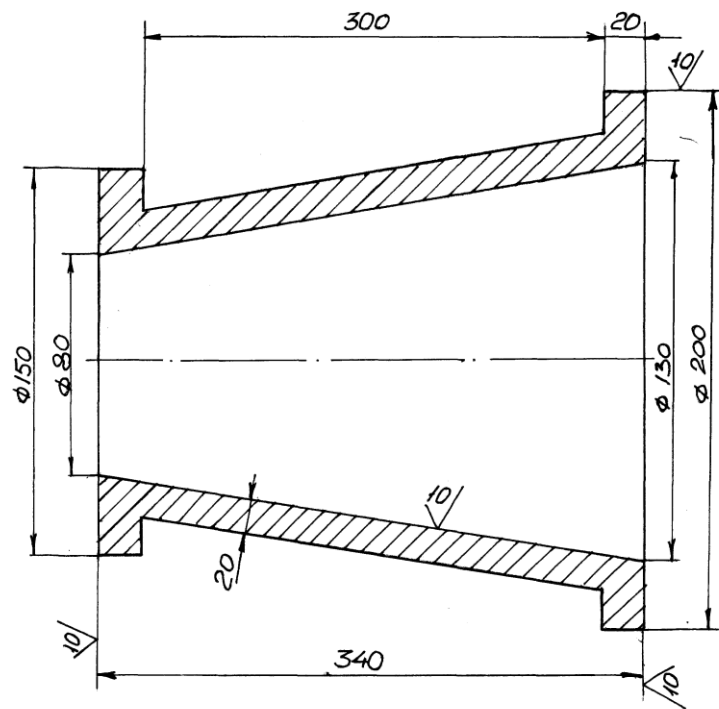


Втулка внутренняя (ЧТЗ).

Материал – высокопрочный чугун ВЧ60. Единичное производство.

Вариант 2

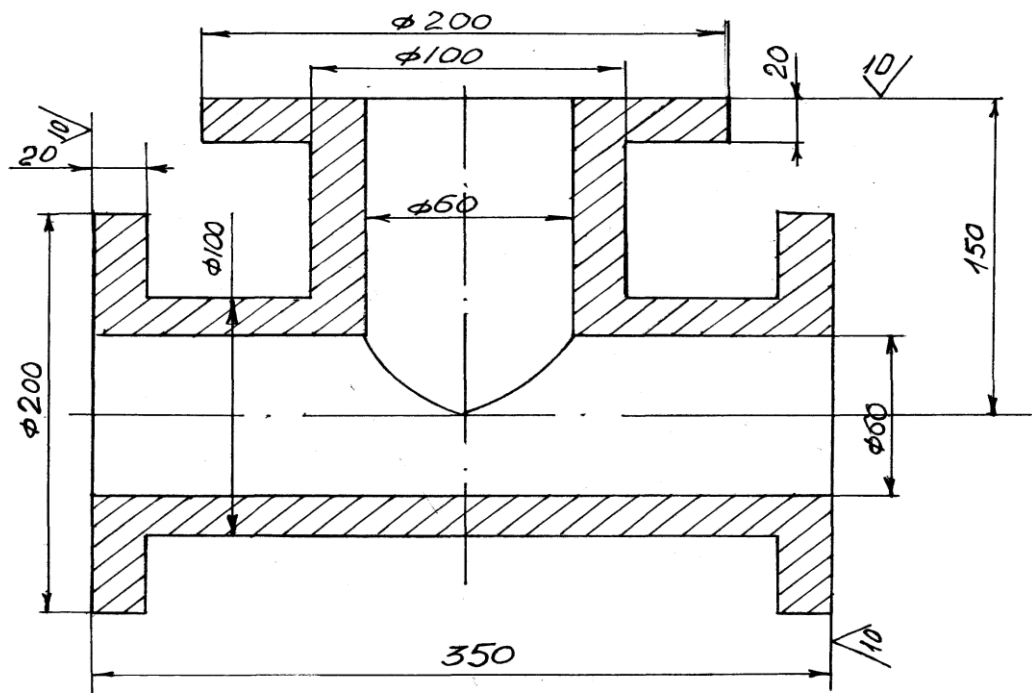
✓(✓)



Втулка коническая.
Материал – силумин АК7. Серийное производство.

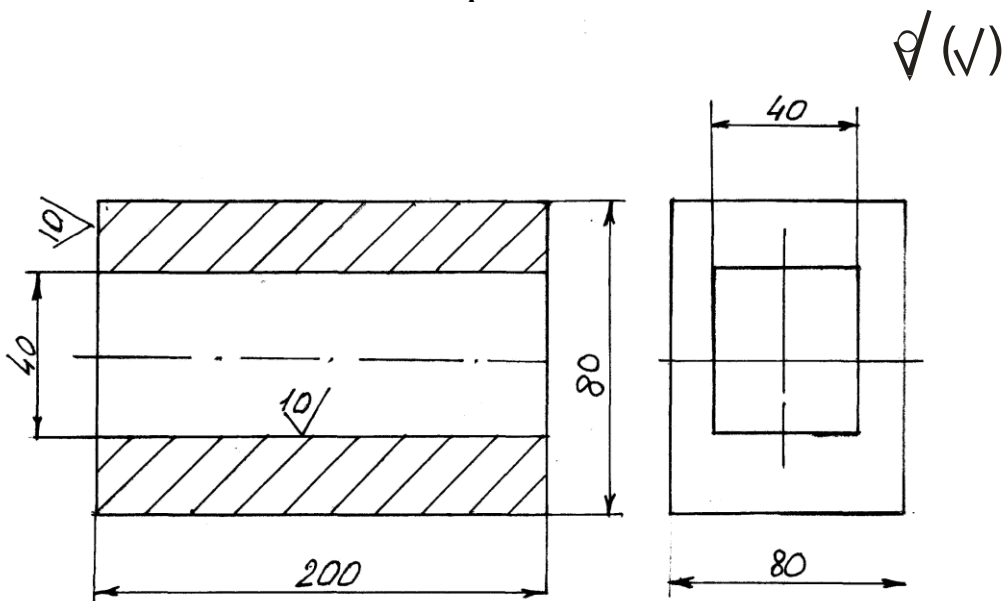
Вариант 3

✓(✓)



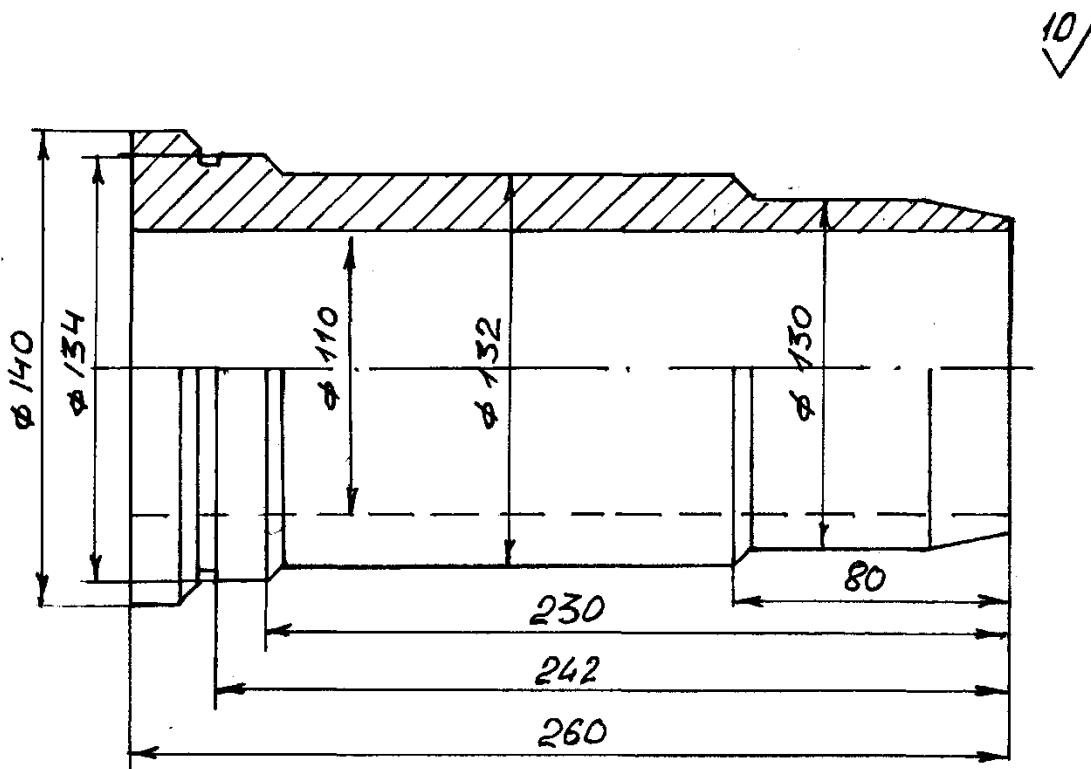
Тройник.
Материал – серый чугун СЧ 15. Массовое производство.

Вариант 4



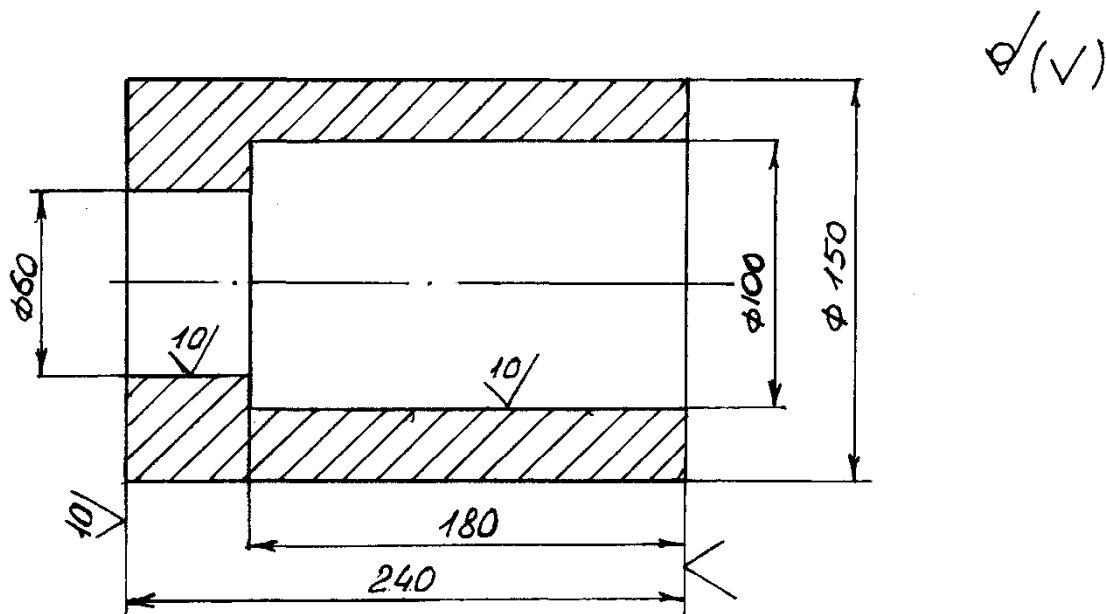
Квадратная втулка.
Материал – бронза БрА9Ж4. Единичное производство.

Вариант 5



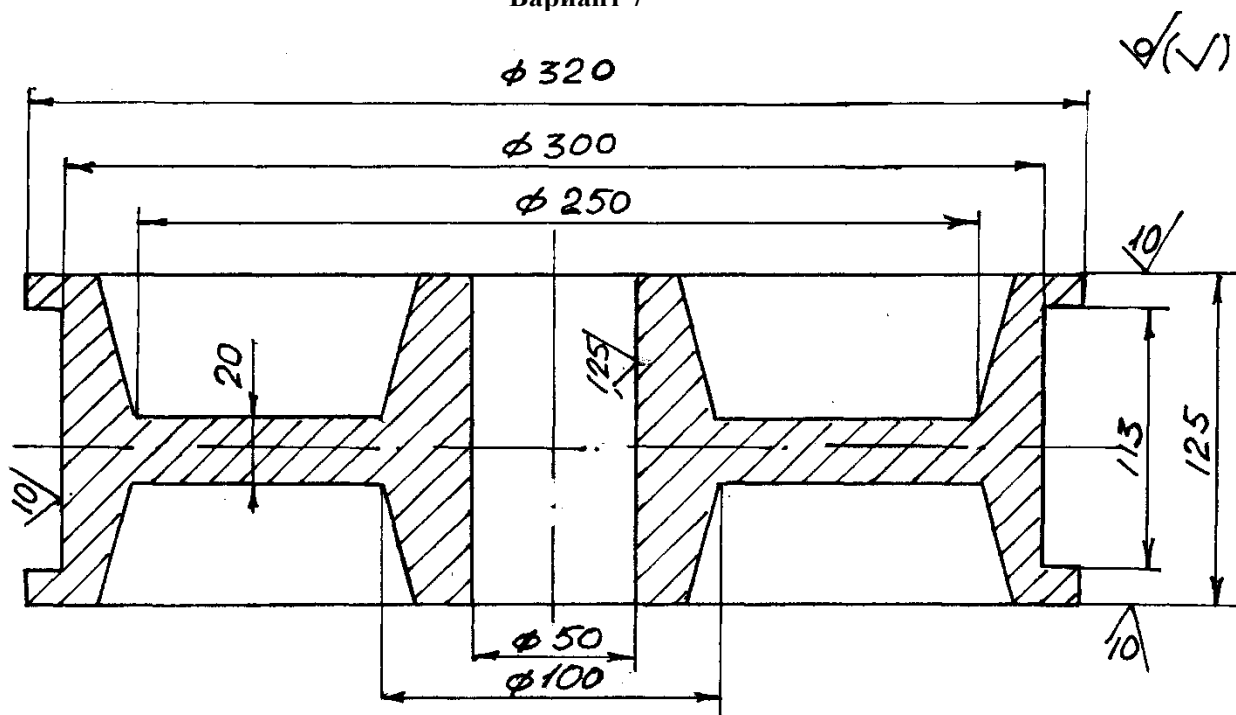
Гильза цилиндра (Д-50).
Материал – серый чугун СЧ20. Массовое производство.

Вариант 6



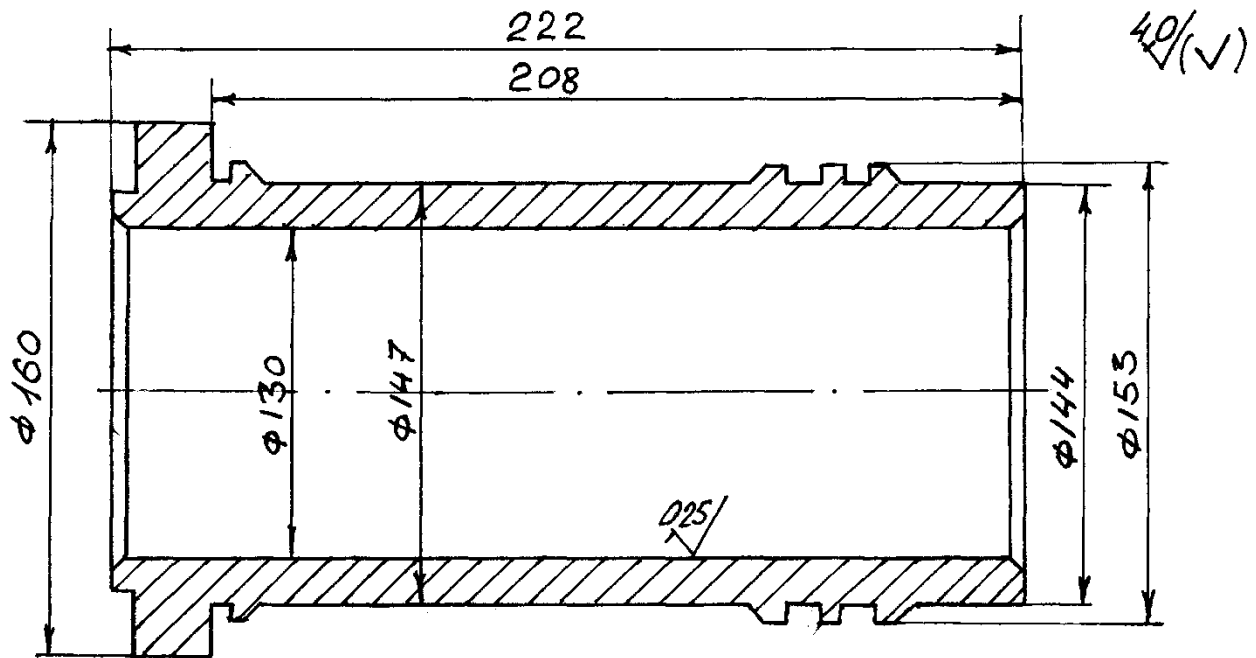
Втулка.
Материал – серый чугун СЧ30. Единичное производство.

Вариант 7



Шкив.
Материал – серый чугун СЧ20. Серийное производство.

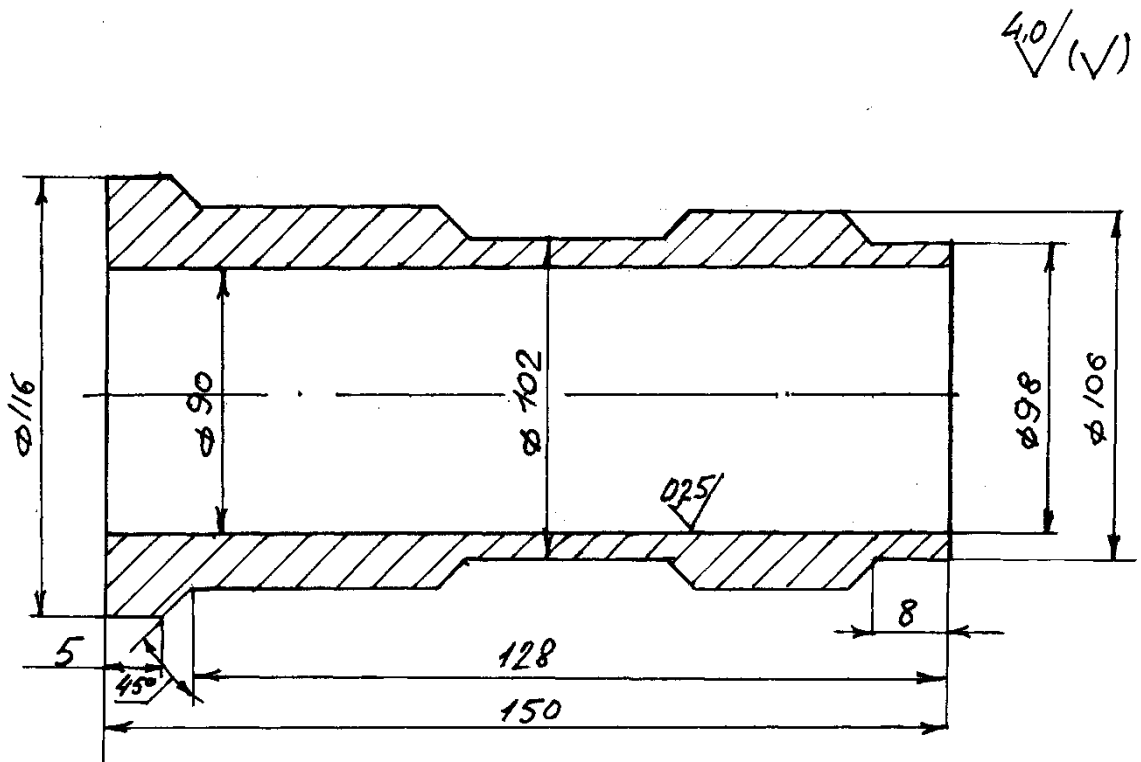
Вариант 8



Гильза (СМД-60).

Материал – серый чугун СЧ20. Серийное производство.

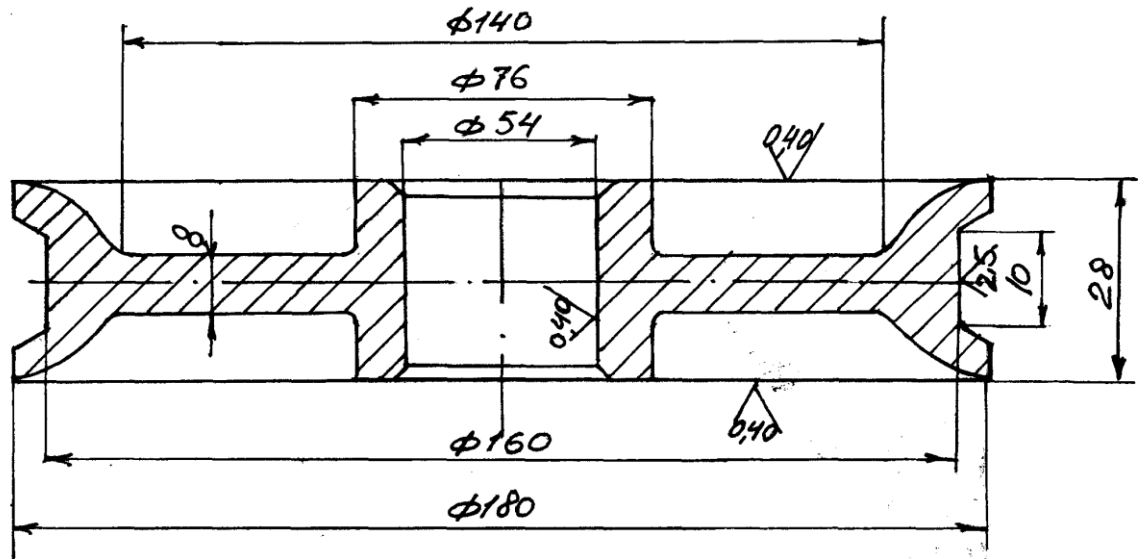
Вариант 9



Гильза (ГАЗ-51).
Материал – серый чугун СЧ15. Серийное производство.

Вариант 10

(✓) А

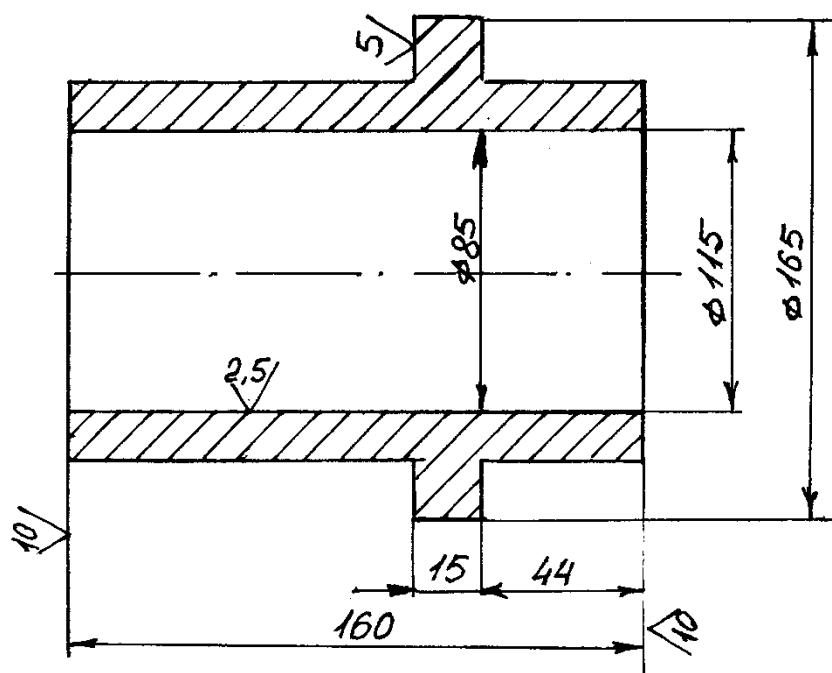


Шкив

Материал – сталь 35Л. Единичное производство.

Вариант 11

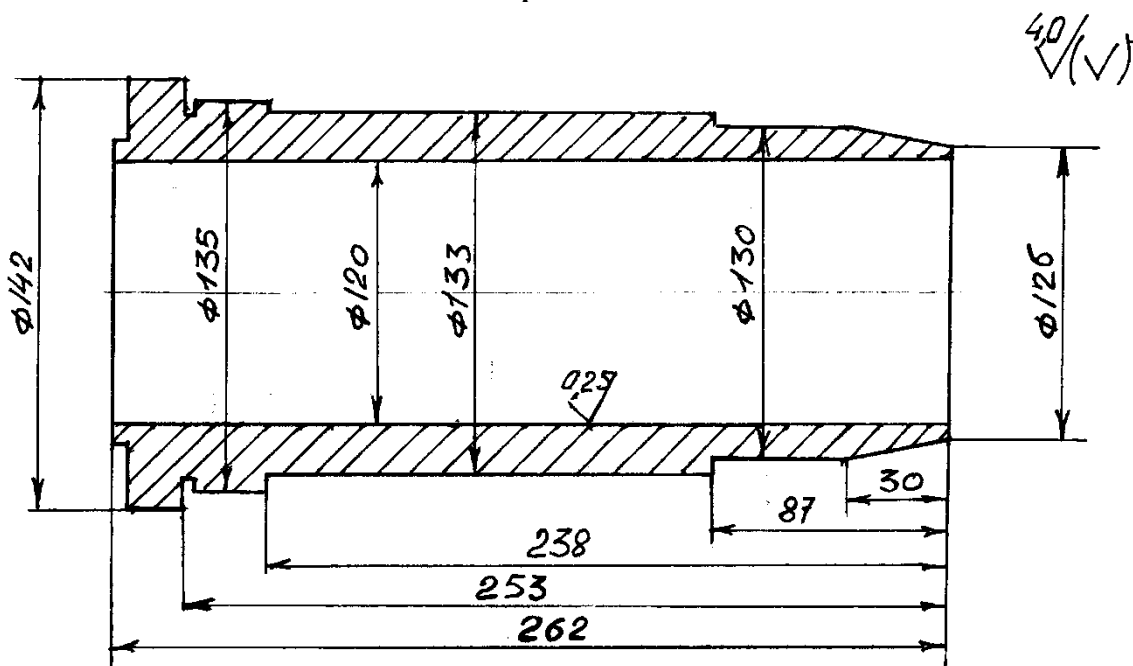
(✓) А



Втулка.

Материал – высокопрочный чугун ВЧ50. Серийное производство.

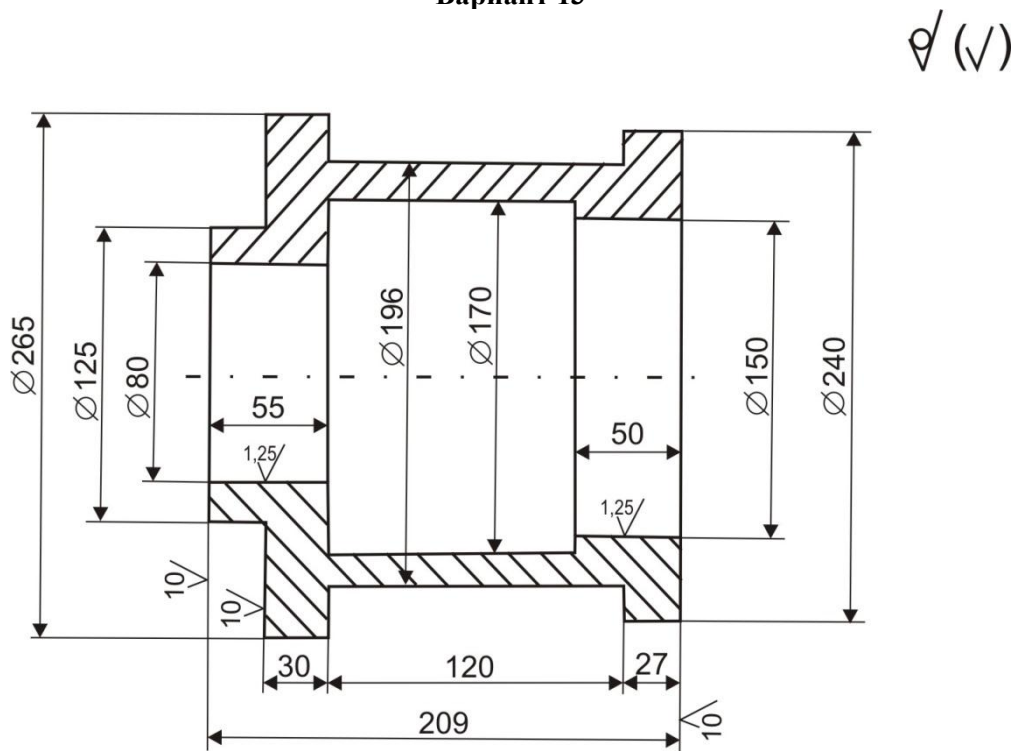
Вариант 12



Гильза (СМД14).

Материал – серый чугун СЧ15. Массовое производство.

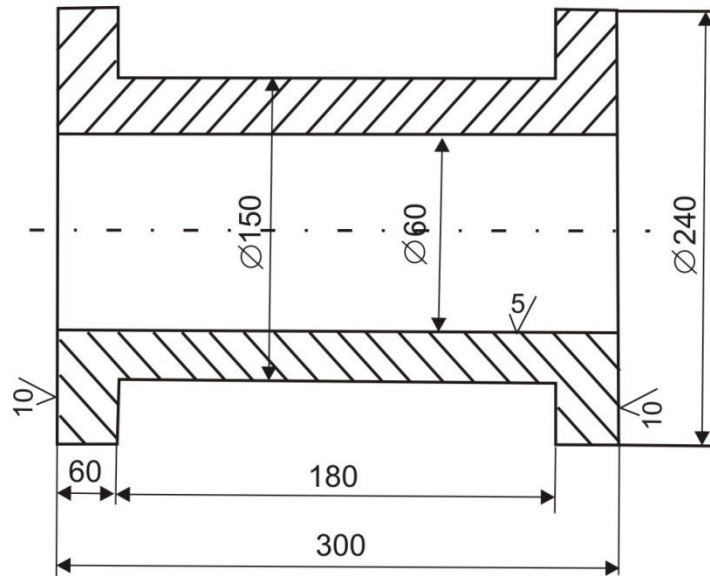
Вариант 13



Втулка.

Материал – латунь ЛЦ38Мц2С2. Единичное производство.

Вариант 14



Втулка.

Материал – силумин АК8М. Массовое производство.

СОДЕРЖАНИЕ

Краткие сведения из теории.....	3
Построение эскиза отливки.....	4
Построение эскиза модели.....	6
Построение эскиза стержня.....	8
Расчет сечений элементов литниковой систем.....	8
Изготовление формы.....	9
Литература.....	10
Приложения.....	11

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Электроды для ручной дуговой сварки

Методические рекомендации
к выполнению лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Электроды для ручной дуговой сварки: Методические рекомендации к выполнению лабораторной работы / Сост. : А. В. Павлов; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 11 с.

В методических рекомендациях приведено описание лабораторной работы по курсу «Технология конструкционных материалов», читаемому студентам направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность, краткие теоретические сведения, необходимые для ее выполнения.

Электроды для ручной дуговой сварки

Цель работы

1. Изучение основных материалов, идущих на производство электродов для ручной дуговой сварки.
2. Ознакомление с маркировкой электродов, выбором типа и марки электрода, необходимого для сварки определенной марки стали.
3. Приобретение навыков по контролю качества покрытий электродов.

1. Общее сведения.

Электродуговая сварка - наиболее распространенный способ получения неразъемного соединения металлических деталей плавлением за счет использования тепла электрической дуги.

При электродуговой сварке происходит расплавление кромок свариваемых заготовок и электрода (присадочного материала), в результате чего образуется ванна расплавленного металла, который при удалении источника теплоты затвердевает. Образуется сварной шов, соединяющий свариваемые заготовки деталей и узлов.

Состав металла сварного шва значительно отличается от основного металла химическим составом и структурой, так как сварной шов образуется из основного и дополнительного металлов. В результате физико-металлургических процессов, протекающих при сварке, металл шва приобретает химический состав и механические свойства, удовлетворяющие определенным требованиям.

При ручной дуговой сварке применяют неплавящиеся, плавящиеся электроды и вспомогательные материалы (активные и неактивные флюсы, покрытия, защитные газы, Присадочную проволоку)

Неплавящиеся электроды изготавливают из электротехнического угля, синтетического графита или из вольфрама. Они имеют высокую температуру плавления и служат только для поддержания горения дуги, не участвуя в формировании шва. Электроды имеют круглую форму диаметром 5-25 мм, длиной 200—300 мм. Конец их затачивается на конус для зажатия в электродержателе.

В сельскохозяйственном машиностроении и ремонтном производстве наибольшее распространение получили плавящиеся стальные электроды с покрытием, представляющие собой стержни, изготовленные из сварочной проволоки. На поверхность стальных стержней окунанием или опрессовкой под давлением наносят покрытие, имеющее определенный состав и толщину. Один из концов электрода на длине 20-30 мм освобожден от покрытия с целью обеспечения электрического контакта.

2. Сварочная проволока для электродов

Для металлических электродов применяют холоднотянутую стальную проволоку, изготовленную по ГОСТ 2246-70 и удовлетворяющую специальным техническим условиям.

Выпускается проволока 77 марок: низкоуглеродистая (Св-08, Св-10Г и др.) - 6 марок, легированная (Св-08ГС, Св-18ХМА и др.) - 30, высоколегированная (Св-06х19Н9Г, Св-13х25Н18 и др.) - 41 марки.

Условное обозначение марок проволоки состоит из индекса Св (сварочная), цифр, следующих за ним и показывающих содержание углерода в сотых долях процента, и буквенных обозначений элементов, входящих в состав металла (табл. 1). Цифры после букв указывают примерное содержание данного элемента, если оно превышает 1 %. Буква А в конце условного обозначения марки проволоки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора.

Например: Св—07х19Н10Б - сварочная проволока из низкоуглеродистой стали, содержащей 0,07 % углерода, 19 % хрома, 10 % никеля, около 1 % ниобия.

Согласно ГОСТ 2246-70 сварочная проволока выпускается следующих диаметров: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 мм.

Таблица 1

Условные обозначения легирующих элементов.

Элементы	Условные обозначения		Элементы	Условные обозначения	
	по таблице Менделеева	в марке стали		по таблице Менделеева	в марке стали
Марганец	Mn	Г	Титан	T	T
Кремний	Si	С	Ниобий	Nb	Б
Хром	Cr	Х	Ванадий	V	Ф
Никель	Ni	Н	Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М	Медь	Cu	Д
Вольфрам	W	В	Бор	B	Р
Алюминий	A	Ю	Цирконий	Zr	Ц

Длина электрода зависит от его диаметра, который определяется диаметром металлического стержня. Общие технические требования к покрытым металлическим электродам для ручной дуговой сварки и наплавки сталей регламентированы ГОСТ 9466-75. установленные размеры электродов в табл. 2.

Таблица 2

Размеры электродов (ПО ГОСТ 9466-75)

Диаметр Электрода, мм	Длина электрода, мм		Диаметр Электрода, мм	Длина электрода, мм	
	из низкоуглеродистой или легированной стали	из высоколегированной стали		из низкоуглеродистой или легированной стали	из высоколегированной стали
1,6	200	150	4,0	350	350

2,0	250	200	5,0	450	350
	250	250		450	
2,5	250	250	6,0	450	350
	300	300			
3,0	300	300	8,0	450	450
	350	350			

Для сварки алюминия и сплавов на его основе предусмотрен выпуск сварочных проволок 14 марок диаметром 0, 8... 12,5 мм (Св—А5, Св—АМг6 и др.)

Для сварки, наплавки меди в ее сплавов выпускают сварочную проволоку 17 марок диаметром 0,8. .8 мм (М1, БрАМЦ9—2, Л060—2 и др.)

Пим сварке чугуна применяют стержни, отлитые из серого чугуна, различных марок в зависимости от назначения: А - для горячей газовой сварки; Б - для газовой сварки с местным нагревом; НЧ-1 – для низкотемпературной газовой сварки тонкостенных отливок, НЧ-2 –для низкотемпературной газовой сварки толстостенных отливок; БЧ и ХЧ – для износостойкой наплавки. Чугунные прутки выпускаются следующих диаметров: 4, 6, 8-10, 12-16 мм, длиной 250, 350 и 450 мм.

Примерное назначение и химический состав сварочных проволок и прутков регламентируется ГОСТами.

3. Назначение электродных покрытий.

На поверхность стального плавящегося электрода нанесен слой специальной обмазки, предназначенной для повышения устойчивости горения дуги, образования комбинированной газошлаковой защиты и получения металла шва с требуемыми, заранее заданными свойствами.

Для изготовления покрытий применяются материалы, подразделяющиеся по своему назначению:

а) газообразующие (газовая защита зоны сварки от кислорода и азота воздуха)- органические вещества: крахмал, пищевая мука, декстрин, карбонаты (мрамор CaCO_3 , магнезий MgCO_3 и др.), целлюлоза;

б) шлакообразующие (шлаковая защита шва от кислорода и азота воздуха), составляющие основу покрытия: минералы – полевоы шпат, кремнезем, плавииковый шпат и др., руды – марганцовистые и титановые;

в) стабилизирующие (стабилизация горения дуги), содержащие элементы с низким потенциалом ионизации: калий, натрий, кальций;

г) элементы – раскислители, служащие для связывания кислорода в сварочной ванне, обладающие большим сродством с кислородом, чем железо. Это – металлы: марганец, титан, молибден, хром в виде ферросплавов, алюминий, а также углерод (в виде графита) и кремний (в виде ферросилиция);

д) легирующие элементы, предназначенные для повышения механических, химических и физических свойств шва: хром, никель, молибден, титан и др., в виде ферросплавов или чистых металлов.

е) связующие (для закрепления покрытия на стержне) – водные растворы силикатов натрия и калия в виде жидкого стекла;

ж) формовочные – вещества, придающие обмазке лучшие пластические свойства: бентонит, каолит, декстрин, слюда и др.

для повышения производительности в электродные покрытия иногда вводят железный порошок, который улучшает технологические свойства электродов (облегчает повторное зажигание дуги, уменьшает скорость охлаждения наплавленного шва).

4. Классификация и маркировка электродов.

Электроды с покрытием в стандартах классифицируют:

а) по толщине покрытия (в зависимости от отношения полного диаметра электрода D к диаметру стального стержня d):

М – с тонким покрытием ($D/d \leq 1,2$);

С – со средним покрытием ($1,2 \leq D/d \leq 1,45$);

Д – с толстым покрытием ($1,45 \leq D/d \leq 1,8$);

Г – с особо толстым покрытием ($D/d \leq 1,8$);

б) по видам покрытия:

А – с кислым покрытием, содержащим окислы железа, марганца, кремния;

Б – с основным покрытием, имеющим в основе фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонат кальция (мрамор, мел);

Ц – с целлюлозным покрытием, основные компоненты – целлюлоза, мука и другие органические составы, создающие газовую защиту дуги и образующий тонкий шлак;

Р – с рутиловым покрытием, основной компонент рутил (TiO_2);

П – с прочими видами покрытий.

При покрытии смешенного вида используют соответствующее двойное условие обозначение. Если покрытие содержит железный порошок более 20%, добавляют букву Ж;

в) по пространственным положениям сварки или наплавки:

1 – для всех положений;

2 – для всех положений, кроме вертикального;

3 – для всех положений, кроме потолочного;

4 – для нижнего;

г) по качеству электродов: точности изготовления, состояния поверхности покрытия, содержанию серы и фосфора в наплавленном металле – группы 1, 2 и 3 (с увеличением номера группы улучшается качество поверхности и снижается содержание серы и фосфора);

д) по типам и маркам (в зависимости от назначения): 14 типов для сварки конструкционных сталей; 9 – для сварки теплоустойчивых сталей; 49 – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами; 44 типа – для ручной дуговой наплавки;

е) по назначению (табл. 3):

Таблица 3

Некоторые типа электродов для сварки и наплавки.

Марка стали	Назначение стали	Маркировка электрода
Ст1сп	Углеродистые и	У

Ст2кп Ст2сп 17ГС 14ХГС 09Г2С 45, 50 30Х, 40Х 20ХГСА, 30ХМА 30ХМ, 40ХФА 38ХМ 30ХГСН2А 30Х2ГСНМ 42Х2ГСНМ Наплавка	низколегированные стали Углеродистые и легированные стали Легированные и теплоустойчивые стали Высокопрочные стали Наплавочные материалы	 Л Т В Н
--	--	----------------------------------

ж) по роду и полярности тока, а также напряжению холостого хода источника питания переменного тока (частота 50 Гц) (табл. 4).

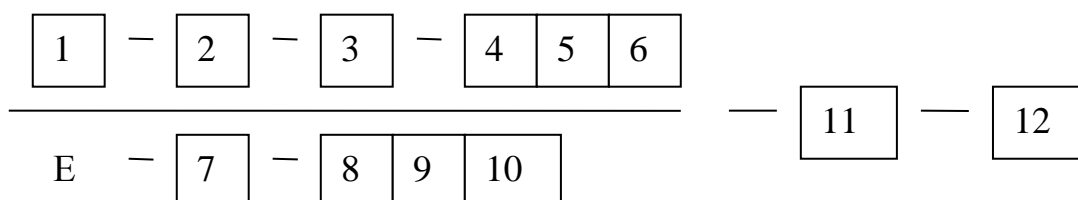
Таблица 4

Обозначение электродов в зависимости от рода тока и напряжения холостого хода.

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В	Обозначения
Обратная	50 ± 5	0
Любая		1
Прямая		2
Обратная		3
Любая	70 ± 10	4
Прямая		5
Обратная		6
Любая	90 ± 5	7
Прямая		8
Обратная		9

В обозначении типа электрода для сварки конструкционных сталей входит буква Э (электрод), последующая цифра показывает временное сопротивление разрыву металла шва в кгс/м². буква А после цифрового обозначения показывает, что шву придаются повышенные механические свойства. Например: Э46А, Э55, Э85 и т. д.

Условные обозначения электродов согласно ГОСТ 9466-75 указывается на этикетке (пачке, коробке, ящике) в определенном порядке и содержит следующие данные:



где 1 – тип электрода; 2 – марка; 3 – диаметр, мм; 4 – назначение электрода; 5 – толщина покрытия; 6 – группа электродов (по качеству); 7 – характеристика наплавленного металла шва (ГОСТ 9467-75, 10051-75, 10052-75); 8 – вид покрытия; 9 – допустимые пространственные положения сварки

и наплавки; 10 – род и полярность тока; Е – номинальное положение холостого хода; 11 – ГОСТ 9466-75; 12 – ГОСТ или ТУ на типы электродов.

В обозначении марок электродов, не относящихся к указанным ТУ или ГОСТам, позиция 12 отсутствует. Тип электрода и марку выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к сварному соединению и конструкции в целом, учитывая величины и виды нагрузок, пространственное положение шва и др.

Пример условного обозначения электродов для сварки конструкционных сталей:

Э46 – УОНИИ – 13/45 – 5,0 –

ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9466-

Е 4 2 3 (5) –

Электроды типа Э46 по ГОСТ 9466-75, марки – 13/45, диаметром 5 мм, для сварки углеродистых и низколегированных сталей (У), с толстым покрытием (Д), 2-й группы по качеству, с группой индексов, характеризующих наплавленный металл шва 432 (5) по ГОСТ 9466-75, с основным покрытием (Б), для сварки во всех пространственных положениях на постоянном токе на обратной полярности (10).

В технической документации (чертежи, технологические карты, ТУ и т.п.) в обозначение электродов вводят: марка, диаметр, группа качества по ГОСТ 9466-75. Например:

УОНИИ – 13/45 – 5,0 – 2 ГОСТ 9466-75.

Типы электродов для наплавки, сварки теплоустойчивых и высоколегированных сталей с особыми свойствами в своем обозначении содержат характеристики химического состава наплавленного металла. Например: Э-09М, Э-09Х1МФ, Э-10Х25Н13Г2Б, Э-12Х13, Э-10Г2, Э-35Г6 и т. д.

5. Контроль качества электродов.

При сварке конструкций, в чертежах которых указан тип электрода, нельзя применять электроды, не имеющие сертификаты. Электроды без сертификата можно использовать только после тщательной проверки.

В соответствии с ГОСТ 9466-75, 9467-75, 10051-75, 10052-75 проверяют прочность покрытия, сварочные свойства электродов, определяют механические свойства металла шва и сварочного соединения на образцах, сваренных электродами из проверяемой партии. О пригодности электродов для сварки судят по качеству наплавленного металла, который не должен иметь трещин, пор и шлаковых включений.

Внешний вид электродов должен удовлетворять требованиям стандарта, не допускаются к эксплуатации электроды с дефектами: эксцентричное расположение покрытия, неравномерная толщина слоя по длине электрода, продольные и кольцевые трещины, наличие козырька при горении электрода, влажность покрытия.

Если покрытие содержит влагу, электроды необходимо перед сваркой просушить при температуре 130-200° С.

6. Наиболее распространенные типы и марки электродов и основные области их применения.

Каждый тип электродов объединяет несколько марок с покрытиями, разработанными различными предприятиями и организациями.

В табл. 5 приведены краткие технологические данные некоторых марок электродов для сварки и наплавки сталей.

Таблица 5

Электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей.

Марка электрода	Вид покрытия	Род тока и полярность	Коэффициент наплавки, г/А*ч	Назначение
<u>Тип Э42</u>				
ОМА-2	АЦ	Постоянный	7,9-9,0	Для сварки конструкций из тонколистовых сталей. Для сварки ответственных конструкций, работающих при статических и динамических нагрузках. Сварка стыков труб.
АНО-5	РЖ	Переменный "	11,0	
ВСЦ-4	Ц	Постоянный	10,5	
<u>Тип Э46</u>				
АНО-3	Р	Постоянный	8,5	Сварка ответственных конструкций, работающих при динамических нагрузках. Сварка ответственных строительных металло - конструкций
АНО-4	Р	Переменный	8,0-9,0	
ОЗС-4	Р	Переменный	7,5-8,5	
МР-3		Постоянный Обратная полярность		
РБУ-4	Р	"	7,8	Сварка ответственных конструкций, из низкоуглеродистых сталей
РБУ-5			9,0	
<u>Тип Э46А</u>				
УОНИИ 13/45	Б	Постоянный Обратная полярность	8,5-10	Сварка особо ответственных конструкций, работающих при низких температурах.

Тип Э50А				
УОНИИ 13/55	Б	Постоянный Обратная полярность	9,0	Сварка ответственных конструкций, из углеродистых и низколегированных сталей, работающих в условиях Севера.

7. Оборудование и материалы, необходимые для выполнения работы.

1. Сварочный пост.
2. Электроды.
3. Стальная плита.
4. Напильник.
5. Микрометр 25.
6. Стальная пластина.
7. Молот.
8. Зубило.
9. Металлическая щетка.

Порядок выполнения работы.

Инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

Задание 1. Выбор марки электрода

1. С помощью данных методических рекомендаций, наглядных пособий и плакатов ознакомится с материалами, входящими в состав электродов.
2. Подобрать электрод для сварки материала предлагаемой конструкции согласно заданию, полученному от преподавателя.
3. Привести полное краткое описание маркировки электрода.

Задание 2. Проверка качества электрода

1. Определить дефекты электродов внешним осмотром.
2. Проверить толщину и эксцентриситет электродов.

Для этого в трех местах электродов, смешанных друг относительно друга на 50-100 мм по длине и 120 по окружности, снимают покрытие на участке 10-15мм. Покрытие снимается напильником до электродной проволоки. Измерение в каждом месте производится микрометром с погрешностью 0,01 мм.

$$e = D - d$$

где D – толщина электрода с покрытием; d – толщина электрода без учета снятого покрытия.

Допустимый эксцентриситет зависит от группы покрытий и колеблется для различных диаметров электродов:

диаметр 4 мм – от 0,16 до 0,28 мм;
 диаметр 5 мм – от 0,20 до 0,35 мм;
 особо толстых покрытий – от 0,30 до 0,50 мм.
 Данные и выводы:

Контроль качества электродного покрытия.

№ замера	Толщина электрода с покрытием, мм	Толщина электрода с удаленным покрытием, мм	Эксцентриситет	Заключение
1				
2				
3				

3. Проверка прочности покрытия.

Покрытие не должно разрушаться при свободном падении электрода плашмя на гладкую стальную плиту с высоты: 1 м – для электродов диаметром менее 4 мм; 0,5 м – для электродов диаметром 4 мм и более. При этом допускаются частичные отклонения покрытия общей протяженностью до 5% длины покрытой части электрода.

Задание 3. Провести сварочно-технологическую проверку электродов.

Электроды должны удовлетворять следующим требованиям: дуга – легко возбуждается и стабильно гореть; покрытие – плавиться равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, образования козырька, препятствующему нормальному плавлению электрода при сварке во всех пространственных положениях; образующийся при сварке шлак должен обеспечивать правильное формирование валиков шва и легко удаляться после охлаждения; в наплавленном металле не должно быть трещин, надрывов и поверхностных пор.

Содержание отчета.

1. Описание назначения электродов, материалов, входящих в них, маркировка.
2. Результаты проверки качества электродов.
3. Вывод и объяснения полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. Как выбирается сварочная проволока для электродов?
2. Перечислите основные функции материалов электродных покрытий.
3. Типы покрытий электродов и их марки, соответствующие данным типам.
4. Как обозначаются типы плавящихся электродов разного назначения по ГОСТу.
5. Назовите основные виды наружных дефектов электродов.
6. Методы контроля качества электродов.

Распределение времени.

1. Проверка знаний студентов и пояснения к работе – 20 мин
2. Выбор марки электрода с описанием маркировки – 20 мин
3. Внешний осмотр, проверка толщины и эксцентриситета электрода – 10 мин
4. Проверка прочности покрытия – 10 мин
5. Сварочно-технологическая проверка электродов – 30 мин
6. Письменное оформление отчета – 30 мин
7. Зачет по работе – 15 мин

Итого: 130 мин

Литература.

1. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П., Технология и оборудование сварки плавлением. М. : Машиностроение, 1977. 423с
2. Справочник сварщика/ Под редакцией В.В. Степанова, М. : Машиностроение, 1982. 560 с.
3. Каракозов Э.С., Мустафаев Р.И. Справочник молодого электросварщика. М.: Высшая школа, 1992. 304с.
4. Сергеев Н.П. Справочник молодого сварщика. М.: Высшая школа, 1980. 192 с.
5. Думов С.И. Лабораторные работы по технологии электрической сварки плавлением. Л.: Машиностроение, 1982. 151 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общее сведения.....	3
Сварочная проволока для электродов.....	3
Назначение электродных покрытий.....	5
Классификация и маркировка электродов.....	5
Контроль качества электродов.....	7
Наиболее распространенные типы и марки электродов и основные области их применения.....	8
Оборудование и материалы.....	9
Порядок выполнения работы.....	9
Литература.....	10

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Неметаллические конструкционные материалы

Методическое пособие
к выполнению лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Неметаллические конструкционные материалы: Методическое пособие к выполнению лабораторной работы / Сост. : А. В. Павлов, А. Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 14 с.

В методическом пособии приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

Неметаллические конструкционные материалы

Цель работы. Изучить основные свойства пластмасс, древесных и резиновых материалов и области их применения.

ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Основные теоретические положения

Одним из эффективных путей снижения металлоемкости конструкций, уменьшения их массы, повышения надежности и долговечности является применение неметаллических конструкционных материалов, природного и искусственного происхождения.

Неметаллические материалы широко используют в машиностроении, авиации, радиотехнической и электротехнической промышленности. По сравнению с природными материалами более широко используются искусственные или синтетические, так как при их формировании можно влиять на **их** свойства (прочность, тепло- и электропроводность, химическую стойкость). К искусственным материалам органического происхождения относят пластмассы на основе синтетических смол (полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласты) и на основе нескольких смол и наполнителей (композиционные пластмассы).

Основной составной частью пластмасс являются полимеры - слово, которое вошло в наш лексикон как и атомная энергия, термоядерные реакции, космос, т.е. слова, которые олицетворяют выдающиеся достижения науки и техники сегодняшнего дня. Наука ведет непрерывный поиск новых, но дешевых, доступных и неисчерпаемых материалов, без которых невозможно использовать в технике сверхвысокие температуры, давления, скорости.

В связи с этим появилась острая необходимость в таких материалах, которые в природе не существуют вообще. Вот созданием таких материалов и занимается химия полимеров. Только она способна изготовить ткани прочнее шелка и полотна, или создавать материалы, которые не растворяются ни в одной из самых крепких кислот и щелочей. Только с ее помощью можно получать жидкости и масла, не замерзающие и не теряющие свойств на самом лютном морозе. Химия полимеров способна создавать материалы прочнее стали, легче пробки, эластичнее и выносливее природного каучука. В медицине уже применяются полимеры, заменяющие кровь, кости и ткань человеческого организма.

В основе неметаллических материалов лежат **полимеры** - это вещества, состоящие из гигантских цепочек молекул одинаковой структуры. При таких больших размерах макромолекул свойства

веществ определяются не только химическим составом, но и их взаимным расположением и строением. Макромолекулы высокомолекулярных соединений могут иметь **линейную, разветвленную и пространственную** структуру.

Линейные и разветвленные молекулы построены из отдельных макромолекул, связанных между собой межмолекулярными силами, величина которых в значительной степени определяет технические свойства вещества. Такие **полимеры** эластичны, плавятся или размягчаются при нагреве и при охлаждении и снова переходят в твердое состояние. Линейные и разветвленные полимеры являются основой термопластических пластмасс (**термопласты**).

Пространственные (сшитые, сетчатые) структуры получают либо сшивкой отдельных линейных цепей полимеров, либо в результате поликонденсации и полимеризации. При частом расположении поперечных связей полимер становится неплавким и нерастворимым. Таким образом полимеры, способные образовывать пространственные структуры, являются основой терморезистивных пластмасс (**р е а к т о п л а с т ы**).

Выпускаемые пластмассы подразделяют на сырьевые и поделочные. К **сырьевым** относят сыпучие материалы в виде гранул, крошки, порошков, волоконитов, к **поделочным** - листы, пластины, плиты, блоки, профильные детали (прутки, стержни, трубки и др.).

. Наиболее важными преимуществами полимерных материалов являются: небольшая плотность, эластичность, большая механическая прочность, хорошие диэлектрические свойства, высокая химическая стойкость.

В электротехнической промышленности пластмассы используют в основном в качестве диэлектриков, что объясняется достаточно высоким уровнем их электроизоляционных свойств.

В электротехнике пластмассы применяются как материалы:

- 1. электроизоляционные**, обычно в сочетании с конструкционным назначением (различных панелей, траверс, каркасов катушек, пазовых клиньев, корпусов коллекторов электрических машин);
- 2. конструкционные**, например для изготовления корпусов приборов, вентиляторов, кожухов электрических машин;
- 3. специальные**, например магнитодieleктрики, содержащие наполнители с магнитными свойствами; проводящие пластмассы с графитом в качестве наполнителя; дугостойкие, например кремнийорганические.

Область применения пластмасс в электротехнике в значительной степени определяется их нагревостойкостью. Высокой нагревостойкостью отличаются пластмассы кремнийорганические, политетрафторэтиленовые, полиамидные.

ПЛАСТМАССЫ- это неметаллические материалы, изготовленные на основе природных или синтетических молекулярных

соединений. Основой выпускаемых пластмасс является смола, от количества и типа которой зависят физические, механические и технологические свойства пластмасс. Различают смолы **природные** [канифоль, шеллак, битум, янтарь) и синтетические (полимеры).

Главными признаками, по которым классифицируются пластмассы, являются: их состав, отношение пластмасс к нагреванию и растворителям. По составу пластмассы делятся на две большие группы - ненаполненные и наполненные.

Ненаполненные "пластмассы представляют собой смолу в чистом виде.

Наполненные кроме смолы содержат: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, катализаторы, красители.

Наполнители - твердые вещества, вводимые в состав пластмасс для повышения свойств и снижения себестоимости изделий. В качестве наполнителей применяют порошковые (древесная и кварцевая мука, графит, тальк, слюда) и листовые очесы (асбестовая, хлопчатобумажная и стеклянная ткань).

Пластификаторы - вещества, обеспечивающие пластмассам пластичность и эластичность (касторовое масло, камфара).

Стабилизаторы вводят для замедления старения пластмасс (вода, фосфаты, аминокислоты).

Катализаторы необходимы для ускорения затвердевания пластмасс (окись магния, известь).

Красители вводят с целью придания пластмассам необходимой окраски (нигрозин, мумия).

Основные свойства пластмасс:

- высокая электроизоляционная и химическая стойкость,
- малая звуко и теплостойкость,
- морозо и светоустойчивость,
- в два раза легче алюминия,
- высокая износостойкость,
- прочность,
- хорошая обрабатываемость,
- пластмассы легко соединяются с металлами, тканями, древесиной.

Недостатки - к ним относятся, главным образом, малая теплостойкость пластмасс, которая находится в пределах от +35° до +250° С.

Сортамент пластмасс - может быть в виде порошков, гранул, таблеток, волокон, наполнителей пропитанных полимерами. В виде полуфабрикатов (пленок, листов, плит, стержней, труб, блоков). Некоторые выпускаются в виде жидких веществ (полиэфиры, эпоксида, полиуретаны), которые удобны для пропитки, склеивания и нанесения покрытий. Изготовление изделий из пластмасс получают литьем под давлением, прессованием, сваркой, склеиванием.

В зависимости от поведения пластических масс при нагревании они делятся на две группы: термопласты и реактопласты.

"ТЕРМОПЛАСТЫ- это ненаполненные пластмассы (на основе поливиниловых и полиамидных смол, эфиров и целлюлозы), которые после нагревания сохраняют способность к повторному размягчению и растворению в растворителях. К таким пластмассам относятся:

Полиэтилен (- CH₂ - CH₂ -) - полупрозрачное вещество, является высококачественным диэлектриком, использование которого возможно в диапазоне высоких и сверхвысоких частот. Устойчив к воздействию концентрированных кислот и щелочей, влагонепроницаем, эластичен, может работать в интервале температур от -20° до +100° С.

Из полиэтилена изготавливают емкости для хранения и транспортировки агрессивных жидкостей. Благодаря высоким диэлектрическим свойствам он применяется в производстве различных деталей радиотехнической аппаратуры и при изготовлении высокочастотных кабелей

Полистирол (- CH₂ – CH(C₆H₅ -) это продукт стирола. Применяется как высокочастотный электроизоляционный материал в технике высоких и сверхвысоких частот (каркасы катушек, панели электронных ламп, изоляция для высокочастотных кабелей дальней связи). Гибкий полистирол выпускается в виде пленки и нити, называемой стирофлексом.

Поливинилхлорид (- CH₂ - CHCl -) - представляет собой жесткий, негибкий продукт, эксплуатируемый в области низких частот. Характеризуется высокими диэлектрическими потерями и меньшим (по сравнению с полиэтиленом) удельным объемным сопротивлением. Используется в производстве монтажных и телефонных проводов. Достоинством его является высокая стойкость к действию кислот и щелочей и применяется в качестве химически стойкого конструкционного материала.

Органическое стекло - это аморфный продукт, используется в интервале температур от -180° до +85° С. Стекло стойко к щелочам, разбавленным кислотам, смазкам, но легко растворимо в дихлорэтане и хорошо склеивается с ним. По прочности и жесткости оргстекло лучше других термопластов.

Преимущества стекла: легкость, прозрачность, возможность окрашиваться в любой цвет.

Недостатки: склонность к растрескиванию под напряжением, горит.

Применение стекла: для остекления самолетов, изготовления светильников, часовых стекол и автомобильных фар. Как диэлектрик, это стекло применяется для изделий, сочетающих прочность и стойкость против старения. В связи с выделением большого коли-

чества газов под воздействием газовой дуги, органическое стекло используется в качестве твердого дугогасящего материала.

Фторопласты - это полимеры, состоящие из углерода и фтора.

Фторопласт-4 ($F_2C = CF_2$) представляет собой сероватый полупрозрачный материал, обладающий высокой нагревостойкостью ($+250^\circ C$). Исключительно химически стоек, превосходя даже золото и платину (на него не действуют соляная, серная, азотная и фтороводородная кислоты). Фторопласт не горюч, не гигроскопичен и не смачивается водой и другими жидкостями. Из него получают листы, кабельные изделия, пленки. Указанные свойства, фторопласта позволяют применять его в особо ответственных случаях - при одновременном воздействии на изоляцию высоких и низких температур, химически агрессивных сред, влаги. Фторопласт применяется для изготовления электрорадиотехнических деталей (пластины, кольца, диски, мембраны), а также уплотнительные прокладки, манжеты. Используется в качестве защитных покрытий на металлах (тифлоновые покрытия).

• **РЕАКТОПЛАСТЫ**-это наполненные пластмассы на основе фенолформальдегидных, карбамидных и других смол. Связующие в этих пластмассах при нагревании переходят в неплавкое и нерастворимое состояние. Широкое применение в качестве конструкционных и электроизоляционных материалов имеют слоистые пластики: гетинакс, фольгированный. гетинакс, текстолит, стеклотекстолит и асботекстолит.

Гетинакс получается горячим прессованием из прочной и нагревостойкой бумаги, пропитанной бакелитом. Бумагу нарезают листами необходимого формата, собирают пачками нужной толщины и укладывают под пресс. Промышленностью выпускается марок I, II, III, IV. Для всех марок гетинакс изготавливается длиной не более 700 мм, а шириной 500 мм, толщиной от 0,2 до 50 мм.

Гетинакс марки I применяется для панелей распределительных устройств, щитов, изоляционных перегородок в устройствах низкого напряжения- Гетинакс марки IV применяется для изготовления деталей, работающих в маслозаполненной аппаратуре высокого напряжения, а в основном применяется в высоковольтном приборостроении и технике связи.

• **Фольгированный гетинакс** выпускается около 10 марок и представляет собой гетинакс, облицованный с одной или-двух сторон электролитической медной фольгой, толщиной 0,035 - 0,05 мм. По химическому составу фольга должна соответствовать меди марок МОО, МО, МІ. Применяется для изготовления плат с печатным монтажом, кодовых дисков, роторов электродвигателей и других изделий. -

Текстолит - аналогичен гетинаксу, но изготавливается не из пропитанной бумаги, а из пропитанной ткани, что сказывается на его

себестоимости. Промышленность выпускает листовой электротехнический текстолит 4-х марок: А, Б, Г, Вг. В зависимости от назначения текстолита подразделяются на поделочные, электротехнические разных марок и металлургические (обычный и графитированный) - Текстолит марки А рекомендуется для деталей, используемых в узлах и аппаратах, работающих при частоте 50 Гц (в трансформаторном масле и на воздухе); марка Вг предназначена для деталей, работающих на воздухе при частоте 10^6 Гц.

Из поделочного текстолита изготавливают бесшумные зубчатые и червячные колеса, подшипники скольжения и т.п. От гетинакса текстолит отличается повышенной ударной вязкостью, влагостойкостью, высокой прочностью и стойкостью к истиранию. Как электроизоляционный материал текстолит применяется для изготовления деталей, подвергающихся ударным нагрузкам или работающих на истирание (детали переключателей и другие детали монтажа электрооборудования)

Стеклотекстолит выпускается марок СТ, СТ-Б, СТ--! на основе стеклотканей и фенолформальдегидного связующего, а марок СТЭФ и СТЭФ-Р на эпоксиднофенольном связующем. Стеклотекстолит обладает высокими электроизоляционными свойствами, прочностью, влагостойкостью и, особенно, нагревостойкостью. Предел рабочих температур для всех марок от -60° до $+250^{\circ}$ С. Выпускается промышленностью в виде листов и плит толщиной от 0,5 до 30 мм. Используется в приборах и аппаратах в качестве электроизоляционного материала.

Асботекстолит - разновидность текстолита, содержит 38-43% связующего, остальное асбестовая ткань. Выпускается в виде листов и плит толщиной от 1,0 до 100 мм. Асботекстолит является конструкционным, фрикционным и термоизоляционным материалом, обладает стойкостью к кислотам. Из асботекстолита изготавливают фрикционные диски, тормозные колодки, а в основном идет на изготовление клиньев и распорок роторов турбогенераторов.

Техника безопасности

Синтетические смолы, различные растворители, отвердители, стабилизаторы, красители, применяемые для приготовления пластмасс, относятся к разряду пожаровзрывоопасных продуктов, обладающих токсичными и кожнораздражающими свойствами. Все это требует соблюдения нормативных требований техники безопасности.

1. Производственные помещения должны быть оборудованы вытяжной и приточной вентиляцией.
2. При работе с воспламеняющимися веществами должен быть выполнен комплекс мероприятий по пожарной безопасности.

3. Обслуживающий персонал должен быть обеспечен индивидуальными средствами защиты и изоляции (крема, респираторы, противогазы).

ДРЕВЕСНЫЕ И РЕЗИНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основные теоретические положения

Древесина с давних времен используется в качестве конструкционного материала в различных отраслях промышленности. В настоящее время она не утратила своего значения и применяется как в виде натуральной древесины, так и в виде разнообразных древесных материалов.

• **ДРЕВЕСИНА**- природный материал растительного происхождения и состоит из органических веществ: 54% целлюлозы, 29% лигнина, остальное углеводы. **К-достоинствам** древесины, как конструкционного материала относятся: высокая удельная прочность, небольшой удельный вес, хорошее сопротивление ударным и вибрационным нагрузкам. Древесина характеризуется малой теплопроводностью и в 2-3 раза меньшим, чем у стали, коэффициентом линейного расширения. Химическая стойкость древесины высокая к ряду кислот, щелочей, масел. Важными свойствами древесины являются ее способность к склеиванию и возможность быстрого соединения ее гвоздями.

• **К недостаткам** древесины следует отнести ее гигроскопичность, поражения грибковыми заболеваниями, отсутствие огнестойкости, низкая нагревостойкость и анизотропия механических свойств. Анизотропия древесины обуславливает зависимость ее свойств от направления распила и расположения волокон. Например: электрическая прочность древесины вдоль волокон в 3-4 раза меньше, чем поперек волокон, а объемное сопротивление может отличаться в 10 раз. Однако, указанные недостатки можно исправить такими мероприятиями, как пропитка и промазка древесины составами, снижающими гигроскопичность и повышающими ее грибо- и огнестойкость.

Электрические параметры пропитанной древесины зависят от пропитывающего вещества (парафин, олифа, нефтяное масло, синтетические смолы) и способа пропитки. Максимальное поглощение масла достигается при охлаждении древесины в самом масле. Однако пропитка не устраняет полностью гигроскопичность древесины, поэтому детали (пропитанные олифой, смолами, маслами), работающие на воздухе, дополнительно покрывают изоляционным лаком. По нагревостойкости пропитанную древесину относят к классу А.

Благодаря широкому распространению, дешевизне и легкости мехобработки, древесина стала одной из первых конструкционных и электроизоляционных материалов, применяемых в электротехнике. Электропроводность древесины зависит от породы (наибольшее применение находят бук, береза, граб) и направления тока по отношению к волокнам древесины, влажности. Абсолютно сухая древесина является отличным изолятором.

Указанная древесина используется для изготовления штанг приводов разъединителей, опорных и крепежных деталей трансформаторов высокого и низкого напряжения, пазовых клиньев электрических машин, опор для линий электропередач и связи. Древесина используется для изготовления бумаг и древеснослоистых пластиков электротехнического назначения.

• **Конденсаторная бумага** наиболее тонкий и высококачественный вид электроизоляционных бумаг. Применяется для изготовления диэлектрика конденсаторов, в котором она подвергается воздействию высоких напряженностей поля. Конденсаторную бумагу выпускают марок: КОН - обычная, СКОН - специальная, МКОН - с малыми диэлектрическими потерями и марки ЭМКОН - с высокой электрической прочностью и малыми потерями.

Бумага всех видов и типов выпускается в бобинах или рулонах диаметром от 180 до 220 мм, шириной от 12 до 490 мм. Номинальная толщина различных марок бумаг от 4 до 30 мкм,

• **Кабельная бумага** выпускается различных марок, обозначаемых буквами К, КМ, КВ, КВУ, КВМ, КВМУ, которые обозначают: К - кабельная, М - многослойная, В - высоковольтная, У - уплотненная. Цифры от 15 до 240 обозначают номинальную толщину бумаги (в мкм).

Телефонная бумага применяется для изоляции жил телефонного кабеля и используется в непропитанном состоянии. Для различения жил телефонных кабелей бумага выпускается окрашенной в красный, синий, зеленый цвета марок КТ и КТУ толщиной 50 мкм.

Проиточная бумага выпускается марок ЭИП-50, ОИП-63, ЭИП-75, числа которых обозначают вес 1 м² бумаги в г. Толщина этих бумаг составляет соответственно маркам 0,09; 0,11; 0,13 мм. Применяется в основном для изготовления листового гетинакса.

Картон отличается от бумаги большей толщиной. Электроизоляционные картоны изготавливаются двух типов: воздушные более твердые и упругие предназначены для работы на воздухе (прокладки для пазов электрических машин, каркасов катушек, шайб); масляные - для работы в трансформаторном масле (в изоляции маслонаполненных трансформаторах). Электроизоляционные картоны изготавливаются из древесной целлюлозы и хлопчатобумажного сырья. Выпускается в рулонах, листах.

Фибра изготавливается из тонкой бумаги, пропущенной через

раствор хлористого цинка, наматывается на стальной барабан до получения слоя нужной толщины. Затем срезается с барабана, промывается водой и прессуется. Электротехническая фибра марки ФЭ выпускается в листах толщиной от 1,0 до 3,0 мм, в виде досок - 35 мм и в виде трубок. Цвет фибры определяется окраской бумаги, взятой для ее изготовления. Фибра хорошо пилится, режется, строгаются. По нагревостойкости фибра относится к материалам класса А (при 180° С она обугливается). При воздействии электрической дуги фибра разлагается, выделяя большое количество газов, способствующих гашению дуги. В связи с этим фибровые трубки применяются для изготовления стреляющих разрядников.

РЕЗИНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

Резина представляет собой вулканизированную многокомпонентную смесь на основе

каучуков, обладающих целым рядом ценных свойств, в том числе электроизоляционными. Поэтому она с успехом применяется в электротехнике и, прежде всего в кабельных изделиях. Преимуществом применения резины в качестве изоляции и защитной оболочки кабельных изделий является возможность получения высоких электрических и физико-механических характеристик и придания нужной гибкости, влагостойкости, маслoneфтестойкости и способности не распространять горение.

- **Резиной** называется продукт спецобработки (вулканизации) смеси каучука с серой и различными добавками. Основой всякой резины является натуральный (НК) или синтетический каучук (СК), Для улучшения физико-механических свойств каучуков в них добавляют различные добавки, поэтому в **состав резины** входит:
 1. Каучук НК или СК является основным сырьем при получении резины.
 2. Регенерат - продукт переработки резиновых изделий и отходов резинового производства, он повышает качество и снижает себестоимость продукции.
 3. Наполнители - сажа, окись цинка повышают механические свойства; каолин, асбест - электроизоляционные свойства; мел, тальк снижают себестоимость резины.
 4. Мягчители - парафин, канифоль, вазелин, растительные масла облегчают переработку резиновой смеси, повышают эластичность и морозостойкость резины.
 5. Красители - охра, ультрамарин вводят для окраски резины с целью защиты ее от светового старения.
 6. Вулканизирующие вещества (основным является сера). Однако для резин электротехнического назначения взамен серы применяются органические соединения серы - тиурам (тиурамовые резины).
 7. Ускорители - кактас, окись свинца вводят для сокращения

времени и температуры вулканизации.

Производство резины включает операции:

- пластификацию каучука;
- приготовление резиновой смеси;
- вулканизацию.

Пластификация состоит в том, что порезанный на куски каучук пропускают между вальцами в течение 15-20 мин. При температуре 40-50° С, смешивая его с другими компонентами.

Приготовление резиновой смеси производят формованием, прессование и непрерывным выдавливанием.

Вулканизация - это процесс химического соединения каучука с серой. Вулканизация может быть горячей (при 120-150° С) и холодной - резину погружают на 1-3 мин. в раствор полухлористой серы в бензине. Вулканизация является последней операцией при изготовлении резины. Ее обычно проводят в паровых котлах и в гидравлических прессах.

Свойства резины - резина обладает высокой эластичностью, газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью, отличными электроизоляционными свойствами и высокой стойкостью к истиранию. К недостаткам резины, как электроизоляционного материала, следует отнести: ограниченную нагревостойкость - свыше 60-70° С резина стареет, становится хрупкой и растрескивается; малую стойкость к действию нефтяных масел, света, под действием которого резина стареет, озона - идет разрушение резиновой изоляции.

Основные виды резин:

1. Армированная резина. Для ее приготовления в резиновую смесь помещают металлическую сетку, покрытую слоем латуни и обмазанную клеем. После одновременного прессования и вулканизации получается прочная и гибкая резина.

2. Пористая резина получается на способности каучука абсорбировать газы и на диффузию газов через каучук. Применяется для изготовления различных амортизаторов и сидений.

3. Твердая резина (э б о н и т) содержит от 25 до 35% серы. Электротехнический эбонит соответствует маркам А и Б. Эбонит твердый, но сравнительно вязкий и хорошо сопротивляемый ударным нагрузкам материал. Легко обрабатывается - листы толщиной до 5 мм штампуются. Поставляется в виде пластин, трубок и прутков различного диаметра. Применяется для изготовления деталей измерительных приборов и аппаратуры. Из эбонита изготавливают также аккумуляторные пластины, сепараторы, детали для щелочных аккумуляторов и слаботочной аппаратуры.

Применение резины. Изделия из нее нашли самое широкое

распространение во всех областях промышленности. Номенклатура резиновых изделий насчитывает более 40 000 наименований. Только в автомобиле, кроме шин, насчитывается свыше 250 самых различных резиновых изделий: шланги, приводные ремни, прокладки, втулки, буфера и т.д.

Обладая высокими электроизоляционными свойствами, резина применяется для изоляции кабелей, приводов магнето, защитных средств: перчаток, галош, ковриков, спецодежды и др.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с содержанием данной лабораторной работы.
2. Изучить основные теоретические положения работы.
3. По проделанной работе составить письменный отчет.

Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного и вдумчивого ознакомления с работой. В нем должно быть отражено:

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель выполняемой работы.
3. Виды пластмасс, резин, их свойства и области применения.

Контрольные вопросы к отчету

1. Что называется пластмассами и что служит основой для их производства? По каким признакам они классифицируются?
2. Какие пластмассы называются ненаполненными и наполненными?
3. Перечислите основные свойства и недостатки пластмасс.
4. В каком виде производят выпуск пластмасс?
 5. На какие группы подразделяются пластмассы при нагревании?
 6. Какие пластмассы относятся к термопластам и реактопластам, приведите примеры.
 7. Органическое стекло: его свойства и применение.
 8. Фторопласт: его свойства и применение в электротехнике.
 9. Гетинакс: свойства и применение в электротехнике.
 10. Что такое фольгированный гетинакс и где он применяется?
 11. Стеклотекстолит: его свойства и применение в электротехнике.
 12. Асботекстолит: его свойства и применение в электротехнике.

13. Что называется резиной и что является основой для ее получения?
14. Перечислите операции для производства резины.
15. Что называется вулканизацией?
16. Какие недостатки имеет резина как электроизоляционный материал?
17. Назовите основные виды резин.
18. Что такое эбонит? В чем его отличие от резины?
19. Приведите примеры применения резины в электротехнической промышленности.

Список литературы

1. Тареев Б.М. Электротехнические материалы. М.: Гознергоиздат;1958.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергия, 1969.
3. Ян Штоф. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Корицкий Ю.В., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Справочник по электротехническим материалам. М.: Энергоатомиздат, том 1, 2, 3, 1988.
6. Харин А.Н., Катаева Н.А. Курс химии. М.: Высшая школа,1985.
7. Воскресенский П.И., Каверина А.А. и др. Справочник по химии, М.: Просвещение, 1978.
8. Кульман А.Г. Общая химия, М.: Колос, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

Пластические массы.....	3
Древесные и резиновые материалы.....	8
Порядок выполнения работы.....	12
Содержание отчета.....	12
Контрольные вопросы.....	12
Список литературы.....	13

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Диаграммы состояния двойных сплавов

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Диаграммы состояния двойных сплавов: Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 14 с.

В методических указаниях приведено описание лабораторного занятия по курсу «Материаловедение», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

1. ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ В СПЛАВАХ

В настоящее время применяются главным образом не чистые металлы, а металлические сплавы.

Сплавом называют вещество, полученное сплавлением двух или более компонентов.

Широкое распространение сплавов объясняется их преимуществами перед металлами: более высокими механическими свойствами, возможностью получения ряда специальных физических свойств, лучшими технологическими свойствами.

Компоненты, входящие в состав металлических сплавов, могут вступать между собой в различные взаимодействия. Рассмотрим три основные формы такого взаимодействия: механическая смесь, твердый раствор, химическое соединение.

1. **Механическая смесь** – образуется в том случае, когда при кристаллизации жидкого сплава из компонентов, условно обозначенных А и В, каждый компонент строит свою кристаллическую решетку.

В результате затвердевший сплав состоит из кристаллов двух компонентов, которые связаны только по границам (рис. 1). Кристаллизация сплавов, как правило, идет в интервале температур. Однако в системе А + В есть такой состав, когда затвердевание обоих компонентов происходит при постоянной температуре, которая значительно ниже температуры кристаллизации каждого компонента.

Механическая смесь, кристаллизующаяся при постоянной температуре, называется эвтектикой. Эвтектика имеет мелкую структуру с чередующимися кристаллами одной и другой фазы (часто пластинчатой формы). Эвтектические сплавы обладают жидкотекучестью, низкой температурой плавления и как следствие – хорошими литейными свойствами.

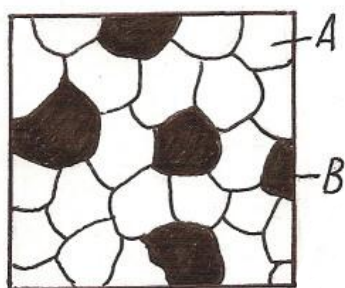


Рис. 1. Микроструктура сплава
при образовании механической смеси

2. **Твердый раствор** – образуется в том случае, когда при кристаллизации жидкого сплава только один из компонентов строит свою кристаллическую

решетку, а атомы другого компонента располагаются в этой кристаллической решетке.

Компонент, строящий свою кристаллическую решетку, называется растворителем, а второй компонент – растворенным.

Существуют три типа твердых растворов: растворы внедрения, растворы замещения и растворы вычитания. Растворы вычитания встречаются редко, а поэтому рассматриваться не будут.

Твердые растворы внедрения – это растворы, у которых атомы растворенного элемента размещаются в кристаллической решетке между атомами растворителя (рис. 2), при этом возникают искажения и напряжения в кристаллической решетке.

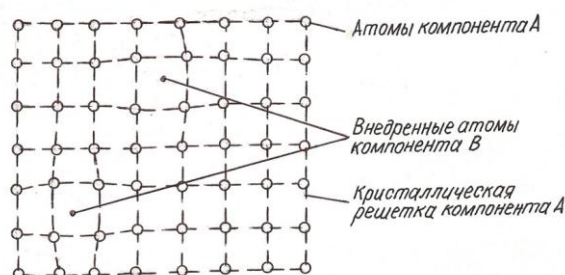


Рис. 2. Схема раствора внедрения А(В)

Твердые растворы замещения – атомы растворенного элемента замещают атомы растворителя в узлах кристаллической решетки (рис. 3).

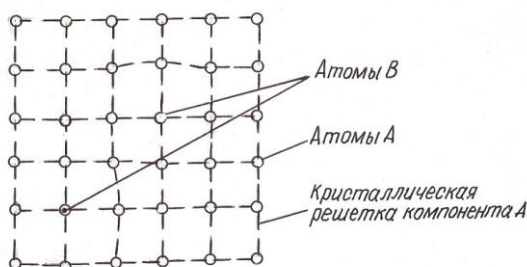


Рис. 3. Схема раствора замещения А(В)

Твердые растворы могут быть неограниченными и ограниченными. В первом случае любое количество атомов А может быть заменено соответствующим количеством атомов В, во втором – только определенная часть атомов компонента А может быть заменена атомами В.

Атомы примеси замещения могут быть больше или меньше атомов растворителя, поэтому в кристаллической решетке возникают искажения и напряжения. Таким образом, как в случае раствора внедрения, так и замещения, возникающие напряжения затрудняют перемещение дислокаций, что повышает прочность и твердость сплава. Твердые

растворы принято обозначать строчными буквами греческого алфавита: α , β , γ и т.д. Например, твердый раствор никеля в меди Cu (Ni) – α -раствор.

3. **Химическое соединение** – образуется в том случае, когда при затвердевании сплава строится новая кристаллическая решетка, не похожая на решетку ни того, ни другого элемента.

Атомы компонентов А и В занимают определенные узлы и находятся в соотношении, которое выражается химической формулой A_nB_m (например, химическое соединение Fe и C – Fe_3C , Al и Cu – $CuAl_3$). Атомы в химическом соединении прочно связаны друг с другом, кристаллическая решетка, как правило, сложная, что не допускает смещения одной части кристалла относительно другой. Все это обуславливает высокую твердость и хрупкость химических соединений.

2. ПРОСТЕЙШИЕ ВИДЫ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ

Диаграмма – это графическое изображение состояния сплава в зависимости от его концентрации и температуры.

Диаграммы строятся для условий равновесия, которые создаются при очень медленном охлаждении или нагревании сплавов, когда ни один процесс не затормаживается, все превращения идут до конца.

Диаграмма строится экспериментально по критическим точкам. Критические точки – это температуры, при которых в сплавах происходит какое-либо превращение (например, затвердевание, расплавление, аллотропическое превращение, распад твердого раствора и т.д.).

Критические точки находят термическим или каким-либо другим методом. При термическом анализе для каждого сплава данной системы строят кривую охлаждения. Все превращения при охлаждении сопровождаются тепловым эффектом (выделением или поглощением тепла), что приводит или к температурным остановкам, или к перегибам кривой охлаждения сплава, находящегося в жидком состоянии (рис. 4).

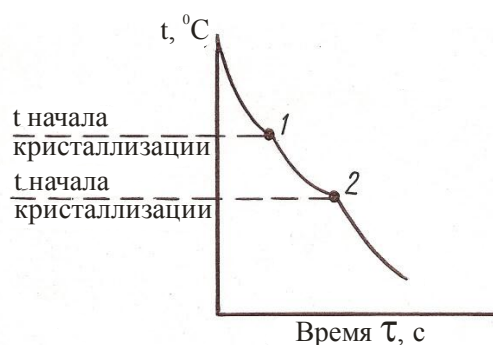


Рис. 4. Кривая охлаждения сплава, где компоненты дают твердый раствор α (20 % В, 80 % А – см. рис. 5):

1, 2 – критические точки

Полученные на отдельных кривых охлаждения критические точки наносятся на обобщенный график в координатах концентрация – температура. Соединяя однотипные точки, получаем диаграмму состояния сплава (рис. 5).

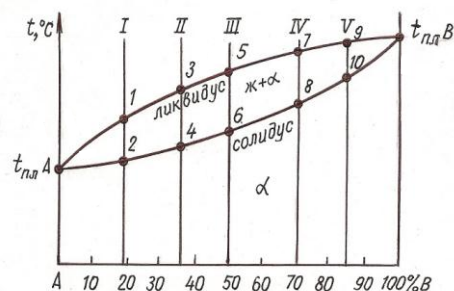


Рис. 5. Линии диаграммы, построенные по критическим точкам (ликвидус и солидус)

Например, в сплавах I, II, III, IV, V были найдены критические точки. Соединяя точки начала кристаллизации (1, 3, 5, 7, 9), получаем линию ликвидус – начала кристаллизации. Соединяя точки конца кристаллизации (2, 4, 6, 8), получаем линию солидус – конца кристаллизации. Таким образом, зная температуру плавления чистых компонентов А и В, получим диаграмму для случая неограниченной растворимости.

Рассмотрим 4 типа простейших диаграмм.

Диаграмма состояния I типа – случай образования механической смеси с эвтектикой (рис. 6).

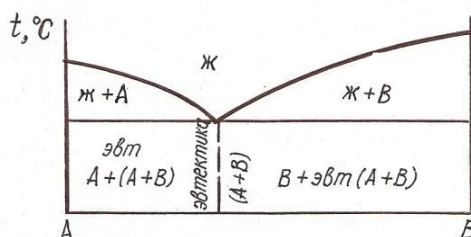


Рис. 6. Диаграмма состояния I типа

Оба компонента в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и не образуют химических соединений. Компоненты – вещества А и В, фазы – жидкость, кристаллы А, кристаллы В.

Для того, чтобы понимать диаграммы состояния сплавов, необходимо уметь пользоваться правилом отрезков.

Правило отрезков действует только в двухфазных областях. С его помощью можно установить:

- фазы, находящиеся в данной двухфазной области;
- химический состав каждой фазы;
- количественное соотношение фаз.

Для определения первых двух вопросов необходимо в двухфазной области при заданной температуре провести коноду (рис. 7, сплав I).

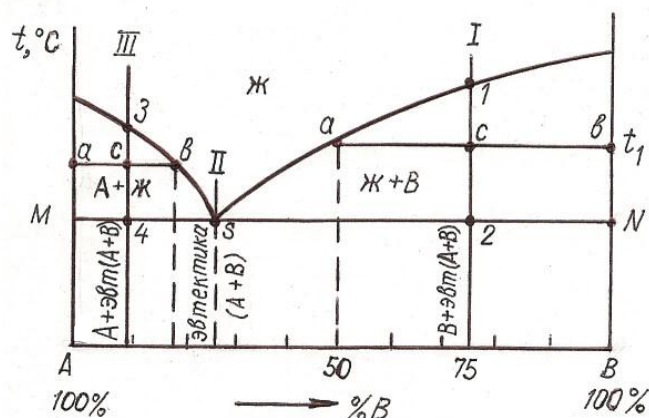


Рис. 7. Диаграмма состояния I типа с демонстрацией правила отрезков

Концы коноды **аб** указывают, что в данной двухфазной области находятся: жидкость состава **a** и кристаллы компонента В (100 % В). Количественное соотношение жидкой и твердой фазы при температуре t_1 можно определить, используя правило отрезков. Для этого составляем пропорцию: конода **аб** соответствует количеству всего сплава – 100 %; количеству твердой фазы (кристаллов В) соответствует отрезок, прилежащий к противоположной фазе, т.е. отрезок **ac**:

$$ab - 100 \% ; ac - Q_B ;$$

$$Q_B = \frac{ac \cdot 100\%}{ab} = \frac{25 \cdot 100\%}{50} = 50\% .$$

Значит, 50 % сплава затвердело.

Разберем, пользуясь правилом отрезков, диаграмму состояния I типа. Сначала рассмотрим кристаллизацию сплава II (рис. 7). В критической т. S из жидкого расплава начинают выделяться сразу два типа кристаллов – А и В (концы коноды MN упираются в эти фазы). Механическая смесь двух кристаллов, образуемая при постоянной температуре, является эвтектикой. Таким образом, в т. S вся жидкость превращается в эвтектику (при постоянной температуре). Кривая охлаждения этого сплава представлена на рис. 8.

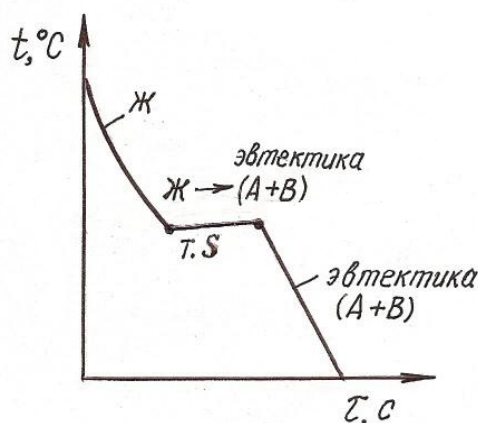


Рис. 8. Кривая кристаллизации сплава II
(эвтектического)

Разберем кристаллизацию сплава I (заэвтектического). В критической точке 1 (см. рис. 7) из жидкого расплава начинают выделяться кристаллы компонента В. При охлаждении от т. 1 до т. 2 состав жидкой фазы изменяется по кривой 1–S. При подходе к критической т. 2 количество незатвердевшего сплава (жидкости) соответствует отрезку 2–N, а количество твердой фазы (кристаллов В) – отрезку 2–S. Состав жидкой фазы соответствует т. S – эвтектической. Таким образом, в т. 2 происходит затвердевание жидкости эвтектического состава с образованием эвтектики (А + В). Ниже т. 2 сплав состоит из смеси кристаллов В + эвтектика (А +

В). Таким же образом разберем кристаллизацию сплава III (доэвтектического). Конец коноды **q** (рис. 9) показывает, что в т. **3** из жидкости начинают выделяться кристаллы компонента А. Состав жидкой фазы при охлаждении от т. **3** до т. **4** изменяется по кривой **3-S**. В т. **3** оставшаяся жидкость, приняв эвтектический состав, превратится в эвтектику (А + В).

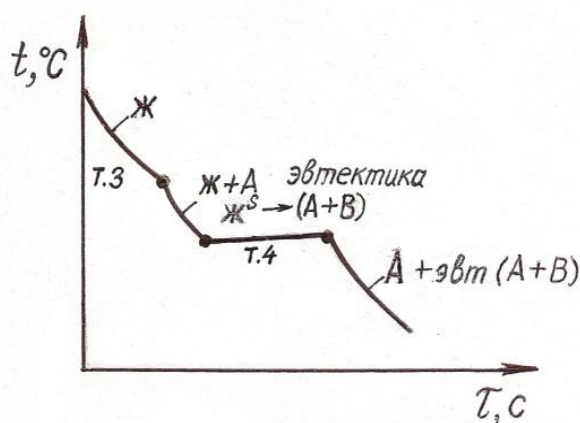


Рис. 9. Кривая охлаждения сплава III (доэвтектического)

Диаграмма состояния II типа – случай неограниченной растворимости компонентов друг в друге (рис. 10).

Оба компонента неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях и не образуют химических соединений.

Компоненты – А и В, фазы – жидкость, твердый раствор α .

Неограниченная растворимость будет иметь место при следующих условиях:

- 1) компоненты имеют один тип кристаллической решетки (изоморфны) с небольшим различием в параметрах;
- 2) компоненты находятся близко в таблице Менделеева и имеют близкие атомные размеры.

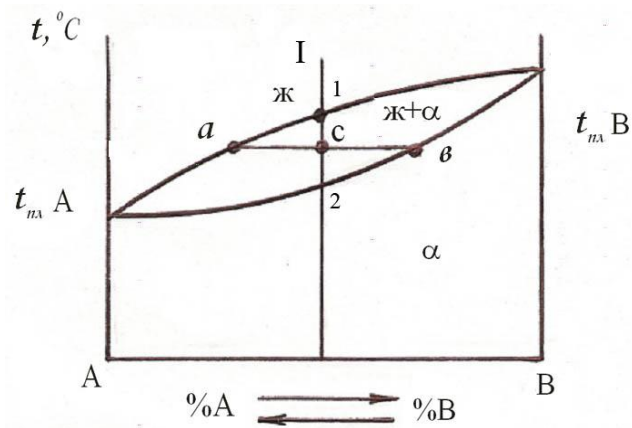


Рис. 10. Диаграмма состояния II типа

В этом случае атомы как бы взаимозаменяемы в кристаллической решетке. Заменяя атомы одного компонента на атомы другого в кристаллической решетке получают непрерывный ряд твердых растворов. Когда будут заменены все атомы первого компонента, получится чистый второй компонент. Твердые растворы, как уже упоминалось, обозначают α , β , γ и т.д. (см. рис. 10). Выше линии ликвидус – жидкость, ниже линии солидус – твердый раствор α . Между линиями ликвидус и солидус – двухфазная область, состоящая из $ж + \alpha$ (смотри концы коноды ab). Количество жидкой фазы в сплаве I при температуре в $t. c$ соответствует отрезку $c-b$. При снижении температуры до $t. 2$ отрезок $c-b$ обращается в ноль, следовательно, при подходе к линии солидус затвердевают остатки жидкости. Кривая кристаллизации твердого раствора не имеет ступенек (рис. 11).

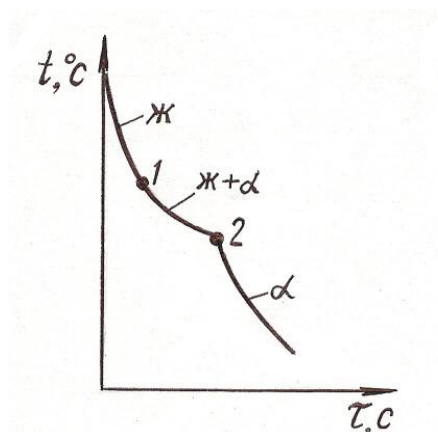


Рис. 11. Кривая охлаждения сплава 1 на диаграмме состояния II типа

Диаграмма состояния III типа – случай ограниченной растворимости компонентов.

Оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограничено в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Компоненты – А и В, фазы – жидкость, твердый раствор α , твердый раствор β .

Случаи неограниченной растворимости очень редки, чаще встречается ограниченная растворимость. На том месте диаграммы, где есть растворимость, будет участок диаграммы состояния II типа.

Существует несколько вариантов диаграмм состояния III типа.

Первый вариант приведен на рис. 12.

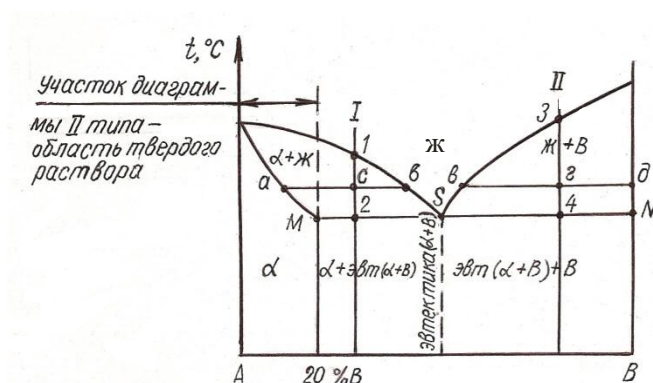


Рис. 12. Диаграмма состояния III типа с не изменяющейся растворимостью

На том участке, где имеет место диаграмма состояния II типа (указан на рис. 12), будет происходить кристаллизация твердого раствора α . В т. S в сплаве кристаллизуется эвтектика, которая состоит из кристаллов α и В (на эти фазы указывают концы коноды MN).

При кристаллизации сплава I в т. 1 (см. рис. 12) из жидкости начинают выделяться кристаллы твердого раствора α . При охлаждении до т. 2 состав жидкой фазы изменяется по кривой 1–S, в т. 2 оставшаяся жидкость состава т. S превращается в эвтектику ($\alpha + B$).

Кристаллизация сплава II начинается в т. 3 с выделением кристаллов В. Оставшаяся жидкость в т. 4, приняв состав т. S, превращается в эвтектику ($\alpha + B$).

Второй вариант диаграммы III типа приведен на рис. 13.

В первом варианте растворимость составляет 20 % и не изменяется с повышением температуры, во втором – растворимость повышается с возрастанием температуры в зависимости от содержания компонента В (от 10 до 30 %).

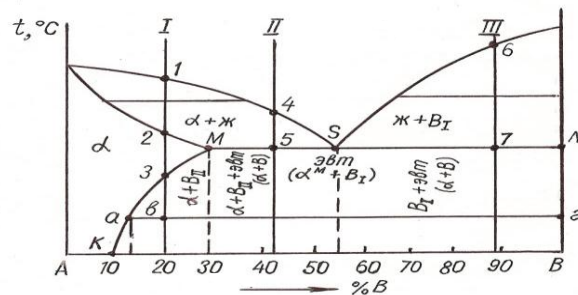


Рис. 13. Диаграмма состояния III типа с изменяющейся растворимостью

Разберем кристаллизацию сплава, содержащего 20 % В. Выше линии ликвидус на диаграмме находится область расплава – жидкость. На участке диаграммы, где линии ликвидус и солидус образуют часть диаграммы II типа, кристаллизуется твердый раствор α . Между т. 1 и 2, исходя из правила отрезков, находится $\alpha + ж$. В т. 2 жидкость закристаллизовывается в α , который содержит 20 % В. Ниже т. 3 растворимость компонента В в растворе α снижается. Значит, ниже т. 3 из раствора α должна выделяться фаза, богатая компонентом В. Эту фазу определяем, пользуясь правилом отрезков. Конец коноды 2 показывает, что в т. 6 существуют зерна V_{II} . Кристаллы V_{II} называют вторичными, т.к. они выделяются из α -раствора. В отличие от V_{II} кристаллы V_I выделяются из жидкой фазы.

Рассмотрим кристаллизацию эвтектического сплава (56 % В). В т. S жидкость кристаллизуется при постоянной температуре с получением эвтектики ($\alpha + V_I$) – см. коноду MN. Ниже т. S состав кристаллов α изменяется, т.к. растворимость падает, и из α -раствора выделяются кристаллы V_{II} (обычно в виде сетки по границам зерен α -раствора). Таким образом, при комнатной температуре сплав будет состоять из $\alpha + V_{II} + V_I$, т.е. из α , содержащего 10 % V_{II} , и кристаллов V_I .

При кристаллизации доэвтектического сплава II в т. 4 из жидкости начинают выделяться кристаллы α -раствора. В т. 5 оставшаяся жидкость кристаллизуется с образованием эвтектики. В результате после затвердевания в т. 5 сплав включает в себя $\alpha^M + \text{эвт} (\alpha^M + V_I)$. С понижением температуры из α -раствора (состав т. M – 30 %) начинают выделяться кристаллы V_{II} . При комнатной температуре сплав состоит из $\alpha + \text{эвт} (\alpha + V_{II} + V_I)$. Кристаллизация сплава III: в т. 6 из жидкости начинают выделяться

кристаллы V_I . В т. 7 оставшаяся жидкость состава т. S кристаллизуется в эвтектику. Ниже т. 7 сплав состоит из $V_I + \text{эвт} (\alpha + V_{II} + V_I)$.

Третий вариант диаграммы состояния III типа представлен на рис. 14, а, б.

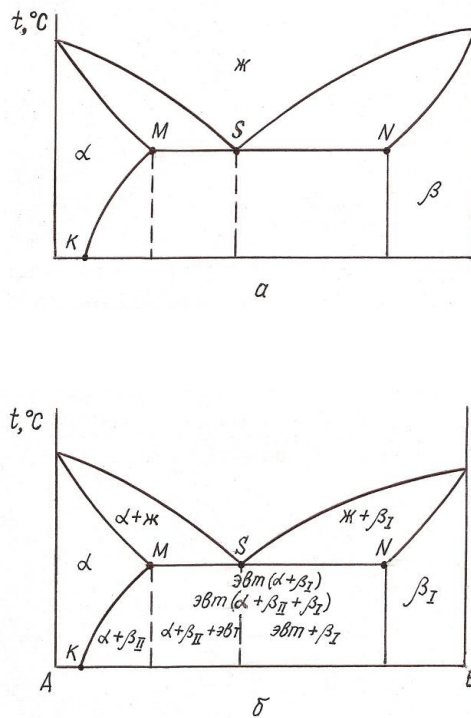


Рис. 14. Диаграмма состояния III типа:

а – заполнены только однофазные области;

б – заполнены одно- и двухфазные области

Заполняем диаграмму, начиная с однофазных областей: α – раствор В в А; β – раствор А в В и жидкость. Остальные области двухфазные, поэтому заполняем их, пользуясь правилом отрезков (рис. 14, б): в т. S образуется эвтектика из $\alpha^M + \beta^N_I$.

С понижением температуры из α -раствора выделяются кристаллы β_{II} , т.к. растворимость падает по кривой МК. Заполненная диаграмма представлена на рис. 14, б.

Диаграмма состояния IV типа – случай устойчивого химического соединения.

В ряде случаев при определенном содержании компонентов может образовываться химическое соединение A_nB_m .

Если компоненты вступают в химическое соединение, то на диаграмме появляется новое вещество и диаграмма разбивается на две (рис. 15). На каждом из этих участков могут быть диаграммы I, II или III типа. Например, один из вариантов диаграммы IV типа представлен на рис. 16.

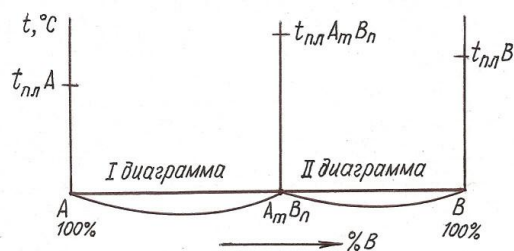


Рис. 15. Начало построения диаграммы IV типа

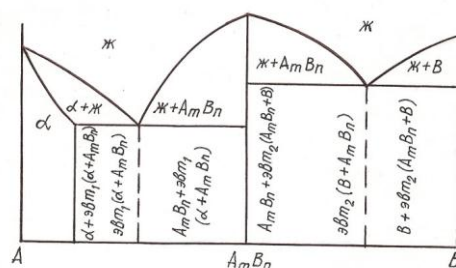


Рис. 16. Диаграмма IV типа

Сначала заполняем однофазные области (ж) и (α), затем определяем эвтектики (эвт 1 и эвт 2). Остальные области заполняем, пользуясь правилом отрезков.

3. СВЯЗЬ МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ СПЛАВОВ И ТИПОМ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ (ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ ЗАКОН Н.С. КУРНАКОВА)

Свойства сплавов зависят от структуры. О структуре сплавов можно судить по диаграмме состояния. Русский ученый Н.С. Курнаков установил связь свойств сплавов с диаграммой состояния. На рис. 17 приведены 4 основных типа диаграмм и соответствующие им диаграммы состав – свойства.

Рассмотрим несколько характерных случаев:

1. Если при кристаллизации сплавов системы (А + В) образуется механическая смесь компонентов, то свойства сплавов с изменением состава изменяются по закону прямой линии (аддитивно). Новых свойств, отсутствующих у чистых компонентов, в этом случае получить нельзя. Например, если у компонента А прочность НВ 80, а у компонента В – НВ 250, то можно определить прочность любого сплава – рис. 17.

Возьмем сплав 30 % А + 70 % В и определим по диаграмме его твердость, которая составит НВ 200 (рис. 18).

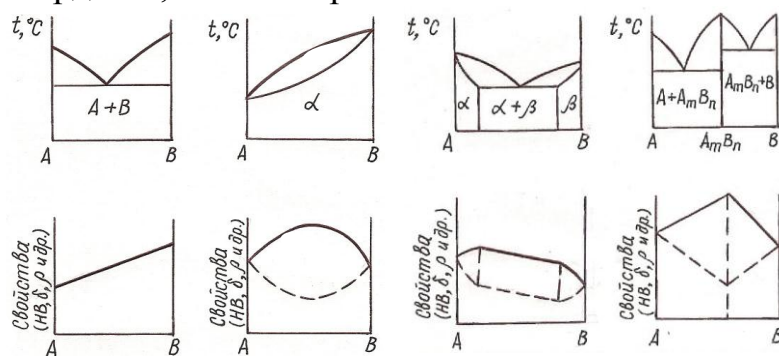


Рис. 17. Диаграммы состояния и соответствующие им диаграммы состав – свойства (по Н.С. Курнакову)

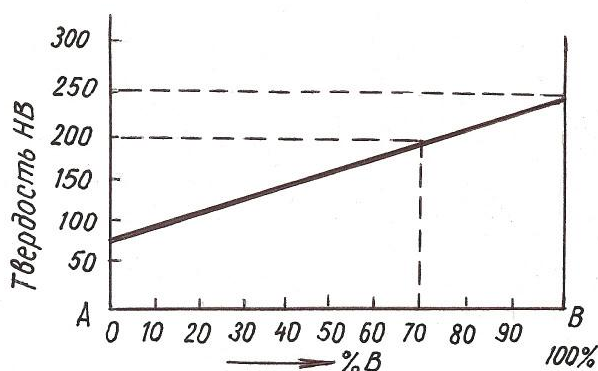


Рис. 18. Зависимость твердости сплавов от состава (в случае образования механической смеси компонентов)

2. Если при кристаллизации сплавов системы (А + В) образуются твердые растворы (неограниченная растворимость), то свойства изменяются по криволинейному закону с максимумом или минимумом (см. диаграмму II типа на рис. 17). В системе этих сплавов можно получить новые свойства, отсутствующие у чистых компонентов. Через максимум проходят такие свойства, как твердость, прочность, электросопротивление и др., а через минимум – пластичность, вязкость, электропроводность и т.д.

3. Если при кристаллизации сплавов системы (А + В) каждый компонент ограниченно растворяется в другом (диаграмма III типа), то в той части, где имеют место однофазные области твердых растворов, свойства изменяются по закону кривой линии. В той части, где сплавы состоят из смеси твердых растворов, свойства изменяются аддитивно (см. диаграмму III типа на рис. 17).

4. Если компоненты при кристаллизации сплава образуют химическое соединение, то составу химического соединения A_mB_n соответствует ярко выраженный максимум или минимум на кривой изменения свойств (см. диаграмму IV типа на рис. 17). Эта точка перелома называется сингулярной точкой. Таким образом, в случае образования химического

соединения получается как бы новое вещество, совершенно не похожее по свойствам на компоненты, из которых оно состоит.

Знание перечисленных закономерностей облегчает создание сплавов с заданными свойствами. Кроме того, использование этих закономерностей облегчает построение диаграмм состояния для неизученных систем, так как, зная характер изменения свойств при изменении состава, можно установить, в какое взаимодействие вступают компоненты.

Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете виды взаимодействия компонентов в сплавах?
2. Как взаимодействуют компоненты при образовании механической смеси?
3. Как взаимодействуют компоненты при образовании твердого раствора?
4. Как взаимодействуют компоненты при образовании химического соединения?
5. Какие виды твердых растворов вы знаете?
6. Что такое эвтектика?
7. Изобразите диаграмму первого типа и объясните на ней правило отрезков.
8. Изобразите диаграмму третьего типа с неизменяющейся ограниченной растворимостью.
9. Изобразите диаграмму третьего типа с изменяющейся ограниченной растворимостью.
10. Изобразите диаграмму четвертого типа.
11. Как изменяются свойства при образовании диаграммы первого типа?
12. Как изменяются свойства при образовании диаграммы второго типа?
13. Как изменяются свойства при образовании диаграммы третьего типа?
14. Как изменяются свойства при образовании диаграммы четвертого типа?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуляев, А. П.* Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.
2. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем : в 3 т. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1996–1997.
4. *Травин, О. В.* Материаловедение / О. В. Травин, Н. Т. Травина. – М. : Металлургия, 1989. – 384 с.
5. Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.]; МГТУ им Н.Э. Баумана. – М., 2002. – 648 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды взаимодействия компонентов в сплавах.....	3
2. Простейшие типы диаграмм состояния сплавов.....	4
3. Связь между свойствами сплавов и типами диаграмм состояния...	12
Контрольные вопросы.....	13
Список литературы.....	14

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Изучение микроструктуры сплавов

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Направление подготовки

35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Изучение микроструктуры сплавов на основе железа: Методические указания по выполнению лабораторных работ/ Сост. : А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В.Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 22 с.

Методические указания по выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой дисциплины и предназначены для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. В методических указаниях занятий по курсу «Материаловедение», изложено содержание лабораторных работ, приведены краткие теоретические сведения; даны объем и порядок выполнения работ, а также методические указания по выполнению и составлению отчетов и организации работы в лаборатории. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ Fe-Fe₃C.
МИКРОАНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Основные положения

Стали и чугуны - это сплавы железа с углеродом, причем в стали содержание углерода не превышает обычно 2%, а чугуны имеют от 2 до 5%.

Железо - металл, обладающий интересным свойством - аллотропией. С изменением температуры в твердом состоянии происходит самопроизвольная перестройка кристаллической решетки. При аллотропическом превращении резко изменяются свойства железа (механические, физические, технологические). От комнатной до 911 °С железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку - ОЦК (рис. 3) с параметром a , равным 2,88 Å. Железо, имеющее такое кристаллическое строение, обозначается Fe_α. При температуре 911 °С ОЦК решетки перестраивается в гранецентрированную кубическую решетку (ГНК) - такое железо называется Fe_γ, с параметром a = 3,64 Å (рис. 1).

Углерод по-разному растворяется в α - Fe и в γ - Fe. В Fe углерод теоретически раствориться не может, так как пора в кристаллической решетке Fe_α слишком мала (углерод дает твердые растворы внедрения). Но из-за наличия дефектов кристаллического строения растворимость наблюдается, но очень маленькая.

Твердый раствор углерода в Fe_α называется ферритом. При 0 °С в феррите растворяется 0,006-0,008% С; с повышением температуры растворимость увеличивается. Наибольшая растворимость наблюдается при температуре 727 °С и составляет 0,02% С. Феррит мягкий (НВ = 80-90), пластичный (δ = 50%, ψ = 70-80%), вязкий (a_H = 25 кгм/см²), сравнительно непрочный (предел прочности при растяжении σ_B = 25 кгс/мм²).

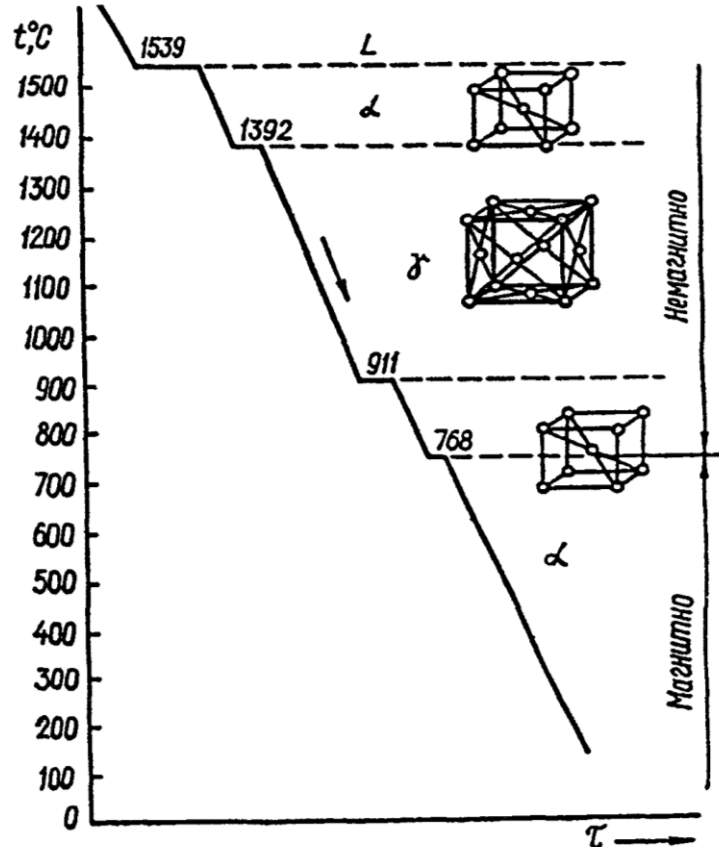


Рис. 1. Кривая охлаждения железа

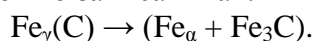
Твердый раствор углерода в Fe_γ называется аустенитом. Межатомные поры в решетке (ГЦК) Fe_γ в 2 раза больше, чем в решетке Fe_α (ОЦК), поэтому растворимость углерода в аустените достаточно велика, причем изменяется с повышением температуры. Наибольшая растворимость - 2,14% С наблюдается при температуре 1147°. С понижением температуры растворимость уменьшается и при температуре 727 °С составляет 0,8% С. Аустенит обладает очень высокой пластичностью, вязкостью, невысоким, пределом текучести, поэтому сталь в аустенитном состоянии хорошо куется, штампуется. Твердость аустенита несколько выше, чем у феррита (НВ 160-200).

Аустенит в железо-углеродистых нелегированных сплавах - высоко-температурная фаза. Связано это с тем, что Fe неустойчиво при пониженных температурах. Углерод является стабилизатором Fe_γ, но даже при максимальном растворении γ углерода - железо неустойчиво ниже температуры 727°, поэтому ниже этой температуры аустенита не наблюдается.

Железо с углеродом вступает также и в химическое взаимодействие, в результате получается карбид железа - цементит Fe₃C, содержащий 6,67% С. Он очень хрупок, тверд (НВ = 800), температура плавления 1660 °С. Цементит, выделяющийся из жидкости при первичной кристаллизации, называется первичным (Ц_I); Ц_I выделяется из аустенита при вторичной кристаллизации, когда растворимость углерода в Fe_γ уменьшается с понижением температуры; из феррита выделяется Ц_{III} также при уменьшении растворимости.

В чугунах при охлаждении расплава наблюдается эвтектическое превращение. Чистая эвтектика получается при температуре 1147 °С и концентрации углерода 4,3%. При этих условиях из жидкого расплава одновременно выделяются кристаллы аустенита и цементита первичного. Полученная измельченная механическая смесь аустенита и цементита (эвтектика) названа *ледебуритом*.

В твердом состоянии в железо-углеродистых сплавах наблюдается эвтектоидное превращение. В сплаве с содержанием углерода 0,6% при охлаждении из аустенитного состояния, (температура превращения 727 °С) получается чистая эвтектоидная смесь - перлит, который представляет собой мелкую смесь феррита и цементита. Это превращение связано с аллотропическим превращением железа Fe_γ в Fe_α. При изменении кристаллической решетки резко падает растворимость углерода в железе, поэтому углерод выделяется из твердого раствора, но не в чистом виде, а в химически связанном состоянии (Ц_{II}). Эвтектоидное превращение можно записать так:



аустенит феррит цементит

Включения, цементита могут быть пластинчатыми, и зернистыми, мелкими и крупным. Форма и размер цементитных включений оказывают большое влияние на механические свойства перлита: пластичность выше, а прочность и твердость несколько ниже у зернистого перлита по сравнению с пластинчатым. Измельченность цементитных включений как в зернистом, так и пластинчатом перлите приводит к повышению прочности и твердости. Таким образом, механические свойства перлита могут колебаться в широких пределах: δ от 15 до 20%, σ_в от 55 до 80 кгс/мм², НВ от 150 до 250, причем большим показателям твердости и прочности соответствует пониженная пластичность.

Ледебуритная эвтектика, состоящая при высокой температуре из аустенита и цементита, при охлаждении ниже 727 °С испытывает превращение: аустенит ледебурита превращается в перлит. Превращенный ледебурит - смесь цементита и перлита, причем основу составляет цементит, а перлит располагается в виде стерженьков. Механические свойства ледебурита близки к свойствам цементита: он очень тверд и хрупок.

Диаграмма железо - углерод (точнее, железо - цементит) представлена на рис. 2. Это диаграмма равновесия, т. е. фазы, структуры, критические точки, нанесенные на эту диаграмму, наблюдаются в сталях и чугунах в условиях очень медленного охлаждения (или нагревания), когда процессы, приводящие к минимальному запасу

свободной энергии, не затормаживаются и идут до конца. Равновесные структуры, как правило, мягче, пластичнее, но менее прочны, чем неравновесные. Критические точки в сплавах - это температуры, при которых наблюдается какое-либо превращение. Линии диаграммы составлены из критических точек.

Рассмотрим на диаграмме, какие превращения протекают в сталях и чугунах при очень медленном охлаждении из расплавленного состояния. Диаграмма состоит как бы из двух частей - стальная часть до 2,14% углерода, а остальная часть - чугунная.

Линия AC (ликвидус) - означает начало первичной кристаллизации, при этом из жидкого расплава начинают выделяться кристаллы аустенита.

Линия AE - конец кристаллизации аустенита (линия солидус).

Линия CD (также линия ликвидус) - начало кристаллизации C_I из жидкости.

Линия ECF - эвтектическая линия. Жидкость, не затвердевшая до этой температуры, будет превращаться при 1147 °С в эвтектику - ледебурит.

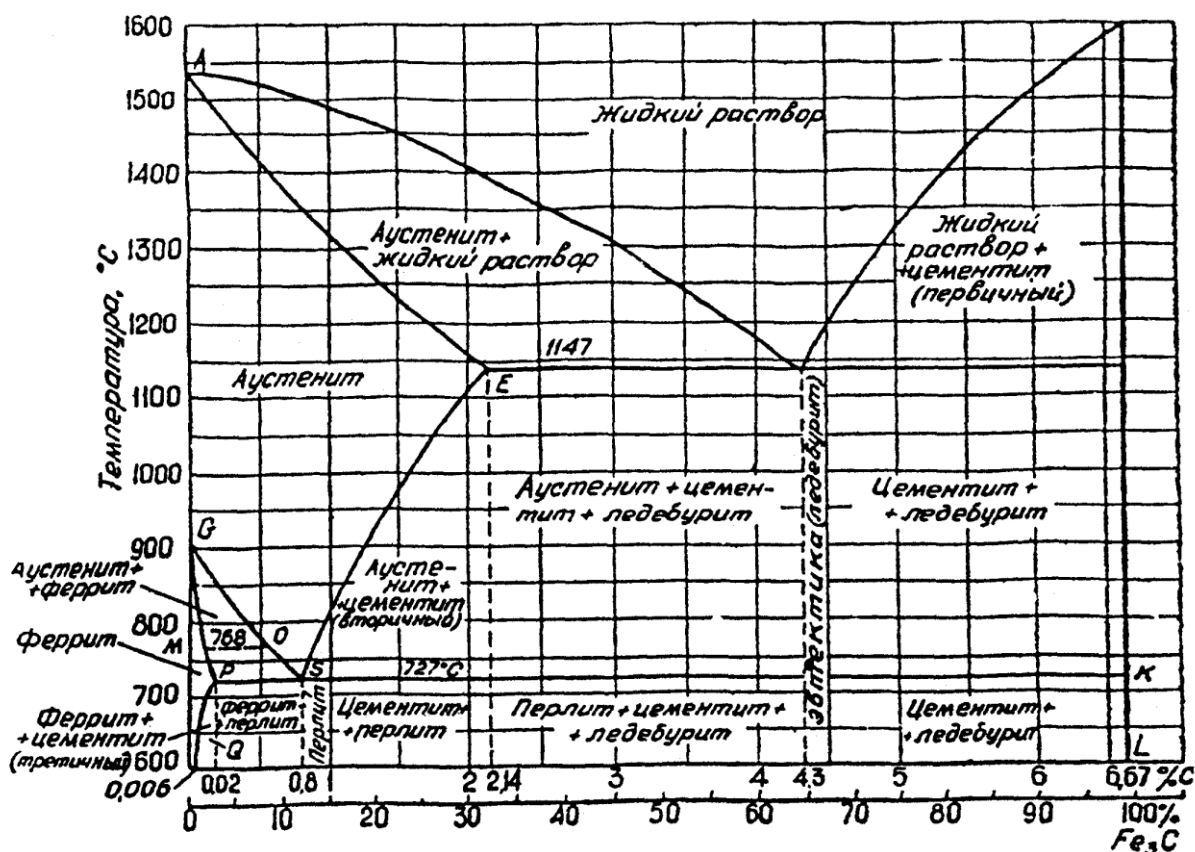


Рис. 2. Упрощенная диаграмма Fe - Fe₃C

Линия ES - линия ограничения растворимости углерода в аустените, ниже нее из аустенита выделяется избыток углерода в виде C_II .

Линия GS - начало аллотропического превращения Fe_γ в Fe_α (начало выделения феррита из аустенита).

Линия PSK - проходит через всю диаграмму, это линия эвтектоидного превращения аустенита в перлит. Ниже этой линии в равновесных условиях нельзя наблюдать аустенита, а выше этой линии - перлита.

В зависимости от структуры стали чугуны подразделяются на следующие группы.

Стали:

- доэвтектоидные (до 0,8% C);
- эвтектоидные (0,8% C);
- заэвтектоидные (свыше 0,8% C).

Чугуны:

- а) доэвтектические (до 4,8% С);
- б) эвтектические (4,3% С);
- в) заэвтектические (свыше 4,3%С).

Изучение микроструктуры стали в равновесном состоянии.

Феррит под микроскопом выглядит как светлые зерна, обычно полиэдрической формы (рис. 3). Игольчатый феррит может появиться в перегретой стали, такая структура более хрупкая, поэтому нежелательна и устраняется термообработкой. Цементит при травлении раствором азотной кислоты - также светлый, но блестящий, в стали располагается по границам зерен, а в чугунах выглядит в виде светлых полей. Пластинчатый перлит под микроскопом темный, так как состоит из выступающих в результате травления пластинок цементита и находящихся в углублениях между ними, а поэтому затененных пластинок феррита. В эвтектоидной или заэвтектондной сталях под оптическим микроскопом даже при небольших увеличениях хорошо видна пластинчатая структура перлита (рис. 4). Зернистый перлит выглядит светлым, т. к. зерна цементита не создают такой тени после травления, как пластинки.

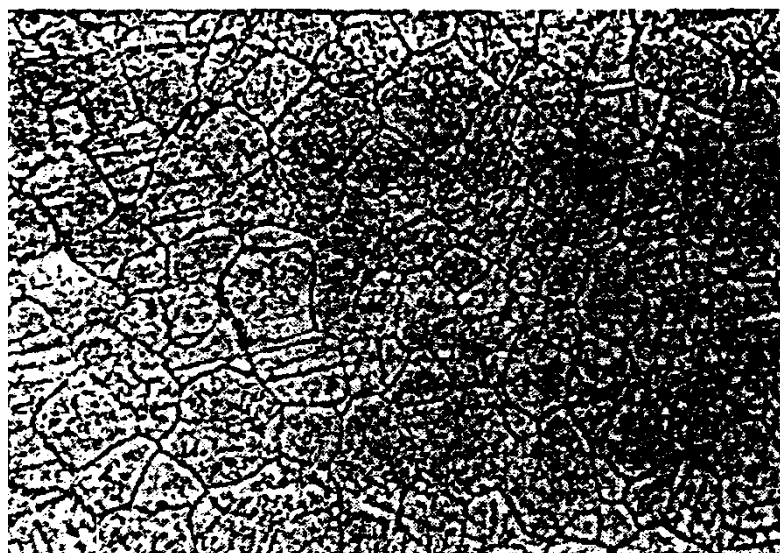


Рис.3. Феррит (X450)

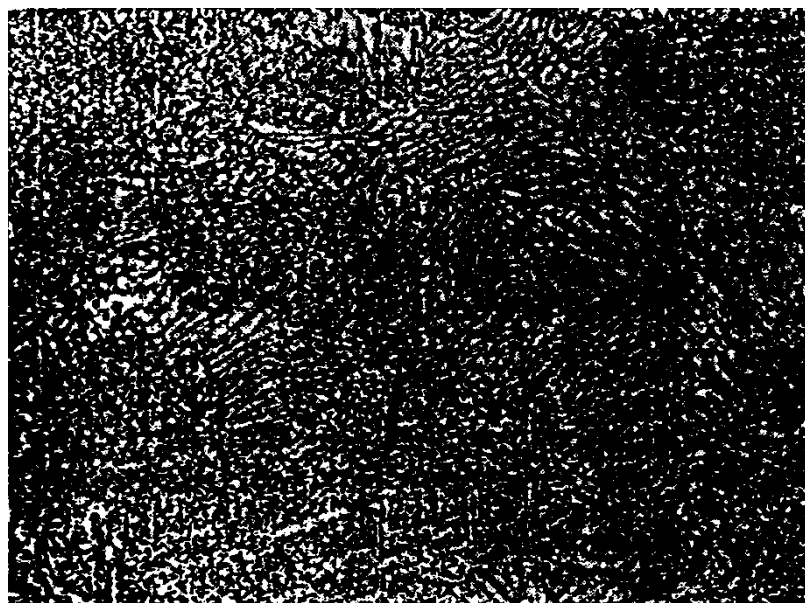


Рис. 4. Пластинчатый перлит (X800)

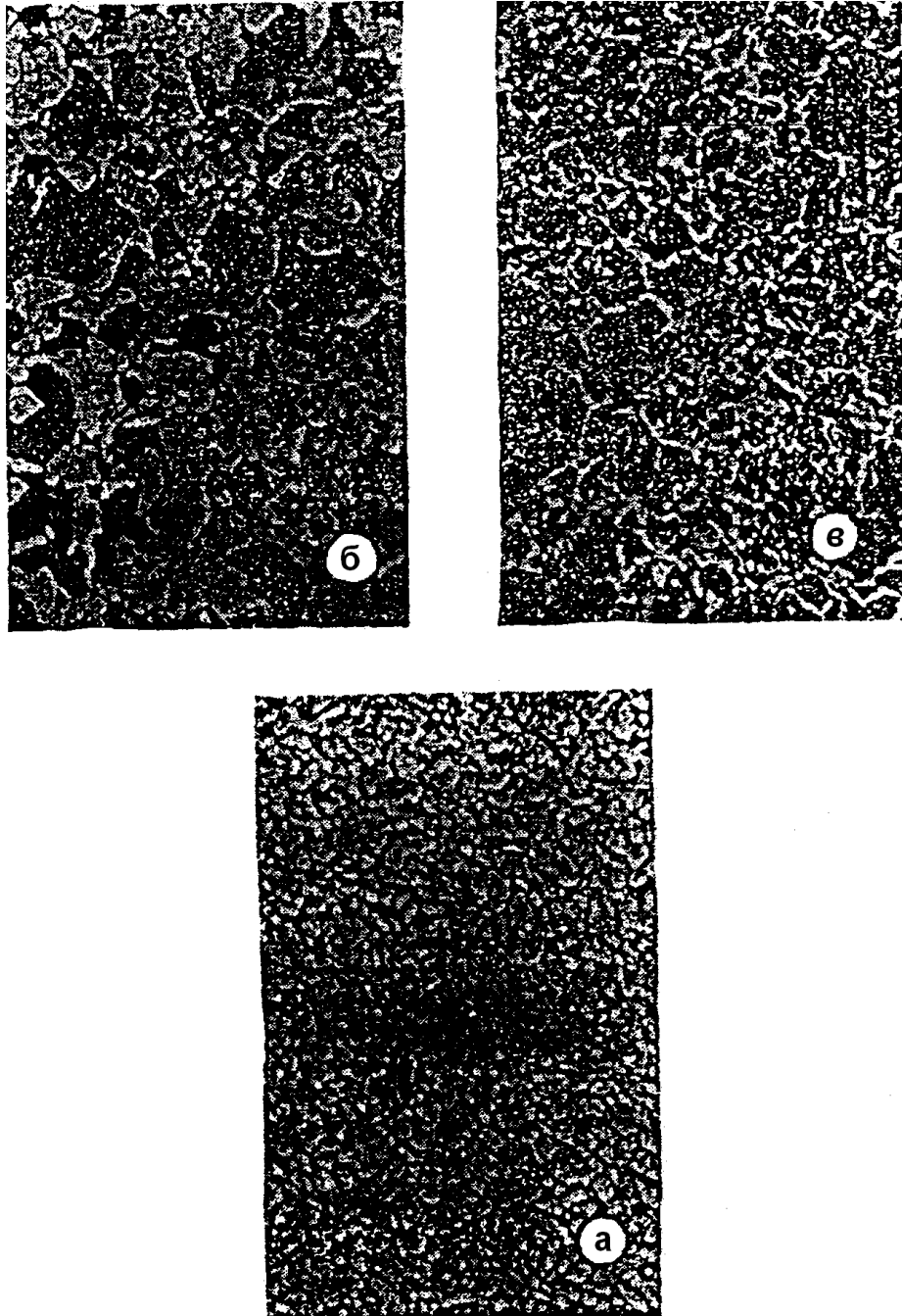


Рис.5. Микроструктура доэвтектоидной стали (X300):
а) сталь с 0,25% С; б) сталь с 0,45% С; в) сталь с 0,6% С

Структура доэвтектоидной стали показана на рис. 5. Чем больше в стали углерода, тем больше перлита.

В заэвтектоидной стали цементит в равновесной структуре располагается в виде сетки по границам зерен (рис. 6).

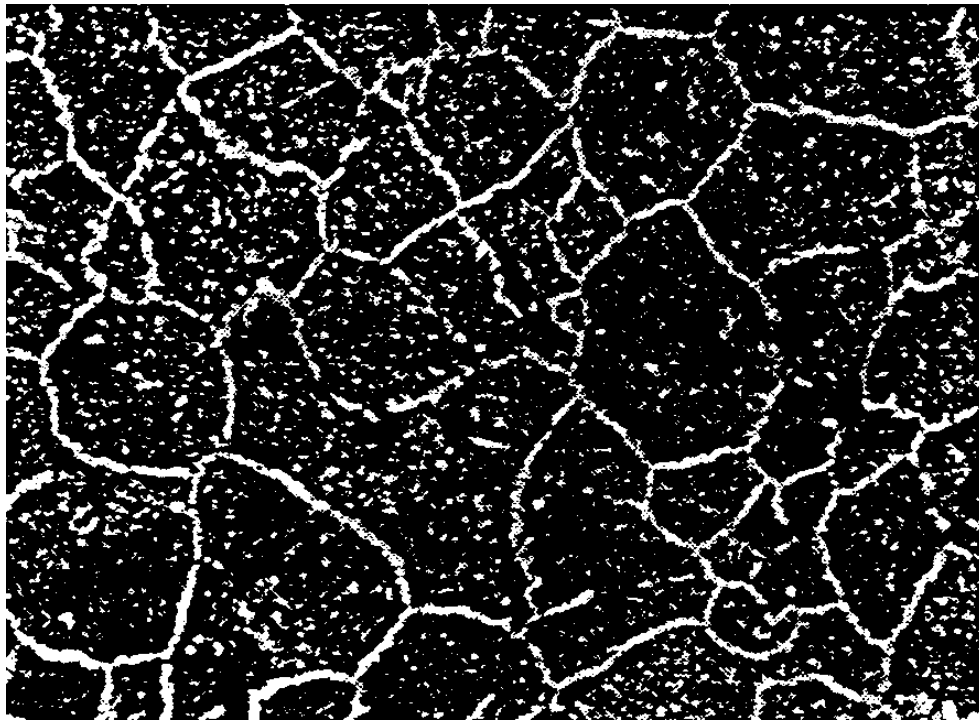


Рис. 6. Микроструктура заэвтектоидной стали (X300)

По качеству стали подразделяются на обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

Рассмотрим, как пример, качественные углеродистые стали. Эти стали имеют точный химический состав и пониженное содержание вредных примесей. По назначению они делятся на конструкционные (машиностроительные) и инструментальные. Конструкционные качественные стали изготавливаются следующих марок: 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 25кп, 30кп, 35кп, 40кп, 45кп, 50кп, 55кп, 60кп, 65кп, 70кп, 75кп, 80кп, 85кп (цифра означает сотые доли среднего процента углерода, кп - кипящая сталь, остальные - спокойные).

Инструментальные стали содержат повышенное количество углерода, в марке ставится буква «У» и цифра, означающая десятые доли среднего процента углерода: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Свыше 1,3% С нелегированные стали не выплавляют из-за сильного снижения механических свойств вследствие хрупкости. По микроструктуре можно определить процентное содержание углерода, что используется на практике. Например, если в структуре площадь феррита занимает 40%, а площадь перлита 60%, то можно составить такую пропорцию:

$$\begin{aligned} 100\% \text{ П} &- 0,8\% \text{ С} \\ 60\% \text{ П} &- x\% \text{ С} \\ x &= \frac{60 \cdot 0,8}{100} = 0,48\% \text{ С} \end{aligned}$$

Углеродом, содержащимся в феррите, пренебрегаем. Таким образом, весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите и составляет в нашем случае 0,48%. Если известно, что это сталь качественная, можно указать и марку стали - сталь 50. Для заэвтектоидной стали трудно определить площадь, занимаемую сеткой Ц_ц, поэтому возможна большая погрешность при определении процентного содержания углерода.

Задание и методические указания

1. Изучить фазы и структуры на диаграмме Fe-Fe₃C. Знать определения Ф, П, А, Ц, Л и их механические свойства.
2. Уметь по памяти чертить диаграмму Fe-Fe₃C, выучить условные обозначения линий диаграммы, температуры и концентрации основных линий и точек на диаграмме.

3. Уметь устно разбирать кристаллизацию из жидкого состояния до комнатной температуры любого сплава на диаграмме.
4. Изучить классификацию углеродистых сталей по структуре в отожженном состоянии, а также маркировку и классификацию качественных, углеродистых сталей.
5. Зарисовать в квадратах 40x40 мм² микроструктуру нескольких образцов качественной стали (схематично), указав увеличение микроскопа. На каждой микроструктуре указать стрелками структурные составляющие, а потом определить и подписать, к какой группе по структуре и назначению относится каждая сталь.
6. В образцах доэвтектоидной и эвтектоидной стали определить процентное содержание углерода и марку стали.
7. В эвтектоидной стали ориентировочно охарактеризовать структуру перлита.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие аллотропические модификации железа Вы знаете?
2. Что такое феррит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
3. Что такое аустенит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
4. Что такое цементит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
5. Что такое перлит? Сколько содержит углерода? Каковы его механические свойства?
6. Что такое ледебурит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
7. Уметь изображать на память диаграмму Fe-Fe₃C. Знать превращения, которые протекают на каждой линии диаграммы.
8. Как классифицируются углеродистые стали?
9. Как маркируются качественные углеродистые стали?
10. Уметь устно разбирать превращения в каждом сплаве по диаграмме.

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей и чугунов, с подготовленными микрошлифами.
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

РАБОТА № 2 МИКРОАНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, содержащие не менее 2% углерода. Углерод может быть в чугунах в свободном состоянии в виде так называемого графита или в связанном состоянии в виде цементита, т.е. карбида железа (Fe₃C). Возможно присутствие углерода в обеих разновидностях. Различают следующие виды чугунов: белые, серые, высокопрочные, ковкие. Названия белые и серые связаны с цветом излома отливки чугуна.

В белом чугуне весь углерод находится в связанном состоянии; т.е. в виде цементита, имеющего белый цвет. Кристаллизация белых чугунов идет в соответствии с диаграммой железо - цемент (в правой части, содержащей более 2% углерода). По микроструктуре различают белые, доэвтектические, эвтектические и заэвтектические чугуны. В доэвтектических чугунах на линии АС из жидкости выделяется аустенит, в результате дальнейшего охлаждения при постоянной эвтектической температуре 1147° оставшаяся

жидкость превращается в эвтектику, называемую ледебуритом. Последний состоит из аустенита и первичного цементита. При дальнейшем охлаждении (ниже 1147°) из аустенита, как свободного, так и входящего в ледебурит, выделяется вторичный цементит. При температуре 727°, содержание углерода в аустените снижается до 0,8%, и он превращается в перлит. Ниже 727° никаких структурных превращений уже не наблюдается. Таким образом, при нормальной температуре микроструктура доэвтектического чугуна состоит из вторичного цементита, перлита и ледебурита. Часто этот ледебурит называют превращенным. Дело в том, что в момент образования ледебурит состоит из аустенита и первичного цементита. После происходящих превращений микроструктура (ниже 727°) состоит из вторичного цементита, перлита и первичного цементита. Микроструктура эвтектического чугуна (4,3% углерода) состоит из превращенного ледебурита. Наконец, у заэвтектического чугуна (более 4,3% углерода) микроструктура содержит первичный цементит и превращенный ледебурит. Микроструктуры чугунов указанных трех типов представлены на рис. 8.

Белые чугуны отличаются высокой твердостью, и износоустойчивостью, но вместе с тем и большой хрупкостью. Отметим также очень плохую обрабатываемость резанием. Все эти качества связаны с присутствием большого количества цементита. Белые чугуны из-за указанных свойств имеют малое применение. В основном применяют только доэвтектический чугун, содержащий меньшие количества цементита, структура чугуна в отливках зависит в первую очередь от *химического состава* и *скорости кристаллизации*. Одни химические элементы способствуют выделению углерода в виде графита (графитизаторы, а другие - выделению углерода в виде цементита (отбеливающие). *Активные графитизаторы: Si, C, Cu, Al, Ni; отбеливающие элементы: Mn, S, Cr. Медленная скорость охлаждения при затвердевании отливки способствует процессу графитизации, а ускоренная приводит, к отбелу.* Чаще используют так называемые отбеленные отливки, у которых на определенную глубину с поверхности имеется структура белого чугуна, а сердцевина представляет собой серый чугун (в структуре наблюдается графит). Отливки из таких, чугунов отличаются меньшей хрупкостью, но их поверхность обладает повышенной твердостью и износоустойчивостью. Примером подобных чугунов являются чугуны для вагонных колес с отбеленным ободом, для лемехов плутов с отбеленным носом и лезвием, некоторых прокатных валков, мукомольных валков и т.д.

Отливки из белого чугуна могут быть также полуфабрикатом, из которых путем отжига (томления) получают ковкий чугун (см. ниже).

В *серых* чугунах углерод присутствует главным образом в свободном состоянии в виде графита.

В обычном сером чугуне этот графит имеет пластинчатую (чешуйчатую) форму, хорошо виден на нетравленном шлифе (рис. 9, а). После травления реактивом выявляется структура металлической основы. Она может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной (рис. 9 б, в, г). Другими словами, такие структуры соответствуют доэвтектоидной и эвтектоидной сталям. Другую часть структуры серого чугуна - графит - называют неметаллической частью. В ферритном чугуне весь углерод находится в виде графита. В других чугунах содержится углерод также и в виде цементита, входящего в перлит. Иногда серый чугун называют «смесью» стали и графита. Графит имеет почти нулевую прочность, поэтому пластинки графита играют роль надрезов, ослабляющих металлическую основу структуры.

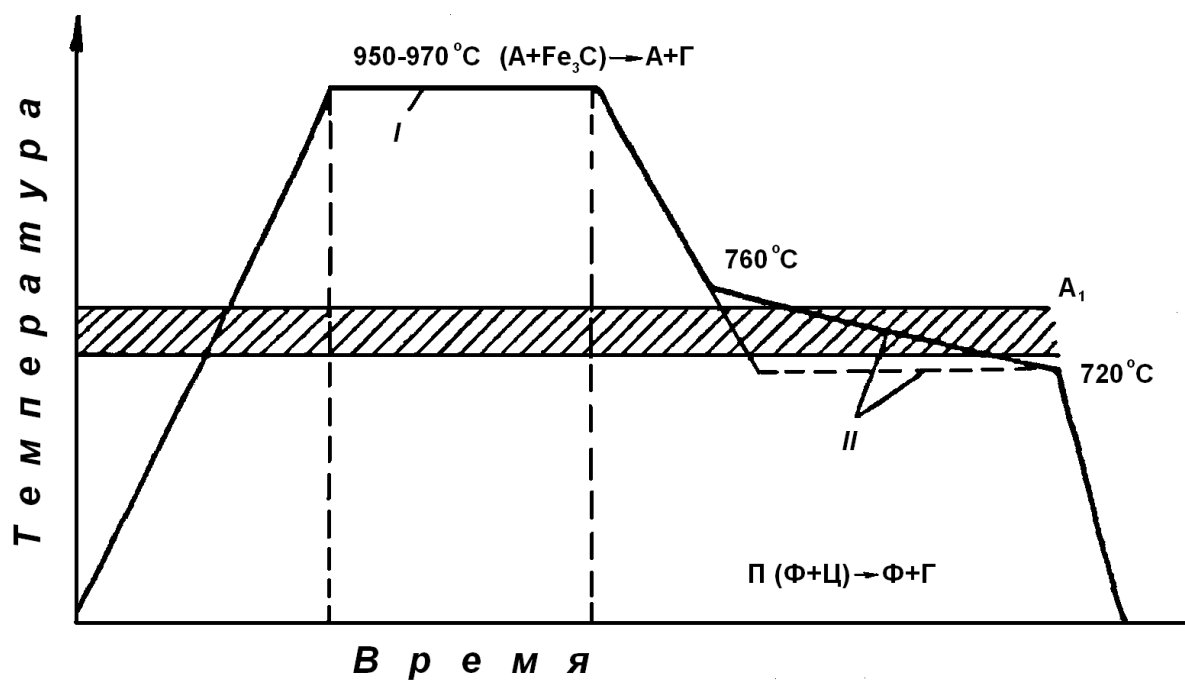


Рис. 7. Режим отжига ковкого чугуна

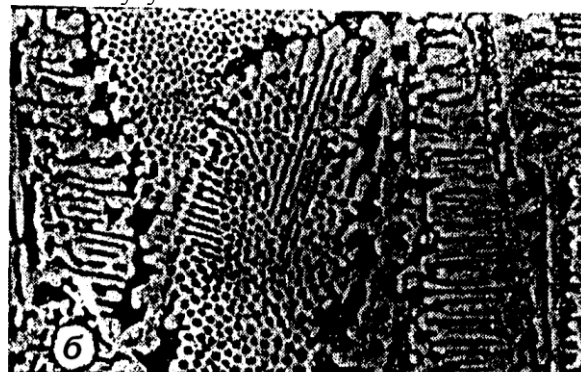
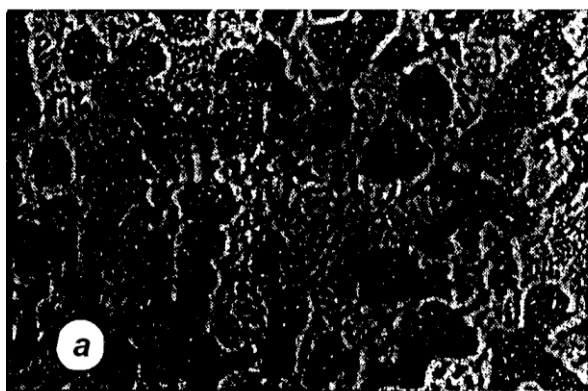


Рис. 8. Микроструктура белых чугунов: а) доэвтектический (П+Л+ЦII); б) эвтектический (ледобурит), X450; в) заэвтектический (Л+ЦI), X300

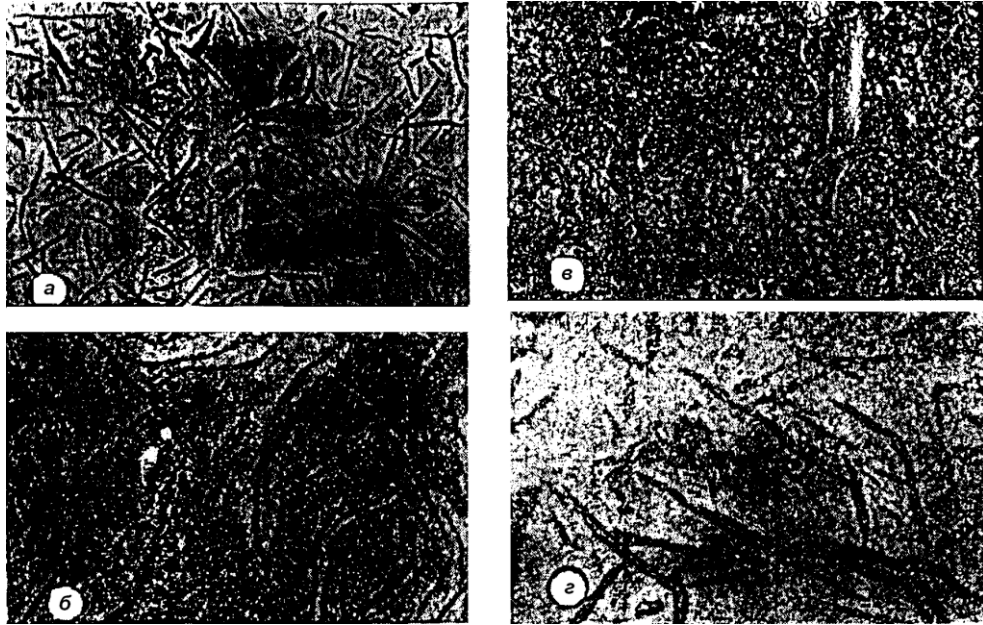


Рис. 9. Микроструктура серых чугунов: а) нетравленный (X100);
 б) травленный с феррито-перлитной металлической основой (X300);
 в) травленный с перлитной металлической основой (X300); г) травленный серый чугун с
 ферритной металлической основой (X300)

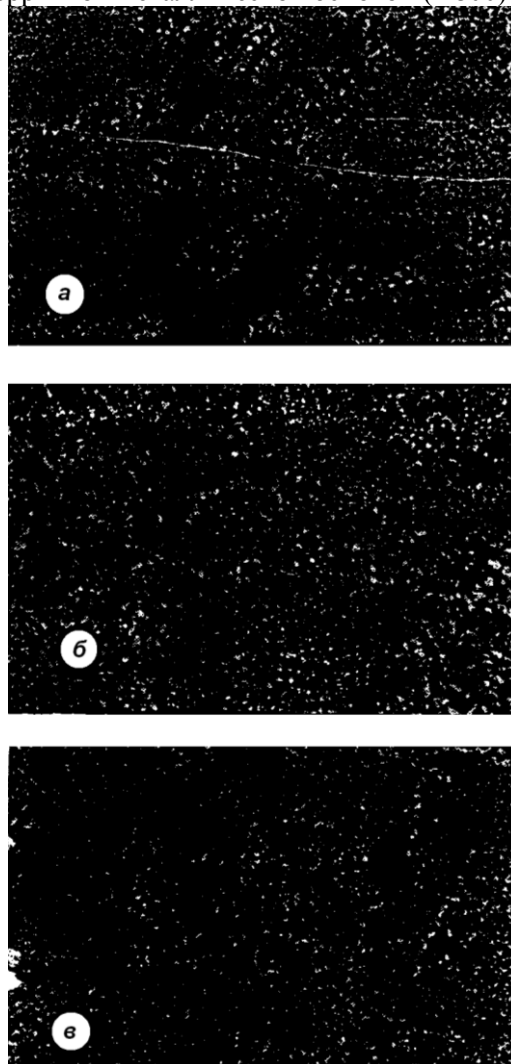


Рис. 10. Микроструктура ковких чугунов: а) нетравленный (X100);
 б) травленный с ферритной металлической основой (X100); в) травленный с феррито-перлитной
 металлической основой (X100)

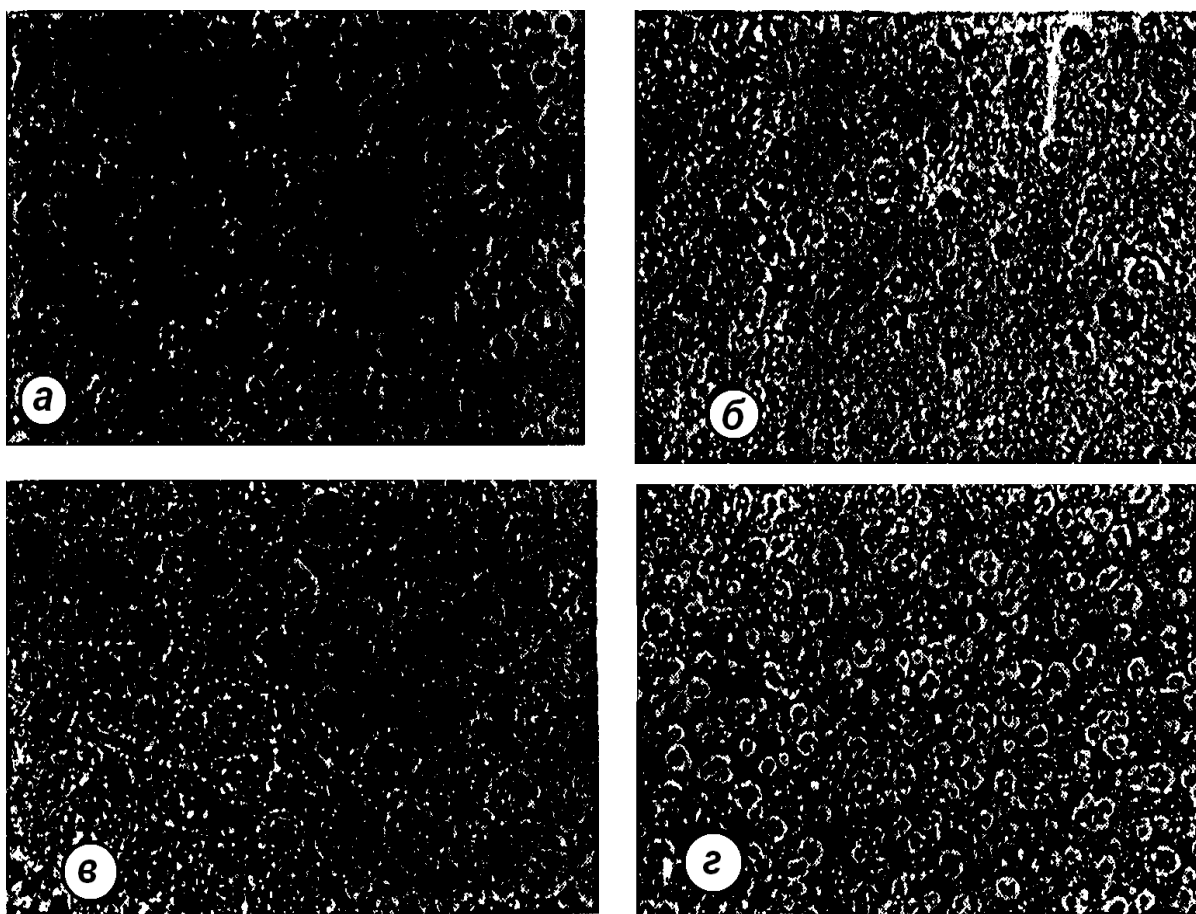


Рис. 11. Микроструктура высокопрочных чугунов: а) нетравленный иттриевый (X100); б) травленный иттриевый с ферритной металлической основой; в) травленный иттриевый с феррито-перлитной металлической основой (X200); г) травленный иттриевый с перлитной металлической основой (только глобулы графита окаймлены ферритом), X100

Наиболее прочен перлитный серый чугун, а относительно более пластичен ферритный. На свойства чугуна большое влияние оказывает не только количество графита, но и его размеры, форма и расположение. Кроме пластинчатого графита, находящегося в обычном чугуне, более благоприятны округлая и хлопьевидная формы (см. ниже «высокопрочные» и «ковкие» чугуны). В сером чугуне желательно, чтобы графит был мелкий (тонкий), равномерно распределенный. Нежелательно наличие скоплений и графитной сетки. В маркировке серых чугунов две цифры указывают предел прочности при растяжении в кгс/мм^2 (СЧ- σ_B), например, СЧ20. По механическим свойствам обыкновенные серые чугуны значительно уступают ковким и высокопрочным (см. ниже).

Ковкий чугун получается из белого путем отжига (томления). Режим отжига представлен на рис. 7. Для ковких чугунов характерна хлопьевидная форма графита. Различают по структуре металлической основы ковкие чугуны ферритные, феррито-перлитные и перлитные (рис. 10). Более пластичны ковкие чугуны ферритные, а более твердые, и прочные перлитные. Маркируются ковкие чугуны, например, так - КЧ37-12, где первые цифры указывают предел прочности при растяжении в кгс/мм^2 , а вторые - относительное удлинение в %.

Высокопрочный чугун получается путем модифицирования жидкого чугуна магнием (реже церием или иттрием). Высокопрочные чугуны имеют шаровидную (глобулярную) форму графита (рис. 11). Металлическая основа может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной. Принцип маркировки тот же, что и у ковкого чугуна, например, ВЧ60-2. Высокопрочные чугуны имеют наибольшую прочность среди всех чугунов.

Задание и методические указания

1. Просмотреть изломы и микрошлифы чугунов в нетравленном и травленном виде. Определить принадлежность чугунов к одному из классов (белые, серые, ковкие, высокопрочные). Сделать соответствующие зарисовки.
2. Начертить диаграмму железо-цементит. По данным микроисследования определить микроструктуру белых чугунов и отметить на оси абсцисс местоположение исследуемых сплавов. Проследить процесс кристаллизации.
3. По данным микроструктуры серых чугунов в нетравленном виде описать форму, величину и расположение графита. На тех же образцах после травления установить микроструктуру металлической основы и сделать заключение о принадлежности образцов к тому или иному классу (чугуны ферритные, феррито-перлитные, перлитные). Зарисовать структуру чугунов в травленном виде.
4. Рассмотреть структуру ковких чугунов на нетравленных и травленных шлифах. Определить принадлежность к определенной группе (ковкие ферритные, феррито-перлитные и перлитные). По диаграмме (рис. 9) указать режим отжига (томления) белых чугунов для получения рассматриваемых чугунов.
5. Так же, как и в п. 3 и 4 определить микроструктуру высокопрочного чугуна. Описать технологию изготовления.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Что такое ледебурит?
2. Как получают белый чугун и какова его структура?
3. Как получают серый чугун и какова его структура?
4. Каковы механические свойства графита?
5. Как форма, размеры и количество графитных включений влияют на свойства чугунов?
6. Как получают ковкий и высокопрочный чугун, какова структура этих чугунов?
7. Как маркируются чугуны?

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей и чугунов, с подготовленными микрошлифами.
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

РАБОТА № 3 СТРУКТУРА ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Сплавы на медной основе

К этим сплавам относятся латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди со всеми другими элементами, кроме цинка).

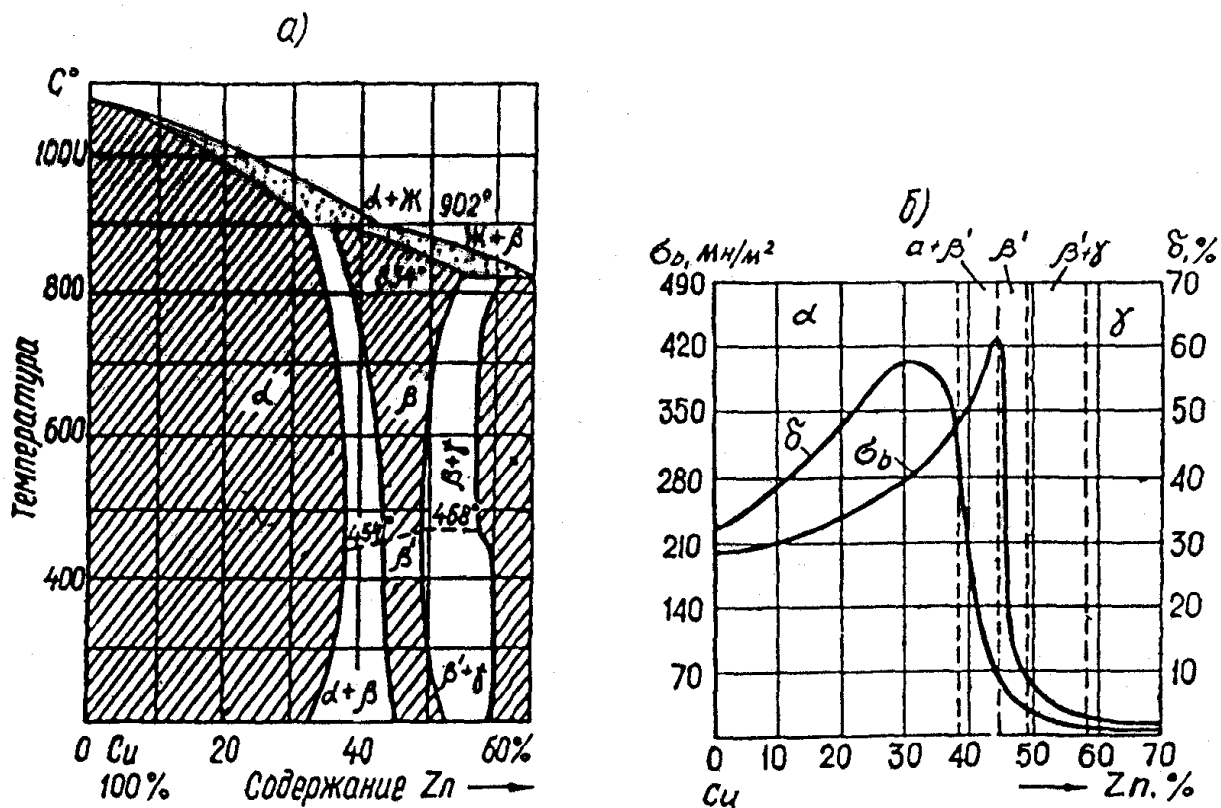


Рис. 12. а - диаграмма Cu-Zn; б - влияние концентрации цинка на структуру и механические свойства латуней

Латуни

Латуни бывают двойные (простые) и многокомпонентные (легированные). Двойные латуни маркируются буквой Л и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах (например, Л59). В марках легированной латуни приводятся буквы и цифры количества меди и легирующих элементов в процентах, например ЛАН59-3-2, в которой содержится 59% Cu, 3% Al, 2% Ni. Двойные латуни по структуре разделяются на две группы: однофазные со структурой α -твердого раствора; двухфазные со структурой $(\alpha + \beta')$ -фазы (рис. 12). Добавка цинка до определенного предела увеличивает как прочность, так и пластичность (рис. 12, б). Лучшую пластичность имеют однофазные α -латуни, содержащие около 30% Zn; наибольшей твердостью обладают двухфазные $\alpha + \beta'$ -латуни (рис. 13), содержащие до 45% Zn. Кроме того, однофазные латуни хорошо поддаются холодной, пластической деформации, что приводит к повышению твердости и прочности.

Для смягчения проводят рекристаллизационный отжиг при 600-700 °С. Неблагоприятно действуют на пластичность в однофазных, латунях свинец и висмут. Образующиеся легкоплавкие эвтектические фазы, которые расплавляются по границам зерен, плавятся при 300-700 °С и вызывают явление наподобие красноломкости в стали.

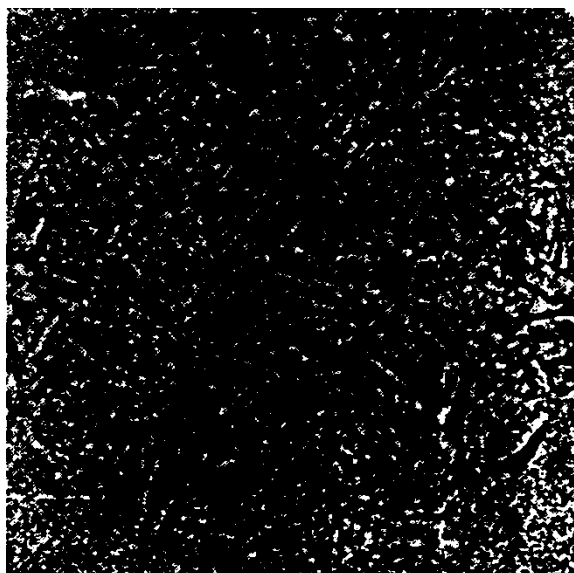


Рис. 13. Микроструктура двухфазной латуни Л59 (X100)

По-иному ведут себя двухфазные латуни. Вследствие $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения легкоплавкие эвтектические фазы будут располагаться уже не по границам, а внутри зерен. Поэтому на способность к горячей пластической деформации двухфазных латуней свинец не влияет. Кроме того, свинец улучшает обрабатываемость резанием. Широко используется автоматная латунь марки ЛС59-1.

Сложные (легированные) латуни применяют как в виде штамповок, так и отливок. *Алюминиевые латуни* имеют повышенную твердость, прочность и коррозионную стойкость (например, ЛА77-2). Добавка *олова* сильно повышает коррозионную стойкость в морской воде. Так, марки ЛО70-11 и ЛО62-1 применяют в морском судостроении («морская латунь»). *Кремний* повышает коррозионную стойкость и технологические свойства (жидкотекучесть, свариваемость и способность к холодной и горячей пластической деформации).

Бронзы

Оловянистые бронзы. Предельная растворимость олова в меди достигает 15,8%. Сплавы склонны к неравновесной кристаллизации, поэтому в реальных условиях охлаждения при содержании более 5% олова в структуре появляется эвтектоид ($\alpha + \delta$), где δ -фаза - электронное химическое соединение Cu_3Sn_8 , обладающее высокой твердостью и хрупкостью. В связи с этим при повышении содержания олова до 25% увеличивается прочность и растет хрупкость. Практически применяются бронзы, содержащие не более 14% Sn, так как при большем количестве сильно увеличивается хрупкость. Широкий интервал кристаллизации обуславливает склонность к дендритной кристаллизации (см. рис. 14), рассеянную усадочную пористость и отсюда низкую герметичность отливок. В то же время бронза из-за пористости имеет линейную усадку всего 1%, что обеспечивает высокие литейные свойства. При содержании до 5-6% Sn эти бронзы могут использоваться как деформируемые, а при большем количестве олова как литейные. Оловянистые бронзы обычно легируют цинком, свинцом, никелем, фосфором. Цинк (2-15%) добавляется для удешевления. Свинец повышает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием марки таких бронз: БрОЦС-5-5-5, БрОЦС-3,5-4-5 и др. Оловянистые бронзы, содержащие более 6% Sn имеют структуру, состоящую из твердых включений эвтектоидной δ -фазы, находящихся в мягкой α -основе, что обеспечивает высокие антифрикционные свойства, поэтому их используют для подшипников скольжения.

Деформируемые оловянистые бронзы (до 6% Sn) имеют хорошую стойкость против коррозии, большое сопротивление усталости и высокие упругие свойства.

Алюминиевые бронзы. Эти бронзы имеют небольшой интервал кристаллизации, что обеспечивает им высокую жидкотекучесть, концентрированную усадочную раковину и хорошую герметичность. Вместе с тем из-за большой усадки трудно получить сложную по форме отливку. С увеличением алюминия до 4-5% (рис. 15) наряду с прочностью и твердостью повышается пластичность, которая затем падает при увеличении алюминия свыше 10-11%, снижается и прочность. Обычно используются однофазные бронзы БрА5 и БрА7. Наибольшей прочностью обладает двухфазная алюминиевая бронза БрА10, которую для упрочнения подвергают закалке с образованием мартенситной структуры. После закалки в воде или нормализации проводят отпуск при 250-400 °С для дисперсного старения. Имеет распространение также совместное легирование алюминиевых бронз железом и никелем, например, БрАЖН10-4-4. После закалки при температуре 980° и старения в течение 2 часов при 400° можно получить НВ до 400.

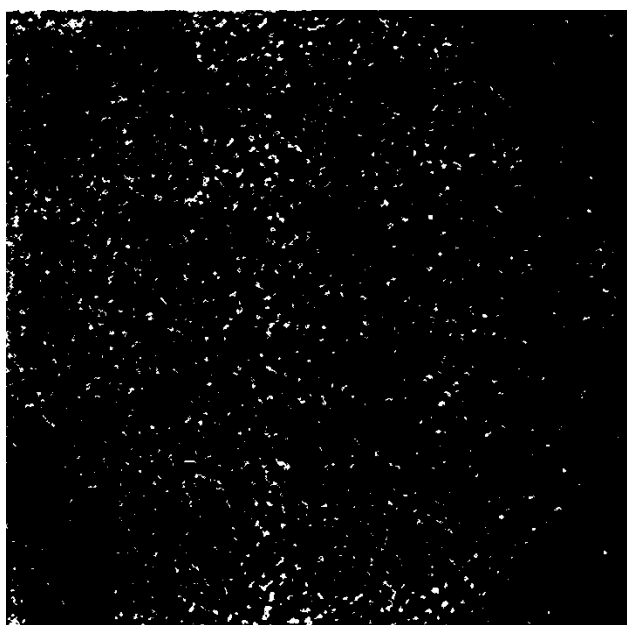


Рис. 14. Микроструктура литой однофазной оловянистой бронзы. Наблюдается дендритная ликвация (X 100)

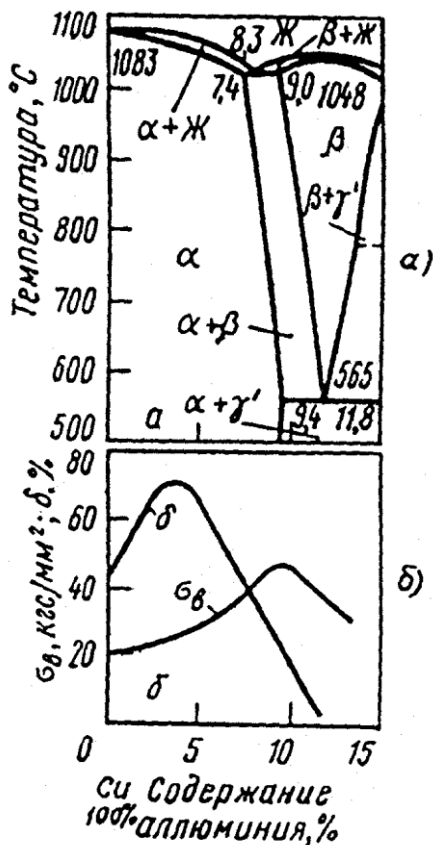


Рис. 15. а - диаграмма Cu-Al;
б - влияние концентрации алюминия
на механические свойства
алюминиевых бронз

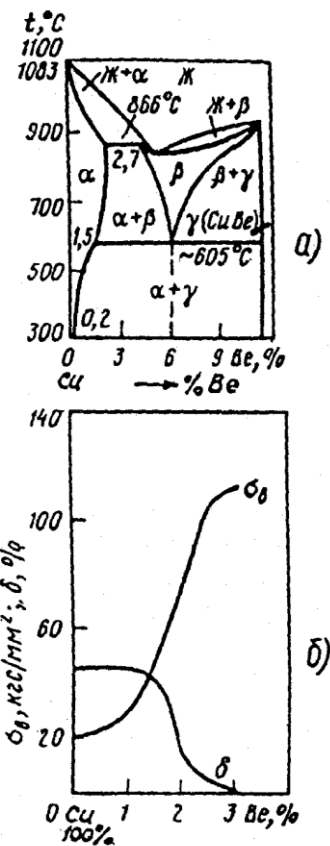


Рис. 16. а - диаграмма Cu-Be;
б - влияние концентрации Be
на механические свойства
бериллиевых бронз

В заключение укажем на распространение особо высокопрочной, но дорогой бронзы - бериллиевой марки БрБ2. Диаграмма Cu-Be и влияние Be на свойства представлены на рис. 16. На бериллиевой бронзе после термообработки (закалка с $T 780^\circ$ и старение при 320°) можно получить очень высокую прочность $\sigma_b \cong 125 \text{ кгс/мм}^2$, упругость и $НВ \approx 370$. Кремнистые бронзы с 3% кремния отличаются высокой пластичностью, хорошей обрабатываемостью давлением, свариваемостью, упругостью и коррозионной стойкостью.

Наконец, свинцовистая бронза, содержащая обычно около 30% свинца (марка БрС30), используется для подшипников скольжения. Недостаток этих бронз - низкие механические свойства и склонность к ликвации при кристаллизации.

Баббиты

Баббиты представляют собой антифрикционные сплавы на основе олова или свинца. Прежде чем говорить об их свойствах, рассмотрим требования к антифрикционным сплавам. Прежде всего надо указать на то, что материал вкладыша подшипника скольжения должен давать со стальной поверхностью вала малый коэффициент трения. Далее желательно, чтобы твердость материала подшипника не вызывала повышенного износа вала. Необходимо также, чтобы антифрикционный материал выдерживал значительные удельные давления, был бы достаточно пластичным под влиянием местных напряжений, хорошо удерживал смазку. Кроме этих предъявляются и некоторые другие требования, в том числе технологического характера. Желательно, чтобы антифрикционный сплав имел низкую температуру плавления и при переплавке не давал бы значительного угара компонентов, хорошо бы приставал (припаивался) к стенкам

подшипников, обладал бы хорошей теплопроводностью, не корродировал под влиянием смазки.

Указанные выше требования в отношении минимального износа вала (и подшипника) удовлетворяются при определенной структуре антифрикционного сплава. Желательно, чтобы структура состояла из мягкой (пластичной) основы, в которую вкраплены твердые включения. В этом случае подшипник хорошо прирабатывается к валу (после непродолжительной работы) и опирается на твердые включения, так что между валом и вкладышем образовывается пространство, где циркулирует смазка, и через которое удаляются продукты износа. Мягкая основа способна также поглощать попавшие в подшипник твердые частицы, предохраняя шейку вала от задиров. Баббиты изготавливаются нескольких типов. Наилучшими являются баббиты на *оловянистой* основе. Среди них важнейшим и наиболее распространенным является баббит марки Б83 (83% Sn, 11% Sb, 6% Cu). Мягкой основой этого баббита является α -твердый раствор сурьмы в олове, а твердыми включениями - кристаллы химических соединений SnSb и Cu_3Sn (рис. 17). Медь вводится не только для создания твердых включений, но и для предотвращения ликвации по удельному весу при затвердевании. Баббит Б83 имеет очень вязкую и пластичную основу, мало склонен к усталостному разрушению, обладает хорошей теплопроводностью. Он применяется для весьма ответственных подшипников (турбин, турбокомпрессоров и т. д.). Для коренных и шатунных автомобильных подшипников применяют баббит Б89 (7,25-8,25% Sb; 2,5-3,5% Cu; Sn - ост.). Эти баббиты отличаются вязкостью и не дают трещин во время эксплуатации. Однако баббиты на оловянистой основе очень дороги и имеют ограниченное применение. Более дешевыми являются баббиты на *свинцовистой* основе. Баббит марки БС (82% Pb, 17% Sb, 1% Cu) относится к эвтектическим и имеет мягкую основу, представляющую собой эвтектику из кристаллов свинца и сурьмы. Твердыми включениями являются избыточные кристаллы сурьмы (рис. 18). К сожалению, подобные баббиты более хрупки (несмотря на низкую твердость) и имеют значительно более высокий коэффициент трения, чем баббиты на оловянистой основе. Для улучшения свойств (прежде всего упрочнения и понижения коэффициента трения) в баббит вводят олово. Примером такого свинцово-оловяно-сурьмянистого баббита является марка Б16: 15-17% Sn, 15-17% Sb, 1,5-2,0% Cu, Pb - ост.

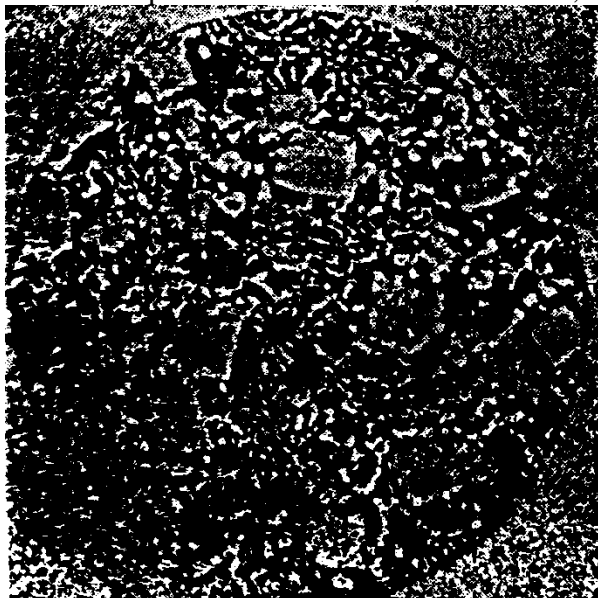


Рис. 17. Микроструктура оловянистого баббита Б83 (X100)

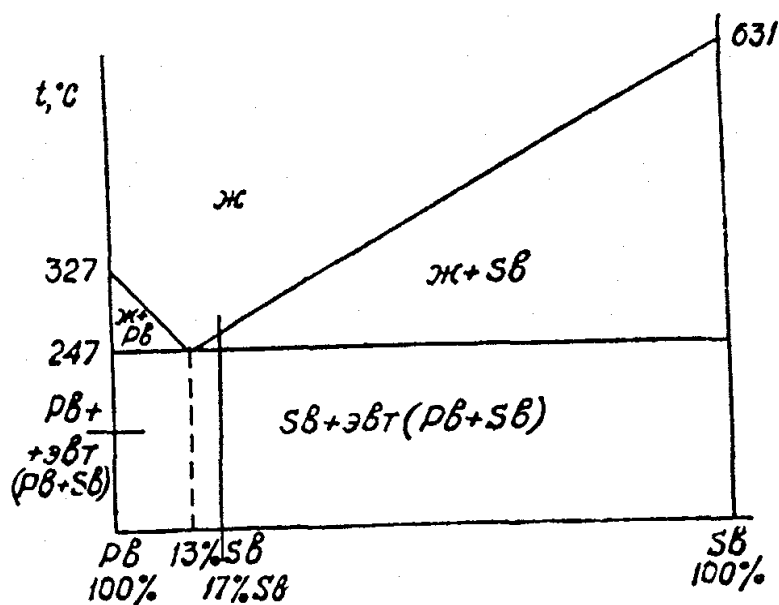


Рис. 18. Диаграмма Pb-Sb

Имеются баббиты на свинцовой основе, содержащие, кроме сурьмы и меди, также олово в количестве от 5 до 11% и другие элементы (баббиты Бб, БН, БТ и др.). В баббитах Бб и БН содержится мышьяк для измельчения структуры, кадмий для упрочнения, никель (в марке БН) для повышения ударной вязкости, жидкотекучести и сопротивления окислению. Теллур имеется в баббите БТ, что способствует мелкозернистому строению. Все указанные баббиты в той или иной степени применяют как заменители высокооловянистых баббитов.

На железнодорожном транспорте применяются так называемые кальциевые (щелочноземельные) баббиты. Это сплавы на свинцовой основе с добавками кальция и натрия, а иногда еще и с добавками других элементов. Наиболее распространенный кальциевый баббит марки БК содержит 0,85-1,15% Ca, 0,6-0,8% Na, Pb - ост. Мягкой основой здесь является твердый раствор натрия в свинце (это несколько упрочняет свинец), а твердыми включениями являются кристаллы химического соединения Pb_3Ca . Этот баббит менее износостойчив, чем оловянистые, более хрупок, имеет худшие технологические свойства. Однако по сравнению с баббитом БС он более качественный.

Как уже было сказано выше, в промышленности применяются и другие антифрикционные сплавы. Речь идет об оловянистых бронзах (см. выше), используемых при больших давлениях, и о свинцовистой бронзе (см. выше), идущей для ответственных подшипников (высокие скорости, большой предел выносливости и др.). Для неответственных подшипников в последнее время применяют (например, для подшипников некоторых станков) антифрикционный чугуны. Обычно он представляет собой серый перлитный чугун с относительно повышенным количеством графита. Графит как бы является смазкой, понижая коэффициент трения между валом и подшипником.

Задание и методические указания

1. Изучить и зарисовать микроструктуру латуни. Указать, в какой области находится сплав на диаграмме Cu-Zn.
2. Изучить микроструктуру бронзы. Указать, какая фаза более твердая и какая более мягкая.
3. Изучить микроструктуру баббита. Указать, какая фаза более твердая и какая более мягкая.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета.

1. Какие сплавы на медной основе Вы знаете?
2. Как изменяются механические свойства латуней в зависимости от содержания цинка?
3. Какие элементы являются вредными примесями в латунях, каково их действие?
4. Какие легированные латуни Вы знаете? Как маркируют латуни?
5. Как изменяются механические свойства оловянистых бронз в зависимости от содержания олова?
6. Каковы технологические свойства бронз?
7. Пользуясь диаграммой Cu-Al, рассмотреть влияние алюминия на структуру и свойства бронзы.
8. В чем заключается термическая обработка алюминиевых бронз?

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей и чугунов, с подготовленными микрошлифами.
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г. - 360 с.
2. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г. - 535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г. - 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г. - 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г. - 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 1	
Изучение диаграммы Fe-Fe ₃ C. Микроанализ углеродистой стали в равновесном состоянии.....	3
Работа № 2	
Микроанализ структуры чугунов.....	9
Работа № 3	
Структура тяжелых цветных сплавов.....	14
Список литературы.....	21

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Приготовление микрошлифа и определение величины кристаллического зерна

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки

35.03.06 Агроинженерия,

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,

19.03.01 Биотехнология,

20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Приготовление микрошлифа и определение величины кристаллического зерна:
Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А.В.Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 14 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЗЕРНА

Цель работы:

Научиться самостоятельно приготавливать микрошлифы для выявления микроструктуры и определения величины кристаллического зерна.

Задание:

1. Приготовить микрошлиф заданной стали.
2. Просмотреть микрошлиф на металлографическом микроскопе и зарисовать микроструктуру.
3. Определить величину кристаллического зерна.
4. Составить отчёт о выполненной работе.

Общие сведения.

Микрошлифом называется образец, поверхность которого специально подготовлена для выявления и изучения микроструктуры (микроанализа).

Приготовление микрошлифа к микроанализу заключается в шлифовании и полировании поверхности образца с последующим химическим травлением. Металлографический метод исследования структуры металлов и сплавов с помощью химически травленных микрошлифов является одним из преобладающих методов. Его преимущество заключается в простоте доступности, относительной несложности применяемого оборудования, лёгкости освоения и высокой ценности информации, получаемой при прямом изучении микроструктуры. Качество подготовки поверхности микрошлифа во многом определяет результаты микроструктурного исследования. Неправильное шлифование и полирование шлифа может исказить структуру металла, которая просматривается под микроскопом, поэтому приготовление микрошлифов требует определённых знаний и навыков. Рассматриваемая поверхность микрошлифа должна быть ровной и блестящей. Образцы для микрошлифов вырезают из той части изделия или заготовки, которая представляет наибольший интерес для исследователя. Образцы из мягких металлов вырезают пилой, фрезами или резцом, из твёрдых металлов - абразивными кругами, ультразвуком, электроискровым или электрохимическим способами.

Наиболее удобными являются шлифы цилиндрической формы диаметром 10-20 и высотой 10-15 мм или прямоугольные со сторонами основания 10-20 и высотой 15мм.

В случае исследования мелких образцов с малыми сечениями для приготовления и рассмотрения их под микроскопом они закрепляются в зажимах или запрессовываются в пластилин или в металлической муфте заливаются серой, бакелитом и другими легкоплавкими материалами. Одна из плоскостей образца подвергается шлифовке, полировке и химическому травлению.

Вначале производят грубую шлифовку на шлифовальном круге или грубой шлифовальной бумагой с целью выравнивания грани образца.

После этого образец шлифуют на шлифовальной бумаге различной зернистости, на специальных шлифовальных станках или вручную. Шлифовку производят в 4-5 переходов, например на шкурках №120, 140, 180, 220, 240 и т.д. Окончание шлифовки лучше вести на предварительно смоченных шкурках или непрерывной промывке водой (при шлифовке на станке). Мокрое шлифование даёт лучшие результаты, так как, омывая поверхность шкурки и шлифа, вода уносит частички резанного металла и абразивных зёрен. При переходе с одного номера шкурки на другой шлиф поворачивают на 90° и шлифуют до полного удаления рисок, образованных при предыдущей грубой шлифовке. Хорошо отшлифованный образец имеет матовую поверхность с тонкими параллельными

штрихами, без царапин. После тонкого шлифования образец промывают струёй воды для удаления частиц металла и абразива, подвергают полированию.

Полирование производят на вращающемся диске полировального станка. Круг обтягивают фетром, сукном или высококачественным драпом. Поверхность тканей покрывается водной суспензией в большинстве случаев окиси алюминия или окиси хрома.

В некоторых лабораториях для шлифования и полирования применяют пасту ГОИ. Паста выпускается трёх сортов по зернистости (грубая, средняя, тонкая) и состоит из окиси хрома, стеарина, олеиновой кислоты, соды и керосина. Пастой ГОИ шлифы обрабатываются следующим образом. Хорошо зачищенная поверхность шлифа обрабатывается на абразивном круге в течение 6-7 мин. грубой пастой, нанесённой на отшлифованную поверхность шлифа, слегка увлажнённую керосином. Затем образец обрабатывается средней и тонкой пастой. Зеркальная поверхность получается после полирования шлифа в течение 3-5 мин. на вращающемся круге с натянутым сукном или фетром, смоченным керосином и покрытым тонкой пастой.

Полирование считается законченным, если поверхность образца приобрела зеркальный вид и под микроскопом не просматриваются риски.

После полировки производится промывка шлифа водой и спиртом, а сушка-прикладыванием (не вытиранием) к фильтровальной бумаге.

Микрошлифы хранят в эксикаторе, представляющем собой стеклянный сосуд с плотно притёртой крышкой. Для предотвращения окисления в эксикатор помещают прокаленный хлористый кальций.

С целью выявления микроструктуры полированная поверхность шлифа подвергается химическому травлению с помощью соответствующих реактивов. В результате травления на поверхность шлифа образуются выступы и впадины, характеризующие микроструктуру металла или сплава. Для травления микрошлифов применяют много реактивов. В таблице 1 приведены реактивы, широко применяемые в практике.

Травление шлифа в холодном состоянии производится погружением его в реактив или втиранием реактива смоченной в нём ватой. После травления образец промывают в проточной воде, а затем в спирте и сушат фильтровальной бумагой. Просмотр микроструктуры следует вести сразу после микрошлифа.

Таблица 1

Состав основных реактивов для травления углеродистых и низколегированных сталей и чугунов.

Азотная кислота (уд.вес 1.42 г/см ³) 5 мл. этиловый спирт 95 мл.	Продолжительность травления 3-8 с	Применяется после любых видов термической и химико-термической обработки
Пикриновая кислота 5 г. этиловый спирт 100 мл.	Продолжительность травления до 2 мин.	Хорошо отделяет феррит от перлита
Едкий натр. – 25 г. пикриновая кислота 2 г. вода- 100 мл.	Образец погружается в кипящий реактив и кипятится в течение 5-25 мин.	Окрашивает цементит в тёмный цвет

Определение величины кристаллического зерна

Величина зерна сильно влияет на механические свойства металлов и сплавов. Мелкое зерно повышает прочность на растяжение и увеличивает твёрдость. Увеличенное зерно уменьшает эти свойства, но повышает пластичность. Чрезмерное увеличение зерна приводит к разрушению целостности структуры или резко снижает механические свойства. Определение величины зерна сводится к следующему. Установить микрошлиф на предметный столик микроскопа и, рассматривая микроструктуру в микроскоп, подсчитать, сколько зёрен приходится на определённое число делений шкалы окуляра-микрометра.

Затем подсчитывают среднюю линейную величину зерна в горизонтальном положении шкалы объекта-микрометра.

По полученной площади, пользуясь данными, приведёнными в таблице 2, определяют номер зерна.

Таблица 2

Геометрические параметры кристаллического зерна различных номеров.

Номер зерна	Средняя площадь зерна, $\mu\text{м}^2$	Число зёрен на мм^2
1	64000	16
2	32000	32
3	16000	64
4	8000	128
5	4000	256
6	2000	512
7	1000	1024
8	500	2048

Порядок выполнения работы

1. Приготовить микрошлиф согласно вышеизложенной методике.
2. Просмотреть микрошлиф в микроскоп и зарисовать микроструктуру образцы которой приводятся на рис.2.3.
3. Определить среднюю линейную величину кристаллического зерна, его площадь и номер.

Оборудование, приборы и материалы:

1. Полировально-шлифовальный станок.
2. Микроскоп МИМ-7.
3. Образец стали (лучше ферритной) для микрошлифа.
4. Шлифовальный круг с зернистостью 50-60.
5. Абразивные шкурки № 60-240.
6. Окись алюминия, окись хрома, паста ГОИ.
7. Реактивы для травления микрошлифа: азотная кислота (уд. вес $1,42 \text{ г/см}^3$), этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. (Примечание: при изготовлении микрошлифов из других сплавов необходимы соответствующие им реактивы).
8. Ванночка для травления.
9. Фильтровальная бумага.
10. Вата и этиловый спирт для просушки.
11. Секундомер или часы.
12. Мензурка с объёмным делением.

Оформление отчёта

В письменном отчёте отражаются:

- а) цель работы;
- б) последовательность приготовления микрошлифа;
- в) микроструктура образца в зарисовке с указанием, к какой стали она относится;
- г) определение средней линейной величины зерна, его площади и номера.

Контрольные вопросы

1. Что называется микрошлифом?
2. Чем характеризуется микроскопический метод исследования металлов и сплавов?
3. Чем вырезают образцы из изделия?
4. Какие шлифы по форме и размерам являются удобными?
5. Как подготавливаются мелкие шлифы для шлифовки, полировки и просмотра под микроскопом?
6. Какие материалы применяются для полировки шлифа?
7. Какие признаки определяют законченную полировку образца?
8. Где хранят микрошлифы?
9. Какой реактив применяли для травления шлифа?
10. Как влияет величина кристаллического зерна на свойства металлов и сплавов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007г.- 360 с.
2. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения.....	3
Определение величины кристаллического зерна.....	4
Оборудование, приборы и материалы.....	5
Список литературы.....	6

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Структура легированных сталей

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки

35.03.06 Агроинженерия,

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,

19.03.01 Биотехнология,

20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Структура легированных сталей: Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 14 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

СТРУКТУРА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

1. ВВЕДЕНИЕ

Прежде чем приступить к изучению микроструктуры легированных сталей, необходимо познакомиться со структурными составляющими, которые образуются в легированных сталях, и с их отличием от структурных составляющих в углеродистых сталях.

а) Легированный феррит – твердый раствор легирующих элементов в α -железе (феррите).

Легированный феррит кристаллографически отличается от обычного феррита тем, что в нем атомы железа в кристаллической решетке объемно-центрированного куба частично замещены атомами легирующего элемента. По микроструктуре легированный феррит (при условии медленного охлаждения) ничем не отличается от обычного феррита, тем представляет собой однородные зерна (полиэдры) с ясным очертанием границ. Механические свойства легированного феррита могут существенно отличаться от свойств чистого феррита.

б) Легированный цементит – твердый раствор легирующих элементов в цементите железа.

Легированный цементит отличается от цементита железа Fe_3C тем, что в нем атомы железа в решетке цементита частично замещены атомами легирующего элемента, например Mn, Cr и т.д.

При высоких температурах легированный цементит растворяется в γ -железе, образуя легированный аустенит. Легированный цементит более тверд и выделяется при отпуске стали при более высоких температурах. При рассмотрении по микроскопом он ничем не отличается от цементита железа.

Легированный цементит образуется в стали (при 0,8 % C), если Cr < 2% или Mo < 1,0 % или V < 0,2% или Ti < 0,05%. При наличии в стали легирующих элементов более указанного количества образуются специальные карбиды.

в) Специальные карбиды – соединения легирующих элементов с углеродом.

Различают две группы карбидов: карбиды, имеющие сложную кристаллическую решетку и при соответствующей температуре растворимые в аустените, например, $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Fe_2W_2C , Fe_2Mo_2C , и карбиды, имеющие простую кристаллическую решетку и почти не растворимые в аустените, например W_2C , WC, Mo_2C , VC и TiC.

Вторая группа карбидов носит название фаз внедрения. Специальные карбиды не представляют собой в чистом виде химических соединений, например хромистый карбид $(Cr, Fe)_7C_3$, в котором атомы хрома частично замещены атомами железа. Твердость карбидов очень высока (близка к алмазу; по Виккерсу > 1200). По структуре они с трудом отличаются от цементита они обычно более дисперсны, чем цементит. Некоторые специальные карбиды имеют специфическую внешнюю форму. Например, карбид титана имеет форму кубиков.

г) Легированный аустенит – твердый раствор легированных элементов в γ -железе. Легированный аустенит может существовать в высоколегированных сталях при комнатной температуре. Структурно по микроскопом он представляет собой светлые однородные зерна с видимым очертанием их границ, часто с наличием линий сдвига или двойниками.

2.КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Конструкционные стали бывают цементируемые и улучшаемые; отличаются они разным содержанием углерода.

В цементируемых сталях содержание углерода 0,1-0,2 %, в улучшаемых обычно 0,3 - 0,5 %.

а) Цементируемые стали

Для изучения структуры цементируемых сталей возьмем наиболее типичные и ходовые хромоникелевые цементируемые стали 12ХНЗА и 18ХНВА.

Сталь 12ХНЗА

Химический состав; 0,1 – 0,16 % С; 0,6-0,9% ; 2,75-3,2% Ni. При содержании Cr < 0,9% специальных карбидов в стали не образуется. Хром в стали распределяется между ферритом и цементитом, образуя легированный феррит и легированный цементит. Никель в стали полностью растворяется в феррите.

Структура края и сердцевины стали 12ХНЗА после сложной термической обработки: высокой закалки при 860° в масле, низкой закалки при 770° в масле и отпуска при 150°. Структура поверхностного слоя – мелкоигльчатый мартенсит.

Структура сердцевины - малоуглеродистый мартенсит и феррит. Мартенсит образовался в сердцевине вследствие сквозной прокаливаемости стали при данном сечении образца, а феррит - вследствие неполной закалки ((закалка выше A_{c1} , но ниже A_{c3}). закалка при 770° для сердцевины, содержащей 0,1-0,16% С, является неполной.

Иногда легированную сталь, в особенности наследственно мелкозернистую, после цементации подвергают только одной закалке и низкому отпуску - структура стали 12ХНЗА после цементации высокой закалки при 860° (точка A_{c3} - 830°) в масле и отпуска при 150°.

Структура поверхностного слоя - мартенсит, но более грубого строения, чем в случае двойной закалки это объясняется слишком высокой температурой закалки (860°) для поверхностного слоя содержащего около 1% С.

Наряду с мартенситом в структуре поверхностного слоя имеется остаточный аустенит (светлые мелкие зерна на шлифе) структура сердцевины малоуглеродистый мартенсит.

Сталь 18ХНВА

К цементируемым сталям относится также хромоникельвольфрамовая сталь 18ХНВА. Эта сталь применяется для ответственных деталей мотора: коленчатых валов, валов редуктора и т.п.

Как видно из С - образной диаграммы, сталь 18ХНВА относится к мартенситному классу, т. е. при любой скорости охлаждения имеет структуру мартенсит (или продуктов из изотермического превращения при 300-400°, т. н. «игльчатый троостит») даже после отжига. Для смягчения т. е. лучшей ее обрабатываемости резанием она подвергается высокому отпуску 650-680° на сорбит.

Химический состав стали: 0,14-0,21% С; 1,35-1,65% Cr; 4,0-4,5% Ni; 0,8-1,296 W или 0,25 0,45% Мо.

При данном содержании легирующих элементов, ввиду малого содержания углерода, образуется специальный карбид (Cr, Fe)₂₃С₆.

Вольфрам и хром распределяются в стали между ферритом и этим карбидом. Никель полностью растворен в феррите.

Режим *термической обработки*. Цементация 900-920°, высокая закалка 950°, низкая закалка 860°, отпуск 150-170°. Структура поверхности и сердцевины получается

мартенситная, но так как мартенсит сердцевины имеет малое содержание углерода, то он сравнительно вязок, т.е. имеет высокое a_n . Часто эту сталь применяют как улучшаемую т.е. не цементируют, а подвергают только закалке при 860° с последующим высоким отпуском на 560° .

Структура стали в состоянии поставки, т.е. после горячей прокатки и последующего высокого отпуска при 650° структура состоит из сорбита (с неравномерным распределением углерода).

На рис. 1 показана структура стали после закалки при 860° и отпуска при 560° . Структура – мелкозернистый сорбит.

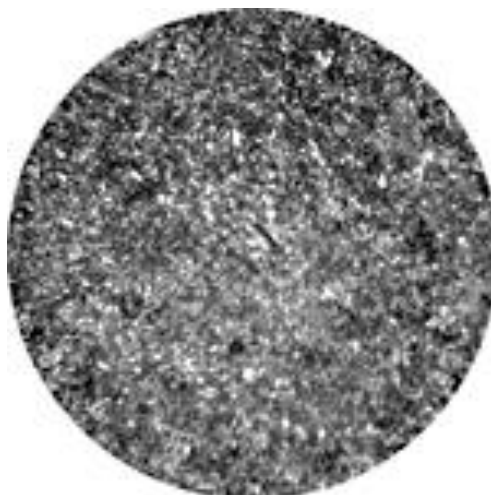


Рис.1 Сталь 18ХНВА; закалка 860° и отпуск 560° . Сорбит.

б) Улучшаемые конструкционные стали

К улучшаемым легированным сталям относятся большое количество марок, применяемых в машиностроении: 38ХА, 30ХГСА, 40ХНМА и т.д.

Сталь 30ХГСА

Рассмотрим структуру стали 30ХГСА (хромансил) в равновесном состоянии и после закалки и высокого отпуска.

Химический состав стали: 0,28-0,35% С; 0,9-1,2% Si; 0,8-1,196 Mn; 0,8-1,1% Cr. Как показывает химический состав, сталь содержит небольшой процент легирующих элементов. В ней Mn, Si и Cr распределены между ферритом и цементитом, образуя легированные феррит и цементит. Специальных карбидов в стали не образуется.

Структура стали 30ХГСА после отжига при 860° структура состоит из перлита и феррита т.е. металлографически не отличается от углеродистой стали.

На рис. 2 показана структура стали 30ХГСА после закалки при 860° в масле и последующего отпуска при 520° .

Структура: сорбит, сохранивший ориентировку мартенсита. Иногда этой стали после закалки дается низкий отпуск при температуре 200° . Тогда получается структура отпущенного мартенсита, обладающего более высокой прочностью (σ_b), но меньшей вязкостью (a_n), чем сорбит.

в) Сталь для азотизации

Наибольшее распространение в практике азотизации конструкционных сталей получила хромоалюминиемолибденовая сталь марки 35 ХМЮА имеющая следующий химический состав: 0,3-0,38% С; 1,35-1,65% Cr; 0,4-0,6% Мо и 0,75-1,1% Al.

Хром, молибден и алюминий с азотом образуют прочные нитриды придающие стали после азотизации высокую твердость поверхностного

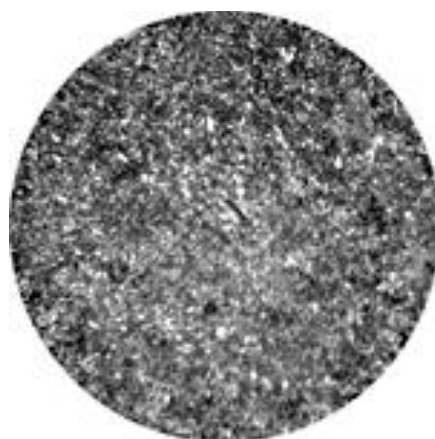


Рис. 2. Сталь 30ХГСА; закалка 860° и отпуск Сорбит сохранивший ориентировку мартенсита

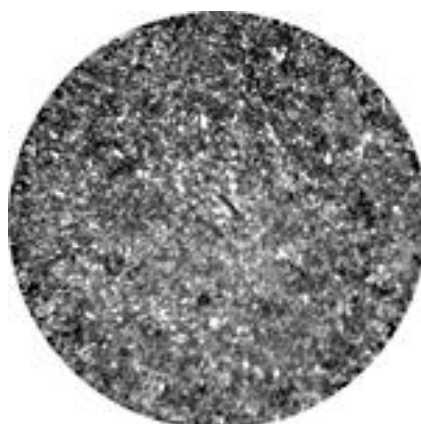


Рис. 3. Сталь 35ХМЮА

Слоя (900-1200 ед. по Виккерсу), значительно превышающую твердость после термической обработки цементированных деталей.

Сталь перед азотизацией с целью получения высокой прочности подвергается закалке при 550 - 950°. Азотизация стали производится при 520 - 560°.

На рис. 3 показана структура стали 35ХМЮА после термической обработки (закалки и отпуска).

Структура азотированного слоя состоит из сорбита отпуска основное поле и нитридов, расположенных по границам зерен сорбита. Иногда на самой поверхности шлифа имеется белая не поддающаяся травлению полоска сплошных нитридов. по мере продвижения от края шлифа к сердцевине нитридная сетка постепенно исчезает.

3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Малолегированные

Малолегированные инструментальные стали обычно содержат 0,8 – 1,4% С+1-3% легирующих элементов

Рассмотрим структуру малолегированной хромистой стали марки Х

Сталь Х

Химический состав: 1,0 – 1,15% С; 1,3 – 1,6% Cr.

Под микроскопом структура этой стали ничем не отличается от углеродистой инструментальной стали. После закалки и низкого отпуска она состоит из мартенсита и легированного цементита. Цементит Fe_3C и легированный цементит- $(Fe_3, Cr)_3$ под микроскопом как уже указывалось, не отличаются друг от друга и наблюдаются в виде отдельных зерен, границы которые как бы окаймлены темной полоской.

На рис.4 показана структура стали Х после закалки при 800° в масле и отпуска при 150° , структура состоит из мартенсита и мелких зерен легированного цементита.

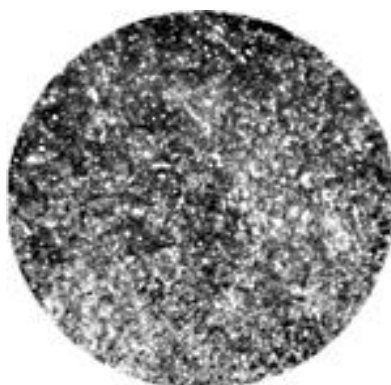


Рис.4. Малолегированная инструментальная сталь Х. Закалка 800° и отпуск 150° . Мартенсит и легированный цементит.

Быстрорежущая сталь

Для больших скоростей резания, когда режущий инструмент во время работы разогревается до $500-700^\circ$, применяется быстро режущая сталь.

Возьмем для изучения структуры быстрорежущей стали наиболее распространенную и типичную быстрорежущую сталь Р 18.

Химический состав стали Р18. 0,68-0,8% С; 17,5-19,0% W; 3,8-4,6% Cr; 1,0-1,4% V.

Как показывает химический состав сталь содержит большой процент легирующих элементов при данном содержании легирующих элементов в стали кроме легированного феррита и цементита, образуется специальный карбид состава Fe_2W_2C .

Какие особенности строения определяют высокие режущие свойства быстрорежущей стали?

При нагреве закаленной углеродистой стали выше 2000° мартенсит становится неустойчивым, т. е, он превращается в ферритоцементитную смесь: мартенсит $Fe_a(C)$ -троостит ($Fe_a FeC_3$), и твердость при этом снижается.

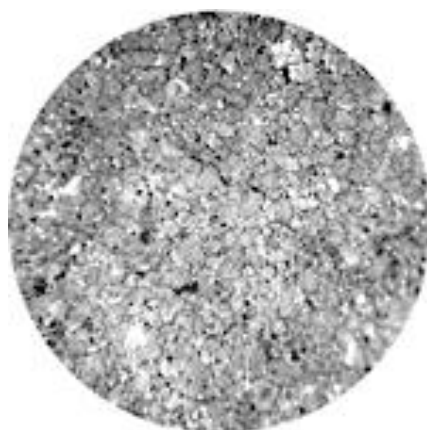


Рис. 5. Быстрорежущая литая. Сталь P18. Литье.



Рис. 6. Кованая и отожженная Быстрорежущая сталь P18

При введении W, V и C в стали образуется легированный цементит и специальный карбид, которые затрудняют процесс диффузии углерода и легирующего элемента и карбиды выделяются из мартенсита при более высокой температуре 500-700°. Такая сталь становится к р а с н о с т о й к о й. Процесс превращения легированного мартенсита в эту смесь можно записать так, легированный спемартенсит $Fe_a(C, W) \rightarrow$ легированный феррит Fe_a карбид $Fe_2W_2C_2$. При более высокой температуре происходит ходит распад легированного мартенсита и чем менее скорость коагуляции (укрупнения) карбидов, тем более высокими режущими свойствами обладает сталь укрупнение карбидов снижает твердость стали.

Структура литой быстрорежущей стали. Быстрорежущие стали относятся к ледобуритному классу на рис. 5 показана структура литой быстрорежущей стали P18.

Литая быстрорежущая сталь имеет аустенитно - ледобуритную структуру Помимо того, в структуре имеются отдельные зерна троостита, ледобурит быстрорежущей стали состоит из аустенита и карбидов.

Карбиды, выпавшие в процессе кристаллизации в виде “скелетообразной” эвтектики, называются первичными в высоколегированных сталях можно наблюдать ледобурит при содержании углерода меньше чем 1,7%. Например, при наличии в стали 13% у ледобурит образуется уже при содержании 0,4% C.

Структура кованой и отожженной быстрорежущей стали. Быстрорежущая сталь после литья подвергается ковке а затем отжигу. В результате горячей пластической деформации

”скелетообразные” первичные карбиды становятся размельченными.

На рис. 6 показана структура стали Р 18 послековки и отжига при температуре 860°.

Структура состоит из карбидов первичных (K_1) -крупные светлые зерна; карбидов вторичных ($K_{вт}$)-светлые зерна средних размеров и сорбита состоящего из феррита и карбидов эвтектоидных Основное поле шлифа.

Структура закаленной быстрорежущей стали. В рабочем состоянии быстрорежущая сталь должна находиться в закаленном и отпущенном виде. Закалка стали Р18 производится при температуре 1260-1300°.Среда охлаждения при закалке Масло или воздух. чем ниже температура закалки тем зерна будут мельче и количество нерастворившихся карбидов будет больше.

Структура стали после закалки от температуры 1300°. Структура состоит из мартенсита, первичных карбидов и значительного количества (~40%) остаточного аустенита. Первичные карбиды при закалке нерастворимы. Однако они необходимы так как препятствуют росту зерна аустенита, благодаря чему сталь.Несмотря на высокую температуру закалки, имеет мелкозернистый ”бархатный” излом Мартенсит в быстрорежущей стали Р 18 металлографически выявить весьма трудно. нужно применять специальное травление (на фиг. 103 мартенсит не выявлен).

Структура быстроре осущей стали после отпуска 1 ак как после закалки не весь аустенит превращается в мартенсит, то сталь подвергается отпуску при 5609. При этом при температуре отпуска из остаточного аустенита выделяются дисперсные карбиды, а при охлаждений остаточный аустенит превращается в мартенсит. Превращение остаточного аустенита в мартенсит при отпуске объясняется тем, что выделившиеся во время отпуска дисперсные карбиды обеднили аустенит легирующими элементами, и он стал снова неустойчивым при температуре мартенситного превращения.

Остаточный аустенит при отпуске стали превращается в мартенсит только во время охлаждения, т.е при переходе через мартенситную линию (М), поэтому для получения максимального количества мартенсита быстрорежущая сталь подвергается многократному отпуску.

Структура состоит из мартенсита карбидов первичных и отдельных небольших участков нераспавшегося аустенита (светлый фон на шлифе) причём участки нераспавшегося аустенита. как правило, находятся вблизи скопления карбидов, т. е. там, где аустенит наиболее насыщен легирующими элементами и. следовательно. Более устойчив.

Структура быстрорежущей стали р18 после закалки и трехкратного отпуска структура состоит из мартенсита и первичных карбидов участков остаточного аустенита не видно.

4.ЖАРОСТОЙКИЕ И ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

Устойчивость сплава против окисления при высоких температурах называется *жаростойкостью* (окалиностойкостью) сплава.

Способность сплава сопротивляться механическим воздействиям при высоких температурах называется *жаропрочностью* сплава.

За последние годы с развитием новой техники, в особенности с бурным развитием реактивных двигателей, металловедцами найдены такие сплавы, которые по своей прочности при высоких температурах (700-850°) превышают ранее применявшиеся сплавы в 1,5-2 и более раз и являются окалиностойкими до 1100°.

Применяемые в настоящее время жаростойкие и жаропрочные сплавы можно разделить на три группы сплавы на железной основе (высоколегированные стали)

сплавы на никелевой основе и сплавы на кобальтовой основе. Последние два типа сплавов являются наиболее жаропрочными.

Рассмотрим структуру типичных сплавов на железной, никелевой и кобальтовой основах.

Сталь ЭИ69

Химический состав стали 0,4-0,5% С; 13-18% Cr; 13-15% Ni; 2-3% W; 0,2-0,4% Mo.

Какова же роль каждого элемента? Вольфрам и молибден образуют с углеродом карбиды, а также предотвращают интеркристаллитную коррозию хром создает жаростойкость.

Никель расширяет гамма-область и вводится в сталь для получения аустенитной. Аустенитная структура обладает большей жаропрочностью структуры, на фиг 106 показана структура стали после чем с ферритная закалки 1170° в воде. Структура состоит из крупных зерен аустенита и небольшого количества карбидов

Структура стали после отжига при 820° в течение 2 час состоит из мелких зерен аустенита и большого количества карбидов.

Структура закаленной стали по сравнению со структурой отожженной имеет повышенную жаропрочность, но более низкую ударную вязкость, сталь ЭИ69 применяется для клапанов выпуска.

Сплав (на никелевой основе) – ХН80Т

Химический состав сплава (средний): 0,1% С; 20% Cr; 2,5% Ti; 1% Al; остальное Ni. Сплав применяется в деформированном виде.

Структура сплава после закалки при 1070° в воде и старения при 700°. Структура состоит из зерен твердого раствора с наличием двойников.

Разницы в структуре сплава между закаленным состоянием и закаленным и состаренным состоянием металлографически не обнаруживается, так как изменения в строении сплава, происходящие при старении при 700° имеют место внутри твердого раствора без выделения избыточной фазы.

После старения при более высокой температуре, например, при 850° в течение 3 час под микроскопом видны мельчайшие частицы упрочняющей фазы, выпавшие и коагулировавшие во время старения. Сплав при этом разупрочняется.

В течении 3 час. Видны мельчайшие частицы упрочняющей фазы, выделившиеся и коагулировавшие при старении.

Сплав ХН80Т применяется для лопаток турбин в реактивных двигателях.

Сплав на кобальтовой основе

Химический состав сплава: 0.25% С; 27% Cr; 2,5% Ni; 6% Mo и 63% Co. Сплав применяется в литом виде.

Структура сплава после литья структура состоит из неоднородного твердого раствора в виде дендритов и карбидов.

Наличие в сплаве карбидов делает его склонным к закалке и старению, что способствует повышению его жаропрочных свойств. К недостаткам сплавов на кобальтовой основе следует отнести дефицитность кобальта.

5. НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ

Нержавеющие стали устойчивы против окисления в газах воде, воздушной атмосфере. Рассмотрим структуру нержавеющей хромоникелевой стали Х18Н19.

Сталь 10X18H9

Химический состав: $<0,14\% \text{ C}$; $17-19\% \text{ Cr}$; $8-11\% \text{ Ni}$. Какова структура этой стали и роль легирующих элементов?

Хром введен в сталь для придания ей коррозионной устойчивости (на поверхности образуется плотная окисная пленка Cr_2O_3)

Никель – для получения аустенитной структуры. Содержание углерода в стали должно быть минимальное

($c \leq 0,06\%$), так как если образуются карбиды хрома , то они при соответствующих условиях вызывают

Кристаллитную коррозию. Что бы ликвидировать вредное влияние образовавшегося в стали карбидов хрома, сталь подвергают закалке их в твердом растворе.

На рис. 7 показана структура стали 10X18H9 после закалки при 1080° в воде.

Структура состоит из одних зерен аустенита. Все карбиды хрома растворены в аустените.

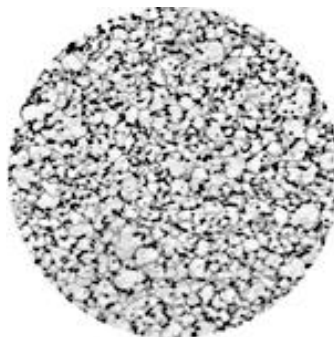


Рис.7 Нержавеющая сталь 10X18H9 после закалки при 1080° в воде.

6. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В данной работе изучается микроструктура легированных сталей и сплавов и устанавливается связь между структурой , термической обработки и свойствами. Изучение структуры производится путем просмотра под микроскопом коллекции шлифов различных легированных сталей и сплавов.

Состав изучаемых сталей и сплавов, режим термической обработки, травитель и увеличение приведены в табл 1.

Студент, получив комплект шлифов, просматривает их под микроскопом, изучает структуру каждого шлифа и зарисовывает ее в свою тетрадь, причем рисунки должны быть по возможности близки к оригиналу рассматриваемой структуры.

Основное при зарисовке структур должно заключаться в том чтобы уловить характерные особенности структуры и передать их на рисунке. Нет надобности передавать на рисунке фотографически точное изображение.

Студент представляет письменный отчет о работе, в котором должны быть зарисованы все выявленные структуры.

Зарисовка структур должна производиться во время работы в лаборатории в кругах диаметром около 50 мм. Под каждым рисунком должны быть указаны: марка сплава, химический состав, термическая обработка, травитель, увеличение и название структуры.

Наименование фаз и структурных составляющих выносятся и соединяются с соответствующими частями рисунка стрелками.

В отчете должны быть указаны: свойства, область применения изучаемых сталей и сплавов и какому классу относится тот или иной сплав.

Таблица 1

Химический состав в % (средний)

№ шлифа	Марка	C	Cr	Ni	W	Mo	V	Mn	Si	Ti	Al	Термическая обработка	Травитель	Увеличение
1	30ХГСА	0,3	1,0					1,0	1,0			Отжиг 860°	4%-ный раствор HNO ₃ в спирте	300-500
2	30ХГСА	0,3	1,0					1,0	1,0			Закалка 860° и отпуск 510°	То же	То же
3	18ХНВА	0,17	1,5	4,2	1,0			0,4	0,27			Закалка 860° на воздухе и отпуск 560°	”	”
4	35ХМЮА	0,35	1,5			0,5		0,4	0,27			Закалка 950° в масле и отпуск 650° с последующим азотированием при 550°	”	”
5	ЭИ69	0,45	14	14	2,4	0,3						Отжиг 820°	50 ч. HCl+5ч. HNO ₃ +50 ч. H ₂ O	”
6	ЭИ69	0,45	14	14	2,4	0,3						Закалка 1170° в воде	То же	”
7	1Х18Н9	≤0,1	18	9								Закалка 1080° в воде	3ч. HCl +1 ч. HNO ₃ +CuCl ₂	”
8	ХН80Т	0,1	20,0	Остальное				0,6	1,0	25	20	Закалка 1070° в воде и старение 700°	3ч. HCl + 1ч. HNO ₃ +CuCl ₂	”
9	P18	0,8	4,2		18		1,2					Закалка 1300° в масле	4%-ный раствор HNO ₃ в спирте	”
10	P18	0,8	4,2		18		1,2					Закалка 1300° в масле и отпуск 560° 3 часа	То же	”
11	P18	0,8	4,2		18		1,2					Отжиг 860°	”	”

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое легированный феррит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
2. Что такое легированный цементит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
3. Структура стали 12ХН3А после отжига, после закалки.
4. Структура стали 18ХНВА после отжига, после закалки.
5. Структура стали 30ХГСА после отжига, после закалки.
6. Структура стали Р18 после отжига, после закалки.
7. Как классифицируются легированные стали?
8. Как маркируются легированные стали?

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей, с подготовленными микрошлифами.
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
- 2.. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

ОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Конструкционные стали.....	4
3. Инструментальные стали.....	7
4. Жаростойкие и жаропрочные сплавы.....	9
5. Нержавеющие стали.....	10
6. Задания и методические указания.....	11
Контрольные вопросы.....	13
Список литературы.....	

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Инструментальные материалы

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Инструментальные материалы: Методические указания по выполнению лабораторной работы/ Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 11 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, стойкость инструмента для обработки металлов и других материалов во многом предопределяет производительность предприятий. В этой связи одна из важнейших задач – использование инструментальных материалов, обеспечивающих максимально возможную стойкость инструмента и правильный выбор сталей с учетом вида обработки и типа обрабатываемых материалов.

Интенсивное развитие машиностроения, производство и использование в больших объемах конструкционных материалов со специальными свойствами (многие из которых труднообрабатываемые), интенсификация процессов резания и обработки давлением являются основными предпосылками для совершенствования инструментальных материалов.

По назначению инструментальные материалы делятся на материалы для режущего, штампового и измерительного инструментов.

1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Материал для изготовления режущего инструмента должен обладать такими свойствами, как износо- и теплостойкость.

Основным требованием, предъявляемым к режущему инструменту, является сохранение режущей кромки в течение длительного времени.

Условия работы инструмента зависят от режимов резания и свойств обрабатываемого материала. Чем больше скорость резания, сечение снимаемой стружки, а также прочность и вязкость обрабатываемого материала, тем выше температура нагрева режущей кромки инструмента. При этих условиях работоспособность инструмента определяется теплостойкостью. От теплостойкости материала, таким образом, зависит производительность резания.

По теплостойкости применяемые материалы подразделяют на следующие группы:

- углеродистые и низколегированные стали (теплостойкость до 200 °С);
- высоколегированные быстрорежущие стали (до 600...650 °С);
- твердые сплавы (до 800...1000 °С);
- сверхтвердые материалы (до 1200 °С).

1.1. Углеродистые инструментальные стали

Углеродистые стали производят качественными У7, У8, У9, ... ,У13 и высококачественными У7А, У8А, ... ,У13А. Буква У в марке показывает, что сталь углеродистая, а число указывает на среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Углеродистые стали применяют для изготовления режущего инструмента, работающего в условиях, при которых рабочая кромка нагревается не свыше 150...200 °С.

Благодаря невысокой твердости (НВ 217–187) в состоянии поставки (после отжига на зернистый перлит) углеродистые стали хорошо обрабатываются резанием и деформируются, что позволяет применять накатку, насечку и другие методы изготовления из них инструмента.

Из-за низкой прокаливаемости (10–12 мм) углеродистые стали пригодны для мелкого инструмента или инструмента с поперечным сечением до 25 мм с незакаленной сердцевиной. Несквозная закалка уменьшает деформацию инструмента и благодаря вязкой сердцевине повышает его устойчивость к ударам и вибрациям.

Из сталей У7(А), У8(А), У9(А), обеспечивающих более высокую вязкость, изготавливают инструмент для обработки дерева (топоры, стамески, фрезы), пневматический инструмент небольших размеров (зубила, обжимки, бойки), слесарно-монтажный инструмент (кусачки,

плоскогубцы, молотки, кувалды, отвертки, бородки, кернеры). Эти стали подвергают полной закалке и отпускают на структуру троостита при $t \approx 275...325$ °С (HRC 48–55) или при $t \approx 400...450$ °С (HRC 38–45).

Стали У10(А), У11(А), У12(А), У13(А) подвергают неполной закалке и низкому отпуску при $t \approx 150...180$ °С на структуру мартенсита (HRC 62–64). Из них изготавливают: напильники, машинные и ручные ножовки, накатные ролики, ручные метчики, пресс-формы для пластмасс, гравировальный инструмент, бритвенные ножи и лезвия.

1.2. Низколегированные стали для режущего инструмента

Низколегированные стали содержат до 5 % легирующих элементов, которые вводят для увеличения закаливаемости, прокаливаемости, уменьшения деформаций и опасности растрескивания инструмента. По характеру легирования, свойствам и областям применения стали можно разделить на две группы:

- 1) небольшой прокаливаемости – 7ХФ, 8ХФ, 9ХФ, 11ХФ, 13Х, ХВ4, ХВ5;
- 2) повышенной прокаливаемости – 9ХС, ХГС, 12Х1, 9ХВГ, ХВГ, ХВСГ.

Стали, входящие в первую группу по устойчивости переохлажденного аустенита, незначительно превосходят углеродистые У7–У13, но благодаря легированию хромом, ванадием и вольфрамом имеют повышенные устойчивость против перегрева, износо- и теплостойкость. У сталей второй группы более высокое содержание хрома (0,8–1,7 %), наряду с которым в ряде марок присутствует марганец, кремний, вольфрам. Такое комплексное легирование повышает прокаливаемость, способствует увеличению дисперсности и однородности распределения карбидов, сохранению более мелкого зерна при закалке.

По структуре данные инструментальные легированные стали относят к заэвтектоидным перлитного класса. Их подвергают неполной закалке от температуры несколько выше точки A_1 и низкому отпуску. Структура мартенсита и избыточных карбидов (легированный цементит) обеспечивают им твердость (HRC 62–69) и высокую износостойкость. Их применяют для изготовления инструмента, работающего при небольших скоростях резания, которые вызывают нагрев не свыше 200...260 °С. В отличие от углеродистых эти стали менее склонны к перегреву, из них можно изготавливать инструмент больших размеров и более сложной формы (табл. 1).

Таблица 1

Назначение легированных инструментальных сталей

Сталь	Назначение
1	2
7ХФ	Деревообрабатывающий инструмент (топоры, долота, зубила), ленточные пилы, инструмент для чеканки

11ХФ	Рамные, ленточные пилы, кернеры, метчики диаметром до 30 мм, калибры
ХВ4	Инструмент для чистового резания твердых материалов с небольшой скоростью, граверный инструмент
В2Ф	Ленточные пилы по металлу, ножовочные полотна
Х	Токарные, строгальные резцы, работающие при небольших скоростях резания, зубила, калиберные кольца
9ХС	Сверла, развертки, метчики, плашки, фрезы, клейма, деревообрабатывающий инструмент
ХВСГ	Инструмент для ручной работы (плашки, сверла, развертки, клейма), деревообрабатывающий инструмент, ножи для бумажной промышленности
Х6ВФ	Дереворежущий фрезерный инструмент, ручные ножовочные полотна, пуансоны холодного деформирования

1.3. Быстрорежущие стали

К быстрорежущим относятся высоколегированные стали, предназначенные для изготовления инструмента высокой производительности. Основное свойство этих сталей – высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением большого количества вольфрама совместно с другими карбидообразующими элементами (молибденом, хромом, ванадием).

Вольфрам и молибден в присутствии хрома связывают углерод в специальный труднокоагулируемый при отпуске карбид типа Me_6C и задерживают распад мартенсита. Выделение дисперсных карбидов, которое происходит при повышенных температурах отпуска (500...600 °С), вызывает дисперсионное твердение мартенсита – явление вторичной твердости.

Увеличению теплостойкости способствует также кобальт. Он не образует карбидов, но, повышая энергию межатомных сил связи, затрудняет коагуляцию карбидов и увеличивает их дисперсность.

В результате комплексного легирования инструмент из быстрорежущих сталей сохраняет твердость до 560...650 °С и допускает в 2–4 раза более производительные режимы резания, чем инструмент из углеродистых и низколегированных сталей.

Быстрорежущие стали обозначают буквой Р, после которой стоит число, указывающее содержание (в процентах) вольфрама (Р18, Р12). Содержание ванадия (до 2 %) и хрома (~ 4 % во всех сталях) в марке не указывается. Стали, легированные дополнительно молибденом, кобальтом или имеющие повышенное количество ванадия, содержат в марке соответственно буквы М, К, Ф и числа, показывающие их содержание в процентах (Р6М5, Р10К5Ф5).

Быстрорежущие стали по эксплуатационным свойствам делятся на две группы: нормальной и повышенной производительности.

К сталям нормальной производительности относят вольфрамовые (P18, P12, P9, P9Ф5) и вольфрамомолибденовые (P6M3, P6M5), сохраняющие твердость не ниже HRC 58 до 620 °С.

К группе сталей повышенной производительности относятся стали, содержащие кобальт и повышенное количество ванадия (P6M5K5, P9M4K8, P9K5, P9K10, P10K5Ф5). Они превосходят стали первой группы по теплостойкости (630...650 °С), твердости (HRC 64≤) и износостойкости. Стали повышенной производительности предназначены для обработки высокопрочных, коррозионностойких и жаропрочных сталей и других труднообрабатываемых материалов.

Стали P18, P9, P6M5 применяют для изготовления инструмента всех видов (сверла, резцы, фрезы, зенкеры, метчики и т.д.), используемых при обработке углеродистых и среднелегированных конструкционных сталей с прочностью до 1000 МПа.

Из стали P12Ф3 изготавливают чистовой инструмент (резцы, зенкеры, развертки, сверла и пр.) для обработки на средних режимах резания вязких аустенитных сталей.

Из сталей P9M5, P6M5K5, P18K5Ф2 изготавливают черновой и получистовой инструмент (фрезы, долбяки, метчики, сверла и т.п.) для обработки углеродистых и легированных сталей на повышенных режимах резания, а также для некоторых труднообрабатываемых материалов.

Стали P9M4K8, P12Ф4K5, P18Ф2K8M применяют для изготовления инструмента всех видов, используемого при обработке высокопрочных коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов и конструкционных материалов повышенной твердости.

Порошковые быстрорежущие стали получают распылением жидкой быстрорежущей стали в азоте и последующим горячим компактированием. Металл приобретает высокую плотность и отличается равномерным распределением дисперсных (1 мкм и менее) частиц карбидов.

Порошковые быстрорежущие стали (P6M5Ф3-МП, P7M2Ф6-МП, P12MФ5-МП, P12M3K5Ф2-МП и др.) имеют повышенное количество углерода (1,20–1,75 %) и ванадия (2,3–3,7 %). Благодаря этому они содержат больше высокотвердых дисперсных карбидов типа MeC и как следствие – имеют высокую вторичную твердость (HRC 65–67) и износостойкость (возрастает не менее чем в 1,5 раза по сравнению со сталями, полученными по традиционной технологии).

1.4. Порошковые твердые сплавы

К порошковым твердым сплавам относятся материалы, состоящие из высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой.

При изготовлении твердых сплавов применяют порошковую технологию. Порошки карбидов (WC, TiC, TaC) смешивают с порошком кобальта, выполняющего роль связки, прессуют и спекают при $t \approx 1400...1500$ °С. При

спекании кобальт растворяет часть карбидов и плавится. В результате получается плотный материал, структура которого на 80–95 % состоит из карбидных частиц, соединенных связкой. Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости и повышение прочности и вязкости, т.е. чем больше кобальта, тем сплав менее хрупкий, поэтому применяется для черного точения. Чем меньше кобальта, тем сплав наиболее изнosoустойчив и в то же время хрупкий, поэтому применяется для чистового точения на повышенных режимах.

Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащают резцы, сверла, фрезы и другой режущий инструмент. Такой инструмент сочетает высокую твердость (HRC 74–76) и износостойкость с высокой теплостойкостью (800...1000 °C). По своим эксплуатационным свойствам он превосходит инструмент из быстрорежущих сталей и применяется для резания с высокими скоростями.

В зависимости от состава карбидной основы выпускают три группы порошковых твердых сплавов.

Вольфрамовую группу составляют сплавы системы WC – Co. Их маркируют буквами ВК и числом, показывающим содержание кобальта в процентах: ВК3, ВК6, ВК8, ВК15, ВК20, ВК25. Карбидная фаза сплавов этой группы состоит из зерен WC. Данные сплавы менее хрупкие, чем сплавы с TiC и TaC, менее износостойкие, поэтому применяются для режущего инструмента при обработке материалов с сыпучей структурой (чугуны, цветные металлы, фарфор, керамика, пластмасса, неметаллические материалы), незакаленных углеродистых и легированных сталей при тонких сечениях среза на малых скоростях резания.

Титановольфрамовую группу образуют сплавы системы TiC – WC – Co. Их маркируют буквами Т и К, а также числами, показывающими процентное содержание TiC и Co: Т30К4, Т15К6, Т5К10. Сплавы характеризуются более высокой теплостойкостью (900...1000 °C), чем сплавы первой группы, которая повышается по мере увеличения количества TiC. Титановольфрамовые сплавы широко применяются для высокоскоростной черновой и чистовой обработки сталей.

Титанотанталовольфрамовую группу образуют сплавы системы TiC – TaC – WC – Co. Число, стоящее в марке после букв ТТ, обозначает суммарное процентное содержание карбидов TiC + TaC, а после буквы К – количество кобальта в процентах: ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ17К12, ТТ20К9. От сплавов предыдущей группы эти сплавы отличаются большей прочностью и лучшей сопротивляемостью к вибрациям и выкрашиванию. Их применяют при более тяжелых условиях резания: для черновой и чистовой обработки труднообрабатываемых материалов, жаропрочных и коррозионноустойчивых сталей и сплавов.

Повышение режущих свойств неперетачиваемых пластин из твердых сплавов, которые прикрепляются к державке резца механическим способом, достигается путем нанесения на них износостойких покрытий из карбида

нитрида или карбонитрида титана. Толщина износостойкого покрытия составляет 5...10 мкм и повышает стойкость инструмента в 2–4 раза.

1.5. Сверхтвердые материалы

К сверхтвердым относят материалы, твердость и износостойкость которых выше, чем у твердых сплавов. В промышленности применяют инструмент из таких сверхтвердых веществ, как алмаз, нитрид бора, оксид алюминия и нитрид кремния, в монокристалльной форме или в виде порошков и спеков.

Сверхтвердые материалы широко применяют для оснащения (вставками) лезвийного инструмента (резцы, сверла, торцовые фрезы), а также для чистовой размерной обработки при высоких скоростях резания (100...200 м/мин и более).

Среди сверхтвердых материалов первое место принадлежит алмазу, твердость которого (HV 10000) в 6 раз превосходит твердость карбида вольфрама (HV 1700) и в 8 раз – твердость быстрорежущей стали (HV 1300). Преимущественное применение имеют синтетические алмазы (борт, баллас, карбонадо) поликристаллического строения, которые по сравнению с монокристаллами отличаются меньшей хрупкостью и стоимостью. У алмаза теплостойкость до 800 °С (при большем нагреве он графитизируется). Однако он имеет высокую теплопроводность, снижающую разогрев режущей кромки инструмента при высоких скоростях резания.

Алмазные резцы применяются при обработке цветных металлов и их сплавов, пластмассы, керамики. Для обработки сталей их применять не рекомендуется из-за высокой адгезии к железу.

Большой универсальностью обладает инструмент из нитрида бора BN. Его получают спеканием микропорошков нитрида бора при высоких температурах и давлениях. В зависимости от технологии получения кубический нитрид бора выпускают под названием: эльбор, эльбор-Р, боразон.

По твердости (HV 9000) кубический нитрид бора не уступает алмазу, но превосходит его по теплостойкости (1200 °С) и химической инертности. Отсутствие у кубического нитрида бора химического сродства с железом позволяет эффективно использовать его для обработки различных труднообрабатываемых сталей, в том числе цементованных и закаленных (HRC 60 ≤). При этом высокоскоростное точение закаленных сталей может заменить шлифование, сокращая время обработки.

Применение инструмента с режущими сменными пластинами из керамики, обладающими высокой теплостойкостью (1200...1400 °С), износостойкостью, химической устойчивостью, обеспечивает обработку изделий из чугуна и стали со скоростями резания в 1,5–8 раз более высокими, чем при использовании твердых сплавов.

При обработке резанием применяют керамические материалы нескольких групп:

1. Оксидная керамика, включающая в себя оксид алюминия (99 %) с незначительными добавками оксида магния. К ней относятся марки: ВО-13, ЦМ-332, ВШ-75.

2. Оксидно-карбидная керамика, состоящая из оксида алюминия (60–80 %), карбидов и окислов тугоплавких металлов: ВОК-60, В-3.

3. Оксинитридная керамика, содержащая нитриды кремния и тугоплавких материалов с включениями оксида алюминия: кортинит ОНТ-20, силинит-Р.

Следует также отметить, что из сверхтвердых материалов (алмаз, эльбор, электрокорунд, у которого основа – оксид алюминия) изготавливают абразивный инструмент в виде шлифовальных кругов, брусков, головок, сегментов на различных связках. Применяется при чистовом и окончательном шлифовании различных заготовок, заточке и доводке инструмента.

2. СТАЛИ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Стали для измерительного инструмента должны иметь:

- высокую износостойчивость для того, чтобы инструмент сохранял точные размеры и состояние поверхности, полученные доводкой;
- малоизменяющийся коэффициент теплового расширения при колебаниях температуры;
- удовлетворительную вязкость для того, чтобы инструмент не выкрашивался при случайных ударах в эксплуатации;
- малую деформацию во время термообработки;
- хорошую обрабатываемость для получения высокого класса точности.

Для изготовления измерительного инструмента (плитки, калибры, скобы, лекальные линейки, калибровочные кольца и т.д.) чаще применяют высокоуглеродистые стали У10, У11, У12, низколегированные стали Х, ХГ, ХВГ, 9ХС, обрабатываемые на высокую твердость (HRC 60–64).

После обычной термической обработки в структуре данных сталей обычно присутствует остаточный аустенит, из-за чего она не является стабильной. Для обеспечения высокой твердости стали и стабильности размеров инструмента проводится специальная термическая обработка. Она включает дополнительную обработку холодом при температуре $-50\dots-80$ °С с выдержкой до 30 ч и отпуском при $t \approx 120\dots 140$ °С в течение 24–48 ч.

Плоский инструмент нередко изготавливают из листовых сталей 15, 20, 15Х, 20Х, 12ХНЗА, подвергаемых цементации, или из сталей 50 и 55, закаливаемых с нагревом ТВЧ в поверхностном слое. Поскольку неравновесная структура в этих сталях образуется только в поверхностном слое, происходящие в нем объемные изменения мало отражаются на размерах всего инструмента.

Для инструмента сложной формы и большого размера применяют азотируемую сталь 38Х2МЮА.

3. ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ

Штамповые стали применяют для изготовления штампов холодного и горячего деформирования, пуансонов, матриц, фильер, пресс-форм для литья под давлением.

В зависимости от температурных условий эксплуатации различают штамповые стали для деформирования в горячем и холодном состоянии.

3.1. Штамповые стали для холодного деформирования

Основные свойства, которыми должны обладать стали для штампов и другого инструмента холодной обработки давлением, – высокая твердость, износостойкость, прочность, сочетающиеся с удовлетворительной вязкостью. При больших скоростях деформирования, вызывающих разогрев рабочей кромки инструмента до 450 °С, от сталей требуется достаточная теплостойкость.

В связи с разнообразием условий деформирования, форм и размеров штампов применяют различные стали.

Углеродистые стали У10, У11, У12 и низколегированные стали Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ используют преимущественно для вытяжных и высадочных штампов и пуансонов.

Высокохромистые стали Х12, Х12М, Х12Ф1 обладают высокой износостойкостью и глубокой прокаливаемостью. Их широко применяют для изготовления крупного инструмента сложной формы: вырубных, обрезных, чеканочных штампов, штампов выдавливания, калибровочных волочильных досок.

Хромосилицистые стали 4ХС, 6ХС и дополнительно легированные вольфрамом (2,0–2,7 %) 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, а также 6ХВГ, 6ХЗФС образуют группу сталей повышенной вязкости, используемых для изготовления инструмента, подвергающегося ударам: зубила, гибочные штампы, обжимные матрицы, рубильные ножи, клейма, чеканочные штампы и др.

3.2. Штамповые стали для горячего деформирования

Стали для штампов горячей обработки давлением работают в тяжелых условиях, испытывая интенсивное ударное нагружение, периодический нагрев и охлаждение поверхности. Чтобы обеспечить необходимую стойкость инструмента, стали должны иметь:

- теплостойкость, обеспечивающую необходимое сопротивление пластической деформации;
- вязкость, особенно при работе с динамическими нагрузками;

- износостойкость;
- разгаростойкость, т.е сопротивление термической и термомеханической усталости;
- окалиностойкость, определяющую скорость окислительного износа, особенно выше 600 °С;
- прокаливаемость для достижения равнопрочности по сечению.

В соответствии с указанными требованиями для штампов горячей обработки давлением применяют легированные стали, содержащие 0,3–0,6 % С, которые после закалки подвергают отпуску при 550...680 °С на структуру троостита или троостосорбита. Среди них выделяют несколько групп, обладающих в наибольшей степени теми свойствами, которые необходимы для определенных условий эксплуатации.

Стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости:

- из сталей 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХГМ, 4ХМФС изготавливают молотовые штампы с массой падающих частей до 3 т, для штамповки цветных сплавов, углеродистых и низколегированных сталей;
- стали 5ХНМ, 3Х2МНФ, 5Х2МНФ применяют для изготовления молотовых штампов с массой падающих частей свыше 3 т, иглы горизонтальных прессов, инструмент для высадки, ножи горячей резки.

Стали повышенной теплостойкости и вязкости:

- из сталей 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х5В2ФС изготавливают мелкие молотовые штампы и вставки, инструмент для высадки заготовок, пресс-формы для литья под давлением, для цветных сплавов (алюминиевых и магниевых), иглы для прошивки труб;
- из сталей 4Х3ВМФ, 4Х4ВМФС изготавливают инструмент высокоскоростной машинной штамповки с высокой устойчивостью к смене температур, молотовые и прессовые вставки (до 400 мм), пресс-формы для литья под давлением, для медных сплавов.

Стали высокой теплостойкости 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС, 2Х6В8М2К8 применяют для изготовления тяжелонагруженного прессового инструмента (прошивные и формирующие пуансоны, иглы) при горячем деформировании легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов.

Нетеплостойкие стали 7Х3, 8Х3, Х12, 4ХВ2С повышенной вязкости применяют для изготовления инструмента (пуансонов, матриц) горячей высадки заготовок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей при мелкосерийном производстве на гибочных, обрезных и просечных штампах.

Вопросы для самоподготовки

1. Какие виды инструментальных материалов вы знаете?
2. На какие группы подразделяются материалы для режущего инструмента?
3. Назовите марки углеродистых инструментальных сталей. Расшифруйте их.

4. Назовите марки быстрорежущих сталей.
5. Что такое победиты, из каких компонентов они состоят?
6. Назовите марки сталей для измерительного инструмента и расшифруйте их.
7. Назовите марки сталей для холодного деформирования.
8. Назовите марки сталей для горячего деформирования.
9. Приведите примеры инструмента, изготавливаемого из углеродистых инструментальных сталей.
10. Приведите примеры инструмента, изготавливаемого из легированных инструментальных сталей.
11. Где применяются твердые сплавы?
12. Какие сверхтвердые материалы вы знаете?
13. Какими свойствами должны обладать стали для штампов холодного деформирования?
14. Какими свойствами должны обладать стали для штампов горячего деформирования?

Оборудование

1. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Материаловедение* / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2002 – 687 с.
2. *Конструкционные материалы* / под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение. 1990. – 687 с.
3. *Лахтин, Ю. М.* *Материаловедение : учебник для вузов* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1990 – 528 с.
4. *Колесов, С. Н.* *Материаловедение и ТКМ : учебник для вузов* / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – М. : Высшая школа, 2004 – 519 с.
5. *Новые материалы* / под науч. ред. Ю. С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Материалы для режущего инструмента.....	4
2. Стали для измерительного инструмента.....	9
3. Штамповые стали.....	9
Вопросы для самоподготовки.....	11
Список литературы.....	11

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Классификация, маркировка и назначение сплавов

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Классификация, маркировка и назначение сплавов: Методические указания по выполнению лабораторных работ/ Сост. : А.В. Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 24 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, МАРКИРОВКА И НАЗНАЧЕНИЕ ЧУГУНОВ

1. Цель работы. Изучить структуру, свойства и назначение наиболее используемых в промышленности чугунов.

2. Основные теоретические положения работы.

В зависимости от того, какой металл в сплаве является основным, сплавы подразделяются на:

1. Черные сплавы на основе железа (чугуны, стали)
2. Цветные сплавы на основе меди (латуни, бронзы и др. сплавы), на основе алюминия (деформируемые и литейные сплавы).

ЖЕЛЕЗО (это низкоуглеродистая сталь) служит основой важнейших машиностроительных материалов. Имеет низкое электрическое сопротивление и применяется, главным образом, для магнитопроводов постоянного магнитного поля. По своим свойствам железо подразделяется на: технически чистое железо, содержащее не более 0,04% углерода и является основным компонентом при изготовлении многих магнитомягких материалов, необходимых для магнитопроводов электрических машин, аппаратов и приборов. Промышленностью выпускается в виде электролитического железа (содержащего 0,002 - 0,004% углерода) и карбонильного железа - 0,005 - 0,01% углерода. Сплавы железа применяются в электротехнике для получения высоких значений магнитной индукции и малой коэрцитивной силы.

ЧУГУН - это железоуглеродистый сплав, содержащий более 2% углерода. Поскольку структура чугуна состоит из металлической основы и графита, то и свойства его будут зависеть как от свойств металлической основы, так и от количества и характера графитных включений. Графит обладает низкими механическими свойствами, и поэтому включения в чугуне можно рассматривать как трещины и пустоты. Отсюда следует, чем больший объем занимают пустоты и трещины в чугуне, тем ниже его свойства. Самые низкие механические свойства получаются тогда, когда графитные включения образуют замкнутый скелет. Такие свойства чугуна, как сопротивление разрыву, изгибу, кручению, в основном зависят от количества, формы и размеров графитных включений. Поэтому свойства чугуна так сильно отличаются от свойств стали. В зависимости от того, в какой форме углерод находится в сплаве, различают белый, серый, ковкий и высокопрочный чугун.

БЕЛЫЙ ЧУГУН содержит 2,5 - 3,0% углерода, который находится в химически связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C). Цементит содержит 6,67% углерода, очень хрупок и тверд (HV 850), температура плавления 1550°C. В связи с этим белый чугун обладает высокой твердостью (HV 450-550), хрупкостью и не поддается обработке режущим инструментом. Этот чугун находит огра-

ниченное применение для изготовления прокатных валков, лемехов, плугов, шаров для мельниц и других деталей, работающих в условиях износа. Частично идет на переработку в сталь, а в основном на получение ковкого чугуна.

СЕРЫЙ ЧУГУН содержит 3,2;- 3,8% свободного углерода в виде пластинчатой формы, которая рассматривается в металлической основе чугуна как надрезы и пустоты, снижая его прочностные характеристики. Металлическая основа чугуна зависит от количества углерода и кремния, поэтому может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Наиболее высокими механическими свойствами обладает чугун с мелкими (Графитовыми включениями, измельчение которых достигается за счет модифицирования жидкого чугуна небольшими добавками ферросилиция или силикокальция. Серый чугун находит широкое применение в различных отраслях машиностроения и электромашиностроения. Маркируется буквами СЧ (серый чугун) и двумя цифрами, которые показывают минимальное значение предела прочности чугуна на растяжение. Например, СЧ25, СЧ30 и т.д. (Табл. 1).

КОВКИЙ ЧУГУН обычно содержит 2,4 - 2,8% углерода. Получается из белого чугуна в результате длительного графитизирующего отжига, который проходит в две стадии (Рис. 1).

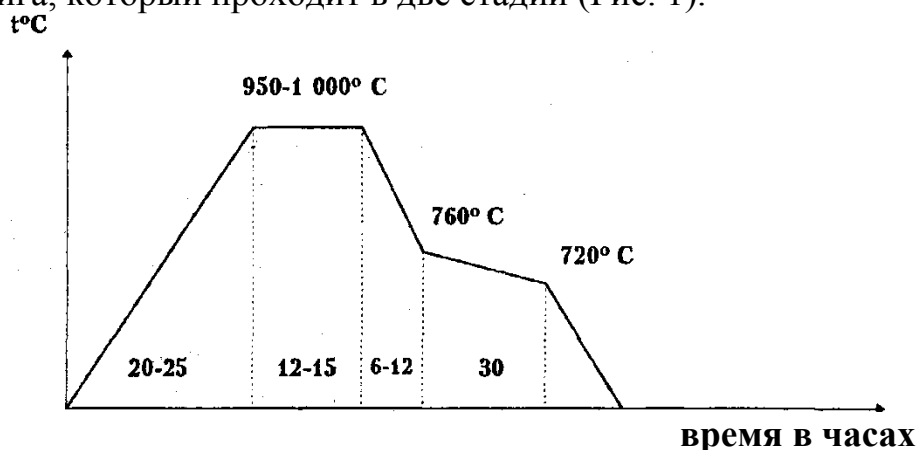


Рис. 1. График режима отжига белого чугуна для получения ковкого чугуна.

Первая стадия заключается в медленном нагреве отливок до 950 - 1000 С и выдержке при этой температуре 12-15 часов. При этом происходит разложение цементита на аустенит и графит. Аустенит - это твердый раствор в Fe.1, держит 2,14% углерода, твердость его (НВ 190), обладает высокой пластичностью. Графит представляет собой темно-серые кристаллы со слабым металлическим блеском, имеет низкую твердость (НВ 3-5).

Вторая стадия заключается в медленном охлаждении отливок до 760-720°C. При этом происходит распад цементита перлита П(Ф+Ц) на феррит и графит. В этом случае структура чугуна состоит из зерен феррита и равномерного распределенного графита хлопьевидной формы. Преимуществом отливок из ковкого чугуна

является однородность свойств по всему сечению и отсутствие внутренних напряжений.

Ковкий чугун разделяют на марки по механическим свойствам. Маркируется следующим образом: КЧ означает ковкий чугун и цифрами - первая показывает предел прочности при растяжении, а вторая - относительное удлинение. Например, КЧ33-8, КЧ63-2 (Табл. 1). Из ковкого чугуна изготавливают детали швейных, трикотажных, счетных и сельскохозяйственных машин.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН содержит 3,0 - 3,5% углерода. Отличительной особенностью этого чугуна являются его высокие механические свойства за счет шаровидной формы графита. Такая форма не оказывает надрезающего воздействия на металлическую основу чугуна, которая может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Шаровидная форма графита может быть получена за счет введения в жидкий чугун эффективных модификаторов - редкоземельных элементов: церий, иттрий, лантан и лигатур на их основе. Высокопрочный чугун также подразделяется на марки в зависимости от механических свойств, причем основными показателями являются предел прочности при растяжении и относительное удлинение. Например, ВЧ45-5, ВЧ70-2 (Табл. 1). Применяется в основном для изготовления деталей ответственного назначения во многих отраслях промышленности.

НЕМАГНИТНЫЙ ЧУГУН применяется тогда, когда наличие магнитных свойств в конструкционном материале может повредить работе электрического прибора или аппарата. Наибольшее применение имеет чугун состава: 2,6 - 3,0% углерода, 2,5 - 2,8% кремния, 5,5-6,0% марганца, 9-12% никеля. Большое электрическое сопротивление этого чугуна дает ему преимущества перед цветными сплавами в отношении потерь на вихревые токи. Немагнитный чугун используется для изготовления крышек и кожухов электромоторов, втулок масляных выключателей, стоек силовых трансформаторов и других деталей. Маркировка, структура, свойства и области применения перечисленных чугунов приведены в таблице 1.

Феррит - твердый раствор углерода в Fe^{α} , содержит 0,008% углерода, имеет твердость (НВ 80-90).

Перлит - механическая смесь зерен феррита и цементита, содержит 0,8% углерода, имеет твердость (НВ 150-250),

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать инструкцию техники безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

- 4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.
- 4.2. Ознакомиться со структурой чугуна по микрофотографиям, а затем под микроскопом.
- 4.3. Получить образцы микрошлифов, изготовленных из белого, серого, ковкого и высокопрочного чугуна.
- 4.4. С помощью микроскопа определить: форму графита в этих чугунах (и зарисовать ее), а также описать и зарисовать схему микроструктур рассматриваемых образцов.
- 4.5. По проделанной работе составляется письменный отчет.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

- 5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
- 5.2. Цель выполняемой работы.
- 5.3. Классификация чугунов, их свойства, маркировка, применение.
- 5.4. Рисунки графитных включений микроструктуры чугуна.

Таблица 1

Структура, механические свойства и назначение чугунов

Марка чугуна	Структура		Механические свойства			Назначение
	Форма графита	Металлическая основа	МПа,	НВ	б, %	
СЧ15 СЧ25	Пластинчатая	Ферритная	98	229	-	Зубчатые колеса, станины, кронштейны и др.
			245	250	-	
СЧ30 СЧ35	Пластинчатая	Феррито-перлитная	294	255	-	Блоки и головки цилиндров, гильзы и др.
			342	269	-	
СЧ40 СЧ45	Пластинчатая	Перлитная	390	285	-	Распределительные валы, седла клапанов, диски.
			440	289	-	
КЧ30-6 435-10	Хлопьевидная	Ферритная	294	163	6	Звездочки приводных цепей, фитинги, детали с/х машин
			362	163	10	
КЧ50-4 КЧ63-2	Хлопьевидная	Перлитная	490	241	4	Детали швейных, счетных, пишущих и др. машин
			615	269	2	
ВЧ35 ВЧ40	Шаровидная	Ферритная	350	170	22	Корпуса электрических машин, крепежных деталей, плит
			400	202	15	
ВЧ45	Шаровидная	Феррито-	450	225	10	Валки прокатных

ВЧ50	ная	перлит- ная	500.	245	7	станов, изложницы, детали с/х машин
ВЧ80	Шаровид	Перлит-	800	351	3	Валки прокатных
ВЧ120	ная	ная	1200	369	2	станов, корпуса па- ровых турбин и др.

6. Вопросы к отчету

- 6.1. Железо, его свойства и области применения в электротехнике.
- 6.2. Что такое чугун? Какие виды чугунов Вы знаете?
- 6.3. Какие формы графитных включений в чугуне Вы знаете?
- 6.4. Как влияют форма и размеры графитных включений на механические свойства чугуна?
- 6.5. В какой форме находится углерод в белом, сером, ковком и высокопрочном чугуне?
- 6.6. Назовите области применения белого чугуна.
- 6.7. Какими особыми качествами характеризуются серые чугуны?
- 6.8. Как получают ковкий чугун и где он применяется?
- 6.9. Как получают высокопрочный чугун? Какими свойствами и за счет чего он отличается от серого и ковкого чугуна?
- 6.10. Приведите примеры маркировки чугунов.
- 6.11. Чем отличается немагнитный чугун от других видов чугунов?
- 6.12. В чем отличие между технически чистым железом, карбонильным и электролитическим железом?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И НАЗНАЧЕНИЕ СТАЛЕЙ

1. Цель работы. Изучить принципы классификации, маркировки и назначения наиболее используемых в промышленности сталей.

2. Основные теоретические положения работы

Основной продукцией черной металлургии является сталь, причем 80% этой продукции изготавливается из углеродистой стали (необходимой для изготовления различных металлоконструкций и изделий машиностроения), а 20% - из легированной. Таким образом, основным металлическим материалом промышленности является уг-

леродистая сталь. Сталь - это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода менее 2%. Достоинством сталей является возможность получать стали с необходимыми свойствами за счет изменения химического состава и вида термической обработки. В настоящее время существует свыше 1700 марок сталей, но несмотря на это разрабатываются новые марки сталей и совершенствуются технологические процессы их получения. Существует несколько классификаций, позволяющих систематизировать стали, что упрощает поиск нужной марки с учетом ее свойств.

Стали классифицируют по **химическому составу, качеству** и по **назначению**. По химическому составу все стали делятся на две группы: **углеродистые и легированные**. В основе классификации сталей по качеству лежит содержание вредных примесей - серы и фосфора. В зависимости от их содержания различают углеродистую сталь обыкновенного качества, качественную и сталь высококачественную. По назначению стали подразделяют на три основные группы: конструкционные, инструментальные (в основу классификации этих сталей положено содержание углерода) и стали с особыми свойствами.

Стали, содержащие до 0,25% углерода, используют как котельные и строительные. Низкое содержание углерода в этих сталях объясняется тем, что детали котлов и строительных конструкций соединяют сваркой, а углерод, как известно, ухудшает свариваемость.

Для деталей, испытывающих ударные нагрузки, применяют стали, содержащие 0,30 - 0,50% углерода, с последующей термообработкой.

Для пружин и рессор используют стали, содержащие 0,50-0,70% углерода после соответствующей термической обработки. К *сталям* с особыми свойствами при их выплавке предъявляются очень высокие требования относительно точного химического состава и чистоты по примесям. К этим сталям относятся: кислотоупорные, жаропрочные, коррозионостойкие, жаростойкие, а также магнитные стали и сплавы, без которых немислимы электрические машины, трансформаторы и электроизмерительные приборы. Основным материалом, используемым в электромашиностроении, является листовая электротехническая сталь, представляющая собой ферритный сплав железа с кремнием (до 0,3% кремния). Кремний способствует увеличению электрического сопротивления, магнитной проницаемости, а также уменьшению потерь на вихревые токи и старению стали.

УГЛЕРОДИСТЫЕ стали обыкновенного качества содержат по 0,05% серы и фосфора, выпускаются в виде проката (листов, прутков, балок и др.). Сталь маркируют буквами Ст и цифрами от 0 до 6, показывающими условный номер марки. Эти стали дешевые, их выпуск составляет 80% от всего производства

леродистых сталей.

Из сталей Ст1 - Ст4 изготавливают арматуру, фермы, рамы. Из сталей марок Ст5 – Ст6 изготавливают рельсы, шкивы, шестерни, а также делали грузоподъемных и сельскохозяйственных машин

Качественные стали содержат до 0,03% серы и фосфора, менее загрязненные неметаллическими включениями, поставляются в виде проката, поковок и других полуфабрикатов. Маркируются двузначными цифрами (15, 50, 80), указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. В зависимости от количества углерода подразделяют на:

низкоуглеродистые (0,5, 08, 10, 15, 25) - отличаются малой прочностью и, высокой пластичностью в холодном состоянии. Производятся в виде тонкого листа для штамповки.

среднеуглеродистые (40, 45, 50, 55) - имеют повышенную прочность, но меньшую пластичность и вязкость. Применяются для изготовления валов, шатунов, зубчатых колес и других деталей.

высокоуглеродистые (65, 75, 80, 85) - применяют в основном для изготовления рессор и пружин в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении.

Высококачественные стали отличаются минимальным содержанием серы и фосфора (по 0,035%). Для обозначения марок легированных сталей принята буквенно-цифровая система, в которой легирующие элементы обозначаются буквами: хром - Х, никель - Н, молибден - М, вольфрам - В, кобальт - К, титан - Т, марганец - Г, азот - А, медь - Д, ванадий - Ф, кремний - С, фосфор - П, алюминий - Ю, ниобий - Б. Марка стали обозначается сочетанием букв и цифр. Например, 17ХН5, в которой первые цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а содержание легирующих элементов, если оно превышает 1%, ставят после соответствующей буквы в целых единицах. Например, 25ХГТ, 45ХЗД2Ю, где 0,45% углерода, 3% хрома, 2% меди и около 1% алюминия. Для обозначения высокого качества стали в конце марки ставят букву А. Например, 15ХНГА и т.д. Высококачественные стали имеют то же назначение, что и качественные, но чаще используются для инструментов с более тонкой режущей кромкой.

Конструкционные стали должны обладать в первую очередь конструктивной прочностью, под которой необходимо учитывать четыре критерия: жесткость конструкции, прочность материала, надежность и долговечность материала в условиях работы данной конструкции.

Автоматные стали отличаются хорошей обрабатываемостью резанием и предназначены для изготовления деталей массового производства на станках-автоматах (болты, гайки, втулки, шайбы, и другие детали). Стали маркируют буквой "А" - автоматная и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях про-

цента. Например, А12, А20, А30. Введение в сталь небольших добавок свинца улучшает обрабатываемость резанием - АС 12, АС20, АС30. Добавки марганца, никеля, хрома повышают прочностные свойства - АС20Г, АС12ХГН и т.д. Поставляются автоматные стали в виде проката различного сечения.

Шарикоподшипниковые стали применяются для изготовления деталей шарикоподшипников (кольца, шарики, ролики), рабочие поверхности которых испытывают высокие переменные нагрузки. Поэтому эти стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, выносливостью. Для изготовления подшипников применяют высокоуглеродистую сталь (до 1% углерода), легированную хромом, марок ШХ6, ШХ9, ШХ15, в которых ШХ - шарикоподшипниковая, хромистая, а цифра показывает среднее содержание хрома в десятых долях процента. Шарики и ролики небольшого диаметра изготавливают из стали ШХ6 и ШХ (диаметром более 22мм - из стали ШХ15, а крупногабаритные подшипники - из стали марки 20Х2Н4А. Для работы подшипников в агрессивных средах используют нержавеющую высокоуглеродную сталь 95Х18.

Пружинно-рессорные стали должны обладать высоким пределом упругости и выносливости при достаточной пластичности и вязкости. Этим требованиям удовлетворяют стали с содержанием 0,50 - 0,70% углерода, основными легирующими элементами которых являются марганец и кремний. Например, 55СГ2, 50ХГ. Крупные, наиболее ответственные пружины, изготавливают из сталей 65С2ВА, 60С2ХФА и др. Более высокая упругая прочность пружин достигается термической обработкой.

Высокопрочные стали. Новейшая техника предъявляет все более жесткие требования к материалам, обладающим высокой прочностью и вместе с этим - пластичностью и вязкостью. В обычных конструкционных сталях предел прочности получается 1100 - 1200 МПа, так как при большей прочности сталь становится хрупкой. Стали, в которых за счет подбора химического состава и специфической термической обработки получают предел прочности 1800 :2500 МПа, называют **высокопрочными**.

К таким сталям относятся стали обычного состава, но мелкозернистые и высокочистые, легированные хромом, вольфрамом, никелем, молибденом, кобальтом и др. Например, высокими прочностными свойствами обладает сталь марки Н18К9М5Т, содержащая: 18% никеля, 8% кобальта, 5% молибдена и 0,8% титана. Такая сталь имеет предел прочности 2100 МПа, относительное удлинение 10%, ударную вязкость 25%. Более высокими прочностными свойствами с хорошей пластичностью и вязкостью обладают стали с минимальным (менее 0,03%) количеством углерода. Основным легирующим элементом является никель (15 - 26%). Например, сталь марки Н25М7К10Т2, содержащая: 25% никеля, 7% молибдена, 10% ко-

бальта и 2% титана, имеет предел прочности 26000 МПа, относительное удлинение 14% с ударной вязкостью 40%.

Однако, высокая стоимость никеля, кобальта и других элементов ограничивает широкое применение таких сталей. В связи с этим, разработаны новые экономнолегированные стали: Н8Х6МТЮ, 10Н4Г4Х2МЮ и др.

Высокопрочные стали используют для изготовления шасси самолетов, оболочек космических летательных аппаратов, прецизионных хирургических инструментов и штампов. Используют эти стали и для криогенной техники, так как при отрицательных температурах они обладают высокой прочностью и достаточной пластичностью.

Инструментальные стали - подразделяются на стали режущего инструмента, измерительного и штампов. Поэтому эти стали выбирают от свойств обрабатываемого металла, качества обрабатываемой поверхности и точности размеров. В связи с этим инструментальные стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, прочностью и теплостойкостью.

углеродистые инструментальные стали содержат 0,65 - 1,35% углерода и подразделяются на марки У7, У8, У9, У10, У 11, У 12, У 13. Буква "У" - углеродистая сталь, а цифра показывает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Из сталей марок У7, У8 изготавливают плоскогубцы, зубила, топоры, молотки. Из сталей У9, У10 - пилы, ножовки, напильники, шаберы. Из сталей У 11, У 12 - штампы для холодной штамповки и небольшие прессформы для пластмасс. Из стали У13 изготавливают инструменты повышенной износостойкости: бритвенные ножи, лезвия, острые хирургические инструменты. Основным недостатком этих сталей является их низкая теплостойкость - при нагреве свыше 200 С твердость инструмента резко снижается.

Легированные инструментальные стали содержат 0,9 - 1,35% углерода. Суммарное содержание легирующих элементов не должно превышать 5%. Хром, вольфрам, марганец, ванадий, кремний используют, главным образом, для повышения прокаливаемости стали, (под прокаливаемостью понимают глубину прокаливания закаленной зоны). Следует заметить, что высокая твердость и износостойкость стали мало зависят от степени легирования. По характеру легирования, свойствам и области применения стали делятся на две группы:

1. Небольшой прокаливаемости (стали марок 9ХФ, ХВ4, 11ХФ, 13Х).
2. Повышенной прокаливаемости (стали марок 9Х, 9ХС, ХГС, ХВГС).

Стали 1-й группы предназначены для изготовления бритвенных ножей, лезвий, хирургического и гравильного инструмента. Стали 2-й группы используются для изготовления режущего инструмента (метчики, плашки, развертки, протяжки) и штампового инструмента ответственного назначения.

Быстрорежущие стали содержат 0,7 - 1,5% углерода и предназ-

начены для изготовления высокопроизводительного инструмента. Основное свойство этих сталей - высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением в сталь большого количества вольфрама совместно с карбидообразующими элементами (кобальт, ванадий, молибден).

Быстрорежущая сталь обозначается буквой "Р", (от слова "рапид" - скорость), а следующая за ней цифра показывает содержание вольфрама в процентах. Например, сталь марки Р6, Р9, Р18, Р20. Если сталь дополнительно содержит молибден, ванадий, кобальт, то в марке указывают буквы М, Ф, К, а цифры их количество в процентах. Например, Р6М5, Р10К5Ф6, Р18Ф2К8М и др. По своим режущим свойствам стали делятся на две группы: нормальной производительности - это вольфрамовые (Р18, Р12, Р9, Р6) и вольфрамомолибденовые (Р6М5, Р9М4, Р12М3). Твердость ВДС 55-60;

- стали, содержащие кобальт и ванадий (Р10К5Ф4, Р9К3Ф5 и др.), сохраняющие твердость НДС 64 при 650 С. Применяются для обработки высокопрочных нержавеющей сталей, где их большая стоимость окупается этим режущим инструментом.

Стали для измерительных инструментов. Измерительные инструменты должны сохранять свою форму и размеры в течение продолжительного времени. Поэтому инструменты должны изготавливать из стали, обладающей высокой твердостью, износостойкостью, а во избежание изменения размеров инструмента иметь минимальный температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛМ). Обычно для измерительных инструментов применяют высокоуглеродистые стали марок У10-У12, Х (1,0% углерода, 1,5% хрома), сталь ХГ (1,5% хрома, 0,6% марганца, 1,5% углерода). Измерительные линейки, скобы, шайбы, плоские и длинные инструменты изготавливают из листовой стали марок 15Х и 15ХГС.

Штамповые стали предназначены для изготовления инструментов, применяемых для обработки металлов давлением. Различают стали для штампов холодного и горячего деформирования.

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой износостойкостью, прочностью, вязкостью. Для их изготовления используют стали марок У10-У12, а для штампов, испытывающих ударные нагрузки - стали марок 5ХС4, 4ХМН, 6ХГМ и др.

Стали для штампов горячего деформирования кроме перечисленных свойств должны обладать жаропрочностью и теплостойкостью. Для штампов, испытывающих большие ударные нагрузки, используют стали с содержанием 0,5 - 0,6% углерода, легированные хромом, никелем, марганцем, увеличивающие прокаливаемость и вязкость стали (5ХНГ, 6ХНТГ, 4ХНСВМ).

Инструмент, работающий с разогревом поверхности до 600-700 С (матрицы, прессформы, для литья алюминиевых сплавов, выталкиватели для отверстий), изготавливают из сталей, содержащих ванадий (4X5B2ФС, 5X4BФЗМ, 6ХВСФ2 и др.).

Для литья металлов с низкой температурой плавления (олово, цинк) прессформы изготавливают из сталей 3ОХГС, 40Х, 45, 60. Прессформы для пластмасс изготавливают из легированных, цементируемых и азотированных сталей марок 9Х18, Х16МФ, 40Х13, 35Х15МС.

Электротехническая сталь изготавливается в виде листов, которые используют для изготовления сердечников трансформаторов, магнитопроводов электрических машин и аппаратов переменного и постоянного тока. Листовая электротехническая сталь подразделяется по: сортаменту (главным образом по толщине), способу производства (холоднокатаная или горячекатаная), степени легированная кремнием, основным магнитным характеристикам (магнитной индукции и удельных потерь). Следует заметить, что удельные потери на перемагничивание тем меньше, чем тоньше лист, поэтому листовую электротехническую сталь изготавливают толщиной 0,1; 0,2; 0,35; 0,50; 1 мм.

Для этих сталей принята иная система маркировки, чем для обычных сталей и маркируются они следующим образом: после буквы "Э" следует две или больше цифр. Первая цифра за буквой "Э" показывает содержание кремния в пределах: 1,8; 2,8; 3,8; 4,8, что соответствует цифрам 1, 2, 3, 4. Вторая цифра характеризует уровень электротехнических свойств (нормальные (1), пониженные, низкие (3) удельные потери при частоте тока 50Гц: цифра 4 - нормальные при частоте тока 400Гц. После первых двух цифр иногда ставят один или два нуля, которые показывают, что сталь холоднокатаная текстурованная (один нуль) и что холоднокатаная слаботекстурованная (два нуля). Например, сталь марки Э12 означает электротехническую горячекатаную, содержащую 1% кремния, второго уровня, а марка Э1200 - такую же сталь, но холоднокатаную слаботекстурованную. Листовая электротехническая сталь разделяется на 34 марки. Стали марок: Э11, Э12, Э21, Э22, Э31, Э32, Э42, Э43 относятся к горячекатаной стали.

Стали марок: Э310, Э320, Э420 относятся к холоднокатаной текстурованной стали.

Стали марок: Э1100, Э1200, Э3100, Э3200, Э4200 относятся к холоднокатаной малотекстурованной стали.

Немагнитные стали применяются, в основном, для изготовления деталей электрических приборов и аппаратов. Ранее для их изготовления использовали латунь и бронзу. В настоящее время применяют более дешевые немагнитные стали марок 55Г9Н9ХЗ, 45Г17ЮЗ, обладающие достаточно высокими механическими свойствами, чем у

бронз и латуней. Однако эти стали не являются коррозионно устойчивыми, «о стойкость у них выше, чем в обычных углеродистых сталях. При одновременном требовании немагнитности и коррозионной устойчивости следует применять нержавеющие стали (типа 12Х18Н12).

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать инструкцию техники безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться со структурой стали вначале по микрофотографиям, а затем под микроскопом.

4.3. Получить образцы стали (доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной); определить, к какому классу сталей они относятся и зарисовать схему микроструктуры рассмотренных образцов. При зарисовке схемы микроструктуры показать стрелкой структурные составляющие с соответствующей надписью (феррит, аустенит, перлит). Рисунки выполнить в квадратной рамке 40 x 40 мм.

4.4. По проделанной работе составляется письменный отчет, в котором указывается стальная часть диаграммы железо-углерод и схемы просмотренных микроструктур.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.

5.2. Цель выполняемой работы.

5.3. Классификация сталей, их свойства, маркировка, применение.

5.4. Рисунки схем просмотренных микроструктур (доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали).

6. Вопросы к отчету

6.1. Что называется сталью?

6.2. Что называется ферритом, аустенитом, перлитом?

6.3. Как классифицируются стали?

6.4. Приведите пример маркировки стали обыкновенного качества.

6.5. Что называется доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталью? Назовите их структурные составляющие.

- 6.6. В чем главное отличие качественных сталей от высококачественных? Как они маркируются?
- 6.7. Расшифруйте стали: А12, А20, АС18, АС20Г, А12Г.
- 6.8. Расшифруйте стали: Р9, Р18, Р6М5, Р20К5, Р12К4Ф6.
- 6.9. Какие стали называются высокопрочными?
- 6.Ю.Расшифруйте стали: У8, У12, У9А, У13А.
- 6.11. Что называется прокаливаемостью стали?
- 6.12. Назовите области применения быстрорежущей стали.
- 6Л3.Расшифруйте стали: ШХ6, ШХ9, ШХ15.
- 6.14. Каким основным свойством обладают быстрорежущие стали?
- 6.15. Из каких марок сталей изготавливают штампы для холодного и горячего деформирования?
- 6.16. Какими свойствами должны обладать стали для измерительных инструментов? Приведите примеры марок этих сталей.
- 6.17. Назовите области применения листовой электротехнической стали. Расшифруйте стали марок: Э12, Э220, Э3200, Э11, Э4200.
- 6.18. Где и с какой целью применяются немагнитные стали?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

МЕДЬ И СПЛАВЫ НА ЕЕ ОСНОВЕ

1. Цель работы: Изучить свойства, маркировку и применение меди и сплавов на ее основе.

2. Основные теоретические положения работы

Медь - пластичный металл красновато-розового цвета с температурой плавления 1083 С, обладает хорошей технологичностью, легко прокатывается в тонкие листы, ленту. Медь хорошо полируется, паяется и сваривается, из нее получают тончайшую проволоку.

Медь характеризуется высокой теплопроводностью и электропроводностью, поэтому является важнейшим проводниковым материалом, лишь незначительно уступая серебру. Половину выпускаемой меди потребляет электротехническая промышленность. Выпускается промышленностью марок: МОО (99,99% меди), МО (99,97% меди), М1 (99,90% меди), М2, М3, М4. Поставляется в виде полуфабрикатов - прутков, полос, листов, лент, проволоки. Электропроводность меди существенно снижается даже при наличии незначительного количества примесей. Прочность и технологические свойства меди также понижаются от минимального количества примесей таких как висмут, свинец, сера, кислород - уменьшают пластичность меди. Поэтому для электротехнических целей используют

электролитическую медь марок МОО, МО, М1.

В зависимости от механических свойств различают медь твердую, холоднокатаную (медь МТ), из нее изготавливают шины распределительных устройств, пластины коллекторных машин и проводов для линий электропередач. Медь мягкую (медь ММ), отожженную при 300-350 С в специальных электропечах без доступа воздуха (во избежание окисления). Из этой меди изготавливают, главным образом, проволоку, которая выпускается в бухтах диаметром от 0,02 до 10 мм. Применяется в качестве токопроводящих жил, кабелей и обмоточных проводов.

Медь нашла самое широкое распространение для изготовления проводов электрических машин и аппаратов (в том числе диаметром, равным тысячным долям миллиметра), стержней, трубок, полос трапециевидного сечения для коллекторных пластин. Необходимо отметить особенности меди при применении в сельскохозяйственном производстве - она усиленно корродирует в атмосфере животноводческих ферм, содержащих пары аммиака.

Из-за малой механической прочности меди (прочность 200-250 Мпа, НВ 45-50, относительное удлинение 45-50%) чистую медь не используют как конструкционный материал, поэтому в отдельных случаях в качестве проводникового материала применяют медные сплавы. По химическому составу медные сплавы подразделяются на три группы: латуни, бронзы и медноникелевые сплавы.

ЛАТУНЬ - это сплав меди с цинком (до 35% - при большем его содержании медь становится хрупкой), обладает повышенной прочностью, коррозионной стойкостью, обрабатываемостью резанием. Латунь наиболее распространенный в приборостроении материал. Латунные полуфабрикаты поставляются в твердом (Т), полутвердом (ПТ) и мягком состоянии в зависимости от способов их получения. маркируются латуни следующим образом: сплав обозначается буквой "Л" - латунь, затем следуют буквы основных легирующих элементов: А - алюминий, Ж - железо, К - кремний, Мц - марганец, Н - никель, О - олово, С - свинец, Ф - фосфор, Ц - цинк, Б - бериллий. Например, латунь марки ЛАЖМц 66-6-3-2 это алюминиевожелезо-марганцовистая латунь, содержит 66% меди, 6% алюминия, 3% железа, 2% марганца, остальное - цинк. Добавки легирующих элементов к латуни придают ей специальные свойства:

Алюминий (до 4%) - повышает прочность, снижает пластичность.

Железо (более 0,03%) придает латуни магнитные свойства.

Кремний повышает литейные и коррозионные свойства.

Марганец (до 4%) повышает упругость и прочность латуни.

Свинец улучшает обрабатываемость резанием.

Никель и олово повышают коррозионную стойкость в морской воде.

По технологическому признаку латуни подразделяют на литейные и деформируемые.

Литейные латуни. В марках этих латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится за буквой, обозначающей его название. Например, ЛЦ40Мц3А содержит 40% цинка, 3% марганца, 1% алюминия. Наиболее применяемыми латунями являются ЛМцЖ 55-3-1, ЛС 59-1, ЛМцОС 58-2-3-4, ЛЖЦ 53-2-1. Эти латуни предназначены для получения фасонных отливок и поставляются в виде чушек различных размеров.

Деформируемые латуни. Выпускаются в виде простых латуней (Л80, Л68, Л65, Л96) и сложных (ЛА 77-2, ЛЖС59-1-2, ЛС552), поставляются в виде проволоки, прутков, полос, лент, листов, труб.

БРОНЗА - это сплав меди со всеми элементами кроме цинка. Название бронзам дают по основным легирующим элементам. Так, их подразделяют на оловянные, алюминиевые, бериллиевые, кремнистые, марганцовистые и т.д. Бронза обладает высокими механическими свойствами (особенно упругими), коррозионностойкая, немагнитна, имеет высокую тепло- и электропроводность. Применяется в приборостроении для изготовления упругих чувствительных элементов (пружин и пружинистых деталей), а также в качестве немагнитного материала.

Оловянная бронза - это сплав меди с оловом (БрОЦС-6-5-3, БрОЦС4-3-4, БрОЗЦ12С5, Бр04Ц4С17 (следует заметить, что в бронзах в качестве легирующей добавки может присутствовать цинк). Маркируется следующим образом: БрОЦС-6-4-2, где Бр - бронза, содержит 6% олова, 4% цинка, 2% свинца, остальное - медь. Поставляется прутками, лентами, полосами и проволокой. Бронзы используют для изготовления круглых и плоских пружин в точной механике, электротехнике, химическом машиностроении и других областях промышленности.

Алюминиевые бронзы обладают высокой прочностью, антифрикционной стойкостью, морозостойки, немагнитны и не содержат дефицитных элементов. Обычно в алюминиевых бронзах содержится 9-11% алюминия, но помимо алюминия бронзы могут быть легированы железом, никелем, марганцем. Например, БрА5, БрАЮ, БрАЖ9-4, БрАЖМц 10-3-1,5, где Бр - бронза, содержит 10% алюминия, 3% железа, 1,5% марганца. Бронза поставляется прутками, лентами, полосами, проволокой. Из алюминиевых бронз изготавливают зубчатые колеса, сальники, детали турбин, электропроводные пружины. Они хорошо работают в условиях износа, повышенного давления и повышенных температур.

Бериллиевые бронзы содержат 2 - 2,5% бериллия. Бериллиевую бронзу марки БрБ2 используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран и других пружинящих деталей. Она химически стойка, хорошо сваривается и обрабатывается

режущим инструментом, поэтому из нее делают электрические контакты и ударный инструмент для работы во взрывоопасных атмосферах.

Кремнистые бронзы применяют в качестве заменителей оловянистой бронзы. Они содержат до 3% кремния. Эти бронзы имеют хорошие литейные свойства, обрабатываются резанием и деформируются в горячем состоянии. Обладают высокой упругостью и антикоррозионной стойкостью, эти бронзы используют для деталей, работающих до 500 С.

Наиболее распространенными являются бронзы БрКН1-3, БрКМцЗ-1, из них изготавливают детали, работающие в тяжелых условиях (штулки, клапаны, плоские и круглые пружины). Иногда эти бронзы используют как заменитель дорогой бериллиевой бронзы.

СПЛАВЫ НА МЕДНОНИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ это в основном резистивные терморезистивные сплавы. Они должны обладать большим удельным сопротивлением, малым температурным коэффициентом сопротивления, не окисляться и не оплаиваться при высокой температуре.

Сплавы высокого сопротивления по своему применению подразделяются на три группы:

1. Для измерительных приборов.
2. Для реостатов.
3. Для электронагревательных приборов.

Основными сплавами для измерительных приборов являются:

Манганин - это сплав, содержащий 86% меди, 12% марганца, 2% никеля, с рабочей температурой до 200°С. Он обладает высоким удельным сопротивлением, технологичен - легко поддается пластической деформации, эмалиевому покрытию (изоляции), хорошо паяется. Выпускается в виде листов, полос, лент, проволоки. Неизолированная манганиновая проволока марок МНМцЗ-12 и МНМцАЖЗ-12-0,2-0,3 изготавливается в виде проволоки диаметром от 0,02 до 6мм. Следует заметить, что манганин - наилучший материал для образцовых резисторов (сопротивлений), магазинов сопротивлений и шунтов.

Константан - это сплав, содержащий 60% меди и 40% никеля. Например, сплав марки МНМц40-1,5 содержит 40% никеля, 1,5% марганца, остальное - медь. По механическим свойствам константан близок к манганину, применяется для изготовления реостатов и электронагревательных элементов, длительно работающих при температуре 450 С.

Реостатные сплавы имеют, как правило, медную основу, но для удешевления стоимости сплава примерно половина содержания никеля заменяется цинком и железом. Длительно допустимая рабочая температура этих сплавов 200-300 С.

Сплавы для электронагревательных приборов имеют в своей основе никель, хром, алюминий. Основные из этих сплавов - нихром, ферронихром, фехраль, хромаль. Наиболее распространенным в производстве является нихром - это сплав, основой которого является никель, а основным легирующим элементом - хром. Отличается высокой рабочей температурой (свыше 1000 С). Из марок нихрома, таких как ХН60Ю, ХН78Т, изготавливают нагревательные элементы для электрических печей, а также применяют для ненагруженных деталей, работающих в окислительных средах.

Сплавы для изготовления термопар применяются в металлургии для замера температуры жидкого металла при его выплавке.

Приводится их химический состав и температура измерений:

копель (56% меди и 44% никеля) до 600 С;

алюмель (95% никеля, алюминий и кремний остальное) до 1000°С;

хромель (90% никеля и 10% хрома) до 950 С;

платинородий (90% платины и 10% родия) 1600-1700°С.

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать инструкцию техники безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться со свойствами, маркировкой и применением меди и сплавов на ее основе.

4.3. Получить протравленные микрошлифы из меди, латуни, бронзы и сравнить их микроструктуру под микроскопом.

4.4. По проделанной работе составляется письменный отчет.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.

5.2. Цель выполняемой работы.

5.3. Свойства, маркировка меди и ее сплавов, их применение.

6. Вопросы к отчету

6.1. Какая медь используется для электротехнических целей?

6.2. Какие примеси и как они влияют на электропроводность

- меди?
- 6.3. Какие сплавы на медной основе Вы знаете?
 - 6.4. Что такое латунь? Какими свойствами она обладает?
 - 6.5. Какие легирующие элементы и как они влияют на свойства латуни?
 - 6.6. Приведите примеры маркировки литейных и деформированных латуней.
 - 6.7. Что такое бронзы? Какими свойствами они обладают?
 - 6.8. Приведите примеры маркировки бронз: оловянистой, алюминиевой, бериллиевой и кремнистой. Где они применяются?
 - 6.9. Какие сплавы высокого сопротивления применяются для измерительных приборов? Дайте им краткую характеристику.
 - 6.10. Что такое нихром? Его свойства, применение.
 - 6.11. Какие сплавы для термопар Вы знаете?
 - 6.12. Где и с какой целью применяются термопары?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

АЛЮМИНИЙ И СПЛАВЫ НА ЕГО ОСНОВЕ

1. Цель работы: Изучить свойства и применение алюминия и сплавов на его основе.

2. Основные теоретические положения работы.

Алюминий - металл серебристо-белого цвета, является одним из наиболее легких конструкционных материалов; его плотность $2,7 \text{ г/см}^3$. Технически чистый алюминий имеет температуру плавления (657°C), незначительную прочность, низкую твердость, но очень высокую пластичность и коррозионную стойкость, немагнитен. Характеризуется хорошей теплопроводностью и электропроводностью, легко обрабатывается давлением и сваривается всеми видами сварки.

Постоянные примеси (железо, кремний, медь, цинк, титан) ухудшают эти свойства. В зависимости от содержания указанных примесей первичный алюминий делится на три группы: особой чистоты (0,001% примесей); высокой чистоты (0,005% - 0,05% примесей); технической чистоты (0,15% - 1,0% примесей) (таблица 1).

Поэтому для электротехнических целей используется алюминий, содержащий не более 0,5% примесей - Благодаря высокой теплопроводности алюминий используется для различных теплообменников, в промышленных и бытовых холодильниках.

АЛЮМИНИЙ является вторым по значению удельной электрической проводимости (после меди) проводником электрического тока. Поэтому имеет широкое применение в производстве конденсаторов, проводов, кабелей. Помимо перечисленных свойств алюминия следует отметить его высокую отражательную способность, в связи с

этим он используется для прожекторов, рефлекторов, экранов телевизоров.

В электропромышленности алюминий нашел широкое распространение для заливки короткозамкнутых роторов асинхронных электродвигателей. Для замены свинца в защитных кабельных оболочках используется алюминий с содержанием примесей не более 0,01%.

Из-за низкой механической прочности алюминий не может быть использован в качестве конструкционного материала. Поэтому алюминий применяется в виде сплавов с металлами и неметаллами (кремний, медь, марганец, железо, никель, титан, бериллий). Полученные алюминиевые сплавы сочетают в себе лучшие свойства чистого алюминия и повышенные прочностные характеристики легирующих добавок. К сплавам, используемым в электротехнике, предъявляются определенные требования по электропроводности, усталостной прочности и способности к изгибу.

Таблица 1

Маркировка и химический состав первичного алюминия

№ группы	Марка сплава	Содержали е алюминия, %	Содержали е примесей, %	Способ получения	Назначение
1.	ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ				
	A999	99,999	0,001	Электротехническим процессом	Для химического анализа (эталон).
2.	ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ				
	A995	99,995	0,005	Путем электролитического рафинирования	Для особой химической аппаратуры, электролитических конденсаторов, исследовательских и других работ.
	A99	99,99	0,010		
	A97	99,97	0,030		
	A95	99,95	0,050		
3.	ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ				
	A85	99,85	0,15	Путем электролиза в электролитных ваннах	Для изготовления фольги, особых случаях плакировки, токопроводящих изделий, получения алюминиевых сплавов спецназначения.
	A8	99,80	0,20		
	A7	99,70	0,30		

	A6	99,60	0,40		Для получения кабельных проводов и приготовления алюминиевых лигатур.
	A5	99,70	0,50		

По технологическому признаку алюминиевые сплавы подразделяются на деформируемые и литейные. Деформируемые алюминиевые сплавы подразделяются в свою очередь на две группы: сплавы, не упрочняемые термической обработкой и сплавы, упрочняемые термической обработкой, (термообработка заключается в закалке и старении).

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой

К этим сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем и сплавы алюминия с магнием, обозначаются соответственно АМц и АМг. Наибольшее применение имеют сплавы марки АМц (содержат до 1,6% марганца) и сплавы АМг2, АМг3, АМг5, АМгб, где цифра указывает среднее содержание магния в процентах. Магний в сплаве эффективно действует как упрочнитель, например сплав АМгб имеет прочность в три раза больше, чем алюминий. Марганец не только упрочняет сплав, но и повышает его коррозионную стойкость.

Требуемую прочность сплавов АМц и АМг можно повысить только в результате холодной пластической деформации и используют в негартованном (АМгН 80% наклепа) и полугартованном (АМг 40% наклепа) состояниях. Поставляются эти сплавы в виде фасонных профилей, лент, листов, проволоки. Сплавы широко применяются в производстве радиоаппаратуры, их них изготавливают баки для агрессивных жидкостей, трубопроводы. Сплав АМгб применяется для изготовления кузовов автомобилей и рам вагонов, электромачт и др.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой

К ним относятся сплавы системы алюминий-медь-магний, в которые дополнительно вводится марганец с целью повышения коррозионной стойкости. Маркируются сплавы буквой "Д", а цифры являются условными номерами сплавов, например: Д1, Д2, Д16, Д18.

Более известны сплавы Д16 и Д18, содержащие 4,5% меди, 1,6% магния, 0,7% марганца. Дуралюмины повышенного качества обозначают буквой "А", например Д18А. Основным способом защиты листов дуралюмина от коррозии является плакирование (на поверхность

листа наносят тонкий слой чистого алюминия). Эти сплавы обладают повышенной прочностью, легко деформируются как в горячем, так и в холодном состоянии.

Дуралюмины широко применяются при изготовлении деталей конструкций электротехники, в авиации. Из сплава Д1 изготавливают лопасти воздушных винтов, из Д16 - тяги управления. Сплав Д18 является одним из основных заклепочных алюминиевых сплавов.

Высокопрочные алюминиевые сплавы, кроме меди и магния, содержат цинк. Типичными представителями этих сплавов являются сплавы марок В95 и более прочный В96, содержащий 2% меди, 6% цинка, 0,5% магния и др. Эти сплавы обладают высокой прочностью и пластичностью. Высокая прочность сплавов обеспечивается легированием их цинком и магнием. Применяется в самолетостроении (обшивка, силовые каркасы), в электротехнической промышленности (изготовление лопастей мощных электровентиляторов).

Алюминиевые сплавы дляковки и штамповки отличаются высокими пластичными и литейными свойствами. Маркируются буквами АК - алюминиевые ковочные сплавы, например: АК1, АК6, АК8, а цифры указывают номер сплава. Из сплавов АК6 и АК8 изготавливают подмоторные рамы, лопасти винтов вертолетов и крепежные детали электромоторов.

Жаропрочные алюминиевые сплавы используются для деталей, работающих при температурах до 300°C. Эти сплавы имеют сложный химический состав, они дополнительно легированы железом, никелем и титаном. Наибольшей жаропрочностью обладает сплав марки Д20 за счет высокого содержания меди, марганца и титана. Применяются для изготовления поршней, осевых дисков компрессоров турбореактивных двигателей, обшивки сверхзвуковых самолетов и при изготовлении деталей конструкций в электротехнической промышленности.

Таблица 2

**Химический состав и назначение
литейных алюминиевых сплавов**

Марка сплава	Химический состав в %				Назначение
	Магний	Кремний	Марганец	Медь	
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - КРЕМНИЙ					
АЛ2	0,25	12,0	-	-	Корпуса электроприборов, турбонасосных агрегатов, головок блоков цилиндров и других тонкостенных отливок.
АЛ4	0,25	9,0	0,4	-	
АЛ9	0,35	7,0		-	
АЛ9В	0,40	5,0	-	1,5	
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - МЕДЬ					

АЛ7	-	-	-	4,5	Сложная электротехническая арматура, кронштейны, стойки, держатели.
АЛ19	-	-	0,85	5,0	
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ -МАГНИЙ					
АЛ8	10,5	-	-	-	Для деталей, работающих в условиях высокой влажности (детали приборов, баранки
АЛ13	10,5	-	-	-	
АЛ22	10,5	-	-	-	штурвалов).
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - ДР. КОМПОНЕНТЫ					
АЛ1	1,75	-	-	4,5	Различные детали в автомобильном и тракторном машиностроении.
АЛ20	1,20	2,0	-	4,0	
АЛ25	1,60	12,0	-	0,2	
ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ					
АЛ26	0,6	22,0	0,3	2,5	Поршни, головки цилиндров, блоки и другие детали, работающие при температуре свыше 300° С.
АЛ30	1,3	13,0	0,2	1,5	

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) получают путем брикетирования, спекания и прессования порошков стандартных алюминиевых сплавов (А999, А995, А85). Выпускаются промышленностью в виде листов, профилей, труб, проволоки. Эти сплавы нашли широкое применение в самолето- и ракетостроении (клапаны гидравлических и топливных систем), в электрической (конденсаторы, обмотки электродвигателей, теплообменники, компрессорные диски). Обладая высокой коррозионной стойкостью, применяются в судостроении и реакторах.

Алюминиевые сплавы для линий электропередач. Для больших расстояний между опорами используется алюминиевый сплав "альдрей", содержащий 0,4% магния, 0,6% кремния, 0,25% железа. Сплав такого состава по прочности приближен к твердотянутой меди. Широко применяется и сталеалюминиевый провод, сердечник которого свитый из стальных жил и обвитый снаружи алюминиевой проволокой. В проводах такого типа механическая прочность определяется стальным сердечником, а электропроводность - алюминием.

Литейные алюминиевые сплавы содержат тяжелые легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9-13%). Эти сплавы обладают большой жидкотекучестью и предназначаются, в основном, для изготовления самых сложных по форме литых отливок. Промышленностью выпускается свыше 35 марок литейных алюминиевых сплавов, которые класси-

фицируются по химсоставу, маркировка и назначение которых приведены в таблице 2.

Сплавы маркируются буквами АЛ - алюминий литейный, а цифры обозначают порядковый номер сплава. Основным видом сырья для получения литейных алюминиевых сплавов является сплав алюминия с кремнием -силумин. Это объясняется тем, что структура этих сплавов состоит из твердого раствора и эвтектики, содержащей от 4 до 13% кремния. Чем больше эвтектики, тем лучше ли-

тейные свойства сплава. Силуминовые сплавы применяются в основном для изготовления литых деталей приборов, в том числе и тонкостенных отливок.

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать технику безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться со структурой алюминиевых сплавов.

4.3. Получить образцы микрошлифов, изготовленных из чистого алюминия и силумина.

4.4. Полученные шлифы просмотреть под микроскопом и схематично, но правдоподобно зарисовать наблюдаемые микроструктуры.

4.5. Рисунки выполнить в квадратной рамке 40 мм x 40 мм и стрелками указать названия отдельных структурных составляющих.

4.6. По проделанной работе составить письменный отчет.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.

5.2. Цель выполняемой работы.

5.3. Законспектировать свойства, маркировку и применение алюминиевых сплавов.

5.4. Рисунки сравнительных микроструктур чистого алюминия и сплава алюминия с кремнием (силумина).

6. Вопросы к отчету

6.1. Как маркируется алюминий: особой чистоты, высокой и

технической чистоты?

6.2. Приведите примеры деформируемых сплавов, не упрочняемых термической обработкой. Их свойства и применение.

6.3. Свойства и применение деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой.

6.4. Приведите примеры высокопрочных алюминиевых сплавов. Какими свойствами они обладают и где применяются?

6.5. Какие алюминиевые сплавы применяются дляковки и штамповки?

6.6. Какой алюминиевый сплав используется для проводов линий электропередач?

6.7. В чем отличие литейных алюминиевых сплавов от деформируемых?

6.8. Приведите примеры литейных алюминиевых сплавов и как они маркируются по химическому составу?

6.9. Чем отличается структура чистого алюминия от структуры сплава алюминия с кремнием (силумина)?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тареев Б.М. Электротехнические материалы. М.: Гоэнертоиздат; 1958.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В. В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергия, 1969.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьев В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1972.
4. Корицкий Ю.В. Электротехнические материалы. М.: Энергия, 1976.
5. Савровский Д.С., Головня В.Г. Конструкционные материалы и их обработка. М.: Высшая школа, 1976.
6. Пястолов А.А., Мешков А.А., Вахрамеев А.Л. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования. М.: Колос, 1981.
7. Козлов Ю.С. Материаловедение. М.: Высшая школа, 1983.
8. Ян Штоф. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Ю.Арзамасов Б.Н., Косолапов Г.Ф., Рыжов М.Н. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1986.
11. Кнорозов Б. В., Усова Л.Ф. и др. Технология металлов и материаловедение. М.: Металлургия, 1987.
12. Корицкий Ю.В., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Справочник по электротехническим материалам. М.: Энергоатомиздат, том 1, 2, 3, 1988.
13. Арзамасов А.А., Брострем В.А., Буше Н.А. и др. Конструкционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.

СОДЕРЖАНИЕ

РАБОТА № 1	
Структура, свойства и назначение чугунов.....	3
РАБОТА № 2	
Классификация, маркировка и назначение сталей.....	7
РАБОТА № 3	
Медь и сплавы на ее основе	14
РАБОТА № 4	
Алюминий и сплавы на его основе	18

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Проводниковые материалы

Методические указания
к лабораторной работе

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Проводниковые материалы: Методические указания к практическим занятиям / Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 9 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Цель: Изучить свойства и применение материалов с высокой удельной электрической проводимостью.

Основные теоретические положения работы.

Все материалы обладают способностью проводить электрический ток, но в разной степени. В качестве проводников электрического тока могут быть использованы как твердые тела, так и жидкости. Важнейшими в электротехнике твердыми проводниковыми материалами являются металлы и их сплавы.

Из металлических проводниковых материалов могут быть выделены металлы с высокой удельной электрической проводимостью (не более 0,05 мкОм), и с высоким удельным электрическим сопротивлением (не менее 0,3 мкОм).

Главными и самыми важными свойствами всех проводниковых материалов независимо от их применения, является их удельная электрическая проводимость и удельное электрическое сопротивление. Кроме этих значений требуются и другие специальные свойства, зависящие от вида применения материала. Например, от материалов для контактных проводов электрифицированного транспорта требуется высокая стойкость действию электрической дуги (дугостойкость); от материалов для припоев и плавких вставок - низкая температура плавления. Для материалов, которые в эксплуатации подвергаются большим механическим нагрузкам, очень важны их механические свойства: прочность при растяжении, сжатии, изгибе, кручении, стойкость к истиранию, твердость. У контактных материалов главным показателем свойств является стойкость материала к эрозии, вызванной электрической дугой, возникающей при замыкании и размыкании контакта. Важным показателем свойств материалов для плавких вставок и припоев является температура плавления.

Проводниковые материалы используются, прежде всего, для изготовления кабелей и проводов. Поэтому они должны удовлетворять ряду требований:

- иметь большую удельную электрическую проводимость;
- иметь большой коэффициент теплопроводности;
- иметь хорошие механические свойства как при обработке, так и при механической нагрузке и эксплуатации;
- хорошо обрабатываться при экономически допустимых расходах на обработку;

легко и надежно паяться, свариваться и т.п.

Материалы высокой проводимости

С точки зрения электрических свойств, лучшим проводниковым материалом является медь, которую получают в основном путем переработки сульфидных руд (CuS , и Cu_2S), а после электролитической очистки получают чистую катодную медь.

Медь - распространенный проводниковый материал так как в полной мере отвечает общим требованиям, предъявляемым к материалам высокой проводимости.

Наибольшую электрическую проводимость имеет чистая медь, которая поставляется как в мягком (ее отжигают в печи без доступа воздуха), так и в твердом состоянии. Для электротехнических целей применяют катодную медь марок: МОк (99,95% Си), М1 к (99, 90 % Си) и безкислородную-М00,М1.Из этих марок меди изготавливают слитки, которые затем прокатывают и протягивают в изделия необходимого поперечного сечения. Из этих марок также изготавливают пластины коллекторов электрических машин, электромеханизмов, электроприборов. Прокаткой из слитков получают катанку круглого сечения диаметром 6-12 мм, а из неё уже изготавливают проволоку диаметром 0,020-9,5 мм в мягком (ММ) и твердом (МТ) состоянии, а также проволоку для воздушных линий электропередач связи (МС).

Из медной катанки изготавливают проволоку прямоугольного сечения, ленты, мягкие и твердые шины. Листы и полосы бывают мягкие, полутвердые и твердые изготовленные из марок меди М1,М2,М3 и поставляются по ГОСТу.

Для изготовления фольгированных диэлектриков электрическим осаждением применяют медную фольгу марки ФМЭ с толщиной оксидированного слоя 0,15-0,30 мм, которую поставляют в виде рулонов и листов согласно ГОСТ.

Сплавы меди с оловом, бериллием, кадмием, кремнием, алюминием и др. нашли широкое применение благодаря лучшим, по сравнению с чистой медью. механическим свойствам.

Важнейшим из сплавов меди являются бронзы, из них наиболее лучшие – бериллиевая и кадмиевая.

Бериллиевые бронзы применяют для изготовления токоведущих пружин, скользящих контактов, электродов и т.п.

Кадмиевые бронзы- для изготовления контактов, троллейбусных проводов и коллекторных пластин. Они обладают большим сопротивлением к истиранию с рабочей температурой до 250°С.

Сплавы меди с цинком (латуни) имеют существенно худшие электрические свойства, чем бронзы. Однако они обладают высоким относительным удлинением и прочностью при растяжении, что дает латуни технологические преимущества при обработке её ковкой, штамповкой, вытяжкой. В соответствии с этим латунь широко применяют в электротехнике для изготовления всевозможных токоведущих деталей.

АЛЮМИНИЙ. Причины замены меди алюминием носят экономический и стратегический характер, так как медь является дорогим дефицитным материалом, а алюминий относится к самым распространенным элементам в земной коре. Электропроводность чистого алюминия составляет 60% электропроводности чистой меди. Коэффициент линейного расширения, удельная теплоемкость, теплота плавления у алюминия больше, чем у меди. Для электротехнических целей используют алюминий, содержащий не более 0,5% примесей, так как они в различной степени снижают удельную проводимость алюминия. Прокатка, протяжка и отжиг

алюминия аналогичны операциям над медью. В зависимости от химического состава алюминий подразделяют на алюминий особой чистоты (А85, А8, А7, А6), высокой частоты (А995, А97, А95) и технической чистоты. Из него изготавливают чушки гостированного сортамента и массы, предназначенные для изготовления проволоки для кабелей, проводов, сварочных работ и др. целей.

Прокаткой из слитков получают алюминиевую катанку в полутвердом состоянии АКЛП, а непрерывным литьем и прокаткой получают катанку в твердом состоянии. Катанку изготавливают из алюминия марок А7, А5 с нормированными размерами, механическими свойствами и удельным электрическим сопротивлением.

Для неизолированных проводов электропередач из алюминиевой катанки изготавливают проволоку АМ(мягкая), АПТ (полутвердая), АТ (твердая) с нормированными размерами и свойствами.

Из алюминия может прокатываться фольга толщиной до 0,6-0,7 мкм, применяемая в качестве электродов бумажных и пленочных конденсаторов. Алюминий активно окисляется и покрывается тонкой оксидной пленкой с большим электрическим сопротивлением, что делает невозможной пайку алюминия обычными методами. В местах контакта алюминия и меди возможна гальваническая коррозия, поэтому места соединения медных проводников с алюминиевыми должны тщательно покрываться лаками, смолами и другими электроизоляционными материалами.

Для замены свинца в защитных кабельных оболочках, используется алюминий, содержащий не более 0,01% примесей, который обладает пластичностью и высокой коррозионной стойкостью.

Алюминиевые сплавы - это сплавы алюминия с кремнием, магнием, марганцем, медью, железом и др., обладают повышенной механической прочностью. Например, сплав "Альдрей", содержащий 0,4% магния, 0,6% кремния, 0,2% железа (ост. А1). Этот сплав имеет высокие механические свойства после соответствующей термической обработки. Из этого сплава изготавливают проволоку, которая сохраняет легкость алюминия и близкую к нему удельную электрическую проводимость, а по механической прочности приближается к твердотянутой меди.

Сталеалюминевый провод - широко применяется в линиях электропередач, представляет собой сердечник свитый из стальных жил, а снаружи обвитый алюминиевой проволокой марки АС. В проводах такого типа механическая прочность определяется стальным сердечником, а электрическая проводимость - алюминием. Увеличенный наружный диаметр этого провода по сравнению с медным на линиях передач высокого напряжения является преимуществом, так как уменьшается опасность возникновения «короны» за счет сниженности электрического поля на поверхности провода.

Железо- (сталь) наиболее доступный и дешевый металл с высокой механической прочностью и представляет большой интерес для использования его в качестве проводникового материала. Применяют в

основном малоуглеродистые стали, содержащие 0,10-0,15% углерода с удельной электрической проводимостью в 6-7 раз меньшую по сравнению с медью. Такую сталь используют для проводов воздушных линий электропередач небольших мощностей, для шин, рельсов трамваев, электрических железных дорог. Применение стали для линий электропередач выгодно, так как при малой силе тока сечение провода определяется не электрическим сопротивлением, а его механической прочностью. Поверхность стальных проводов покрывают цинком с целью защиты их от коррозии.

В качестве токопроводящей жилы в кабелях используют оцинкованную проволоку типа (КО), которую изготавливают из низкоуглеродистой стали диаметром 0,5-0,6 мм.

Биметаллы - это проводниковый материал, полученный комбинированием двух металлов с различными удельными сопротивлениями. Применяется с целью уменьшения расходов цветных металлов в проводниковых конструкциях. Биметалл представляет собой сталь, покрытую снаружи слоем меди, причем оба металла соединены друг с другом прочно и равномерно по всей поверхности их соприкосновения. Прочность биметалла больше, чем меди, а электрическая проводимость меньше. Расположение меди в наружном слое очень важно: с одной стороны достигается высокая проводимость всего провода, с другой - медь защищает под ней сталь от коррозии. Из проводникового биметалла изготавливают шины для распределительных устройств, полосы для рубильников и различные токопроводящие части электрических машин и аппаратов. Биметаллическую проволоку применяют для линий связи, линий электропередач и др.

Дефицитные и дорогостоящие металлы, применяемые в электротехнике.

Вольфрам – тяжелый, твердый металл с высокой температурой плавления. После обработки его ковкой или волочением приобретает волокнистую структуру, чем и объясняется гибкость вольфрамовых нитей. Он является одним из важнейших металлических материалов электровакуумной техники.

Молибден – широко применяется в электровакуумной технике марки

Мч (чистый молибден) и Мк (молибден с кремнием), который обладает повышенной прочностью при высоких температурах. Применяется в основном в качестве материала для электрических контактов.

Золото – обладает высокой пластичностью, используется как контактный материал для коррозионностойких покрытий, электродов фотоэлементов.

Серебро – наносят на диэлектрики в качестве электродов в производстве керамических и слюдяных конденсаторов. Проволоку из серебра используют для изготовления контактов, рассчитанных на небольшие токи.

Платина – химически стойкий металл, прекрасно поддается механической обработке, вытягивается в очень тонкие нити и ленты.

Применяется для изготовления термопар, а тонкие нити для подвесок подвижных систем в электрометрах и др. чувствительных приборах.

Свинец – мягкий малопрочный металл, обладает высокой коррозионной стойкостью, применяется в кабельном производстве- для оболочек защищающих изоляцию кабелей от влаги. Из него изготавливают плавкие предохранители и пластины свинцовых аккумуляторов.

Олово – мягкий металл, позволяющий получать путем прокатки тонкую фольгу, необходимую в производстве некоторых типов конденсаторов.

Цинк – применяется в качестве защитных покрытий, из него изготавливают электроды гальванических элементов, а также для металлизации бумаги в металлобумажных конденсаторах.

Ртуть – единственный металл, находящийся в жидком состоянии. Большинство металлов растворяются в ртути, образуя амальгамы. Поэтому, приборы, содержащие ртуть, должны иметь арматуру из вольфрама, тантала, железа, так как эти металлы нерастворимы в ртути.

МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель : Изучить области применения этих материалов для измерительных приборов, для термоэлектродов термопар и для нагревательных элементов.

Общие требования и классификация.

Материалом высокого сопротивления называют проводниковый материал, у которого удельное электрическое сопротивление не менее $0,3 \times 10^6$ Ом м. Классифицируют их в основном по области применения и требований, предъявляемым к этим материалам.

По области применения эти материалы разделяют на три основные группы:

- материалы для изготовления резисторов и образцовых сопротивлений.
- материалы для термоэлектродов термопар.
- материалы для электронагревательных элементов.

Ко всем этим материалам предъявляются следующие требования:

Кроме большого удельного электрического сопротивления, должны обладать высокой стабильностью сопротивления во времени и коррозионной стойкостью, малым температурным коэффициентом удельного сопротивления и малой термо-ЭДС относительно меди, высокой жаропрочностью, стойкостью к окислению, химическим реагентам, механической нагрузке и пластичности, необходимой для получения изделий различного сортамента и нагревателей.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЗИСТОРОВ И СОПРОТИВЛЕНИЙ.

В качестве этих материалов чаще всего используют медные сплавы:

Манганин марки МНМц 3-12 состава: 3% никеля, 12% марганца, остальное медь. Этот сплав обладает высокой стабильностью сопротивления во времени, малая термо-ЭДС в паре с медью, малое изменение удельного сопротивления с изменением температуры. Из манганина изготавливают тонкие листы и очень тонкую проволоку, на которую можно накладывать эмалево-волоконистую изоляцию. Применяется для изготовления образцовых резисторов и сопротивлений.

Константан марки МНМц 40-1,5 состава: 40% никеля, 1,5% марганца, остальное медь. Особым достоинством константана является то, что на его поверхности образуется оксидный электроизоляционный слой, что позволяет использовать константан без дополнительной изоляции.

Преимуществом этих сплавов является небольшое изменение удельного сопротивления с изменением температуры и хорошие механические свойства.

Недостатком манганина и константана является низкая рабочая температура: у манганина 60°C , а у константана не выше 400°C . Главным недостатком константана пользуются при изготовлении термопар для измерения температуры до 700°C . Применяется он также для изготовления различных нагревательных элементов.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОПАР.

Эти материалы подразделяют на материалы для термоэлектродов и материалы для удлиняющих компенсационных проводов. Чтобы изготовить чувствительную термопару, для термоэлектродов выбирают материалы, очень отличающиеся друг от друга термо-ЭДС. Кроме того, материалы для термопар должны обладать высокой коррозионной стойкостью в рабочих средах и не очень высоким удельным сопротивлением. Для всех термопар рекомендуемой рабочей атмосферой является окислительная среда. Проволоку для термопар хромель, алюмель, копель изготавливают диаметром от 0,2 до 5 Ом* м, а проволоку из химически чистой платины и платины с родием от 0,1 до 1 Ом* м.

Для изготовления термопар в промышленности применяют следующие сплавы с диапазоном рабочих температур:

- **копель** (50% меди и 44% никеля) – до 350°C .
- **алюмель** (95% никеля и, остальное алюминий, кремний, магний) – до 900°C .
- **хромель** (90% никеля и 10% хрома) – до $900-1000^{\circ}\text{C}$.
- **платинородий** (90% платины и 10% родия) – до 1600°C .
- **вольфрам-рений** - выше 2000°C .

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Эти материалы должны длительно работать на воздухе, в вакууме или газовой среде при высоких температурах. Поэтому к ним предъявляются следующие важнейшие требования:

- высокая жаростойкость и высокое электрическое сопротивление;
- хорошая стойкость к окислению и химическим реагентам;
- пластичность, необходимая для промышленного получения проволоки и ленты.

Для электронагревательных элементов в основном применяются сплавы на основе железа. Сплавы системы железо-никель-хром называются **нихромами**, а с повышенным содержанием железа- **ферронихромами**. Сплавы системы железо-хром-алюминий называют **фехралами и хромалями**. Эти сплавы обладают большой твердостью, хрупкостью. Основные промышленные элементы электрических нагревателей изготавливают из сплава железо-хром-никель с рабочей температурой 800-1200⁰С. Высокая жаростойкость таких элементов объясняется введением в их сплавы больших количеств никеля, хрома, алюминия. Эти элементы способствуют образованию оксидных пленок, растрескивание которых происходит при резких сменах температуры. Поэтому при многократном включении электронагревательного элемента он может перегореть значительно скорее, чем при непрерывной его работе. Однако, длительность работы электронагревательных элементов из нихрома и других сплавов может быть увеличена при исключении доступа кислорода к поверхности проволоки. В трубчатых электронагревательных элементах спираль из проволоки проходит по оси трубки. Промежуток между проволокой и трубкой заполняется порошком диэлектрика(магнезией MgO). Такие нагревательные элементы применяются в электроплитках, холодильниках, кипятильниках и могут работать длительное время без повреждений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ОТЧЕТУ

1. Дайте классификацию проводниковых материалов.
2. Какими основными параметрами определяют свойства проводниковых материалов?
3. Какие электротехнические материалы относятся к проводникам?
4. Какие свойства проводниковых материалов являются главными?
5. Какие требования к проводниковым материалам и какие материалы им соответствуют?
6. Почему медь заменяется алюминием? Какие он имеет преимущества и недостатки?
7. Что такое биметаллические проводники?
8. Какие дефицитные и дорогостоящие металлы применяются в электротехнике?
9. Что называется материалом высокого сопротивления и какие важнейшие требования предъявляются к этим материалам?
10. Какие требования предъявляются к материалам для изготовления реостатов и резисторов?
11. Какие материалы высокого электрического сопротивления являются наиболее распространенными? Укажите на их преимущества, недостатки, применение.

12. Для каких целей используются сплавы высокого сопротивления? Их свойства и состав?
13. Какие требования предъявляются к сплавами для термопар?
14. Укажите химсостав и допустимые температуры измерений термопар?
15. Какие важнейшие требования предъявляются к материалам для нагревательных элементов?

Оборудование

2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тареев Б.М. Электротехнические материалы. М. : Госэнергоиздат, 1988.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л. : Энергия, 1979.
3. Корицкий Ю.В Электротехнические материалы. М. : Энергия, 1986.
4. Ян Штоф. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. М. : Энергоатомиздат, 1984.
5. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л. : Энергоатомиздат, 1985.
6. Корицкий Ю.В., Пасынков В.В., Тареев Б.М. М. : Энергоатомиздат, том 1,2,3, 1988.

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы высокой проводимости.....	3
Материалы высокого электрического сопротивления.....	6
Контрольные вопросы к отчету.....	8
Список литературы.....	8

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Термическая обработка сплавов

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Направление подготовки

35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Термическая обработка сплавов: Методические указания по выполнению лабораторных работ/ Сост. : А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В.Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 25 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

РАБОТА № 1 ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Известно, что с помощью термической обработки можно сильно изменить свойства стали. Например, после отжига сталь пластичная, после закалки становится хрупкой, твердой.

Основы теории термической обработки заложил Д.К.Чернов. Он нашел в стали критические температуры (критические точки Чернова), при которых происходят изменения в структуре. Основные критические точки для стали приведены в табл. 1.

Теорию термической обработки проще рассматривать на стали с содержанием 0,8% С (сталь 80 или У8), так как в этой стали имеется только одна критическая точка A_1 (рис. 1).

Преобразования в стали, описываемые диаграммой Fe-Fe₃C, относятся только к случаю очень маленьких скоростей охлаждения, т. е. происходят в условиях равновесия.

Таблица 1

Критические точки в стали

Обозначение критической точки	Линии на диаграмме Fe-Fe ₃ C, где находятся критические точки	Преобразование, происходящее в критической точке
A_1 (имеет место для всех сталей и чугунов)	PSK (температура 727°C)	Аустенит превращается в перлит при охлаждении или перлит в аустенит при нагревании $A \leftrightarrow П$
A_3 (только для доэвтектоидной стали)	GS (в зависимости от содержания углерода температура может изменяться от 910° до 727 °C)	Начало выделения феррита из аустенита при охлаждении или конец перехода феррита в аустенит при нагревании
$A_{ст}$ (только для заэвтектоидной стали)	ES (в зависимости от содержания углерода температура может изменяться от 1147° до 727 °C)	Начало выделения Ц_{II} из аустенита при охлаждении или конец растворения Ц_{II} в аустените при нагревании

Например, аустенит в равновесных условиях превращается при температуре 727° в перлит. Если охлаждение ускорить, то можно сохранить аустенитную структуру до более низкой температуры, т. е. получить переохлажденный аустенит. В условиях переохлаждения аустенит превращается в другие, неравновесные, более твердые и прочные структуры.

Для изучения превращений аустенита в неравновесных условиях для каждой стали строят диаграмму изотермического превращения аустенита.

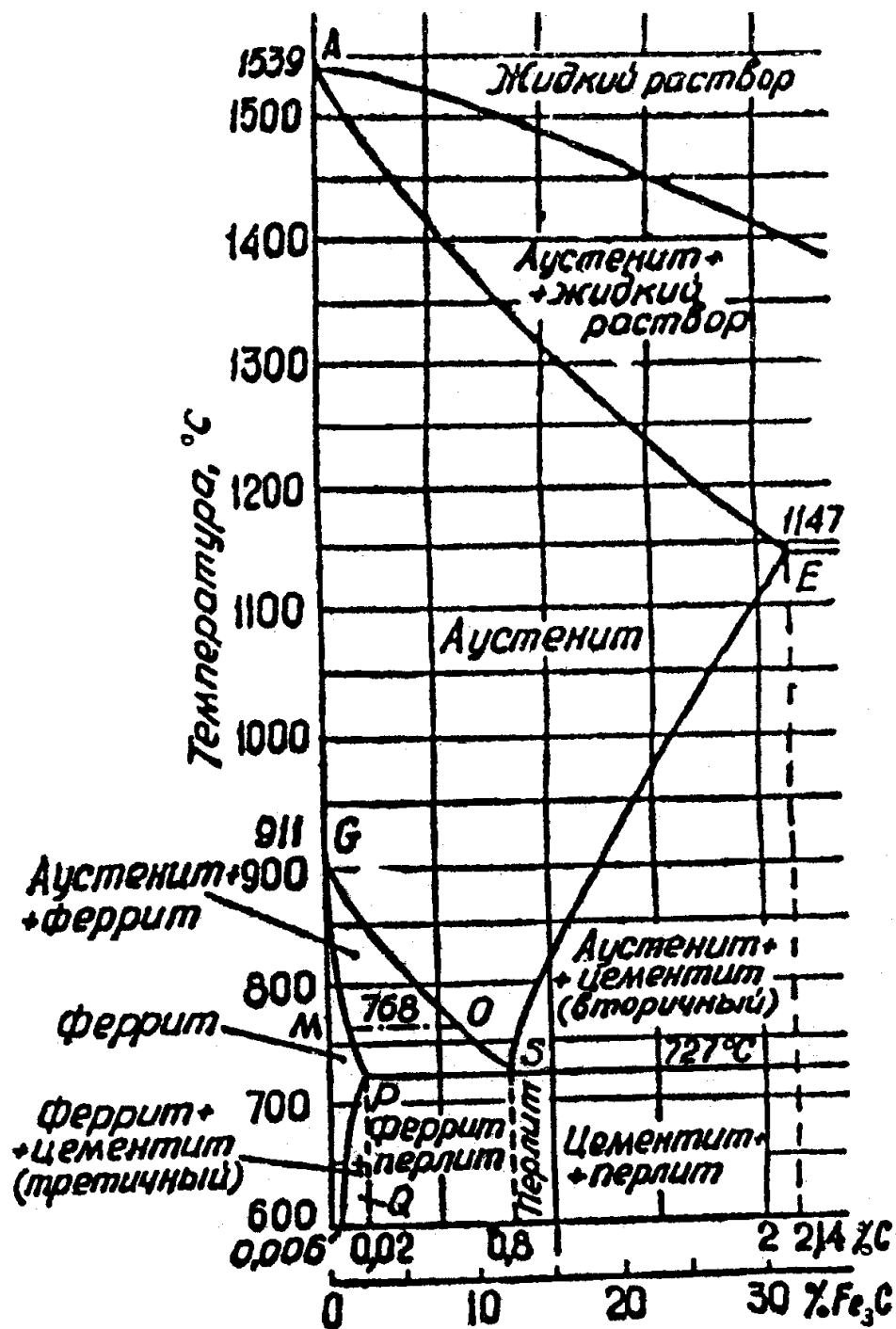


Рис. 1. Стальная часть диаграммы Fe-Fe₃C

Построение диаграммы изотермического превращения аустенита для стали У8

Образцы нагревают выше 727° до аустенитного состояния, а затем быстро переохлаждают до температур, лежащих ниже 727 °С. При каждой температуре делают выдержку, т. е. изотерму, и наблюдают, через какой промежуток времени начнется и закончится превращение аустенита в другие структуры.

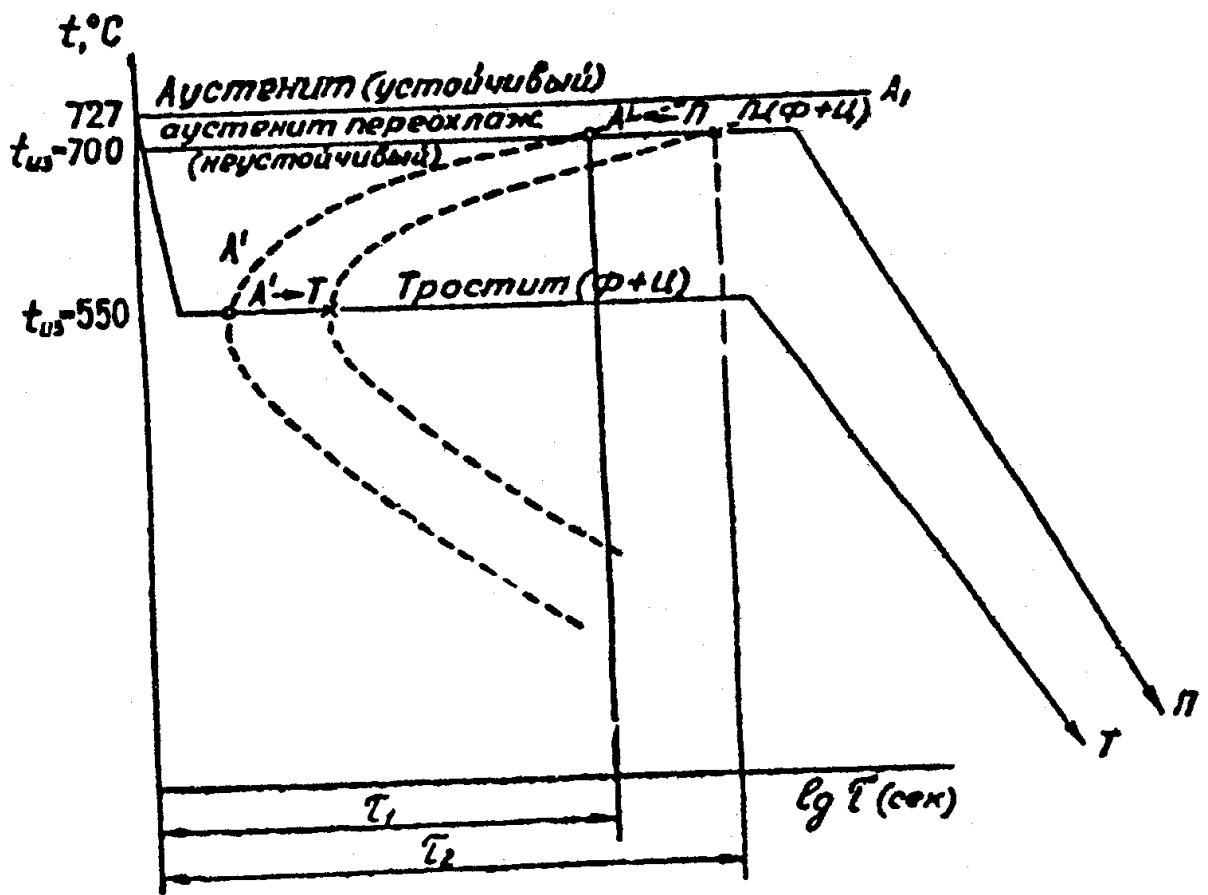


Рис. 2. Превращение переохлажденного аустенита в изотермических условиях (в зависимости от температуры изотермы и времени выдержки) для стали У8

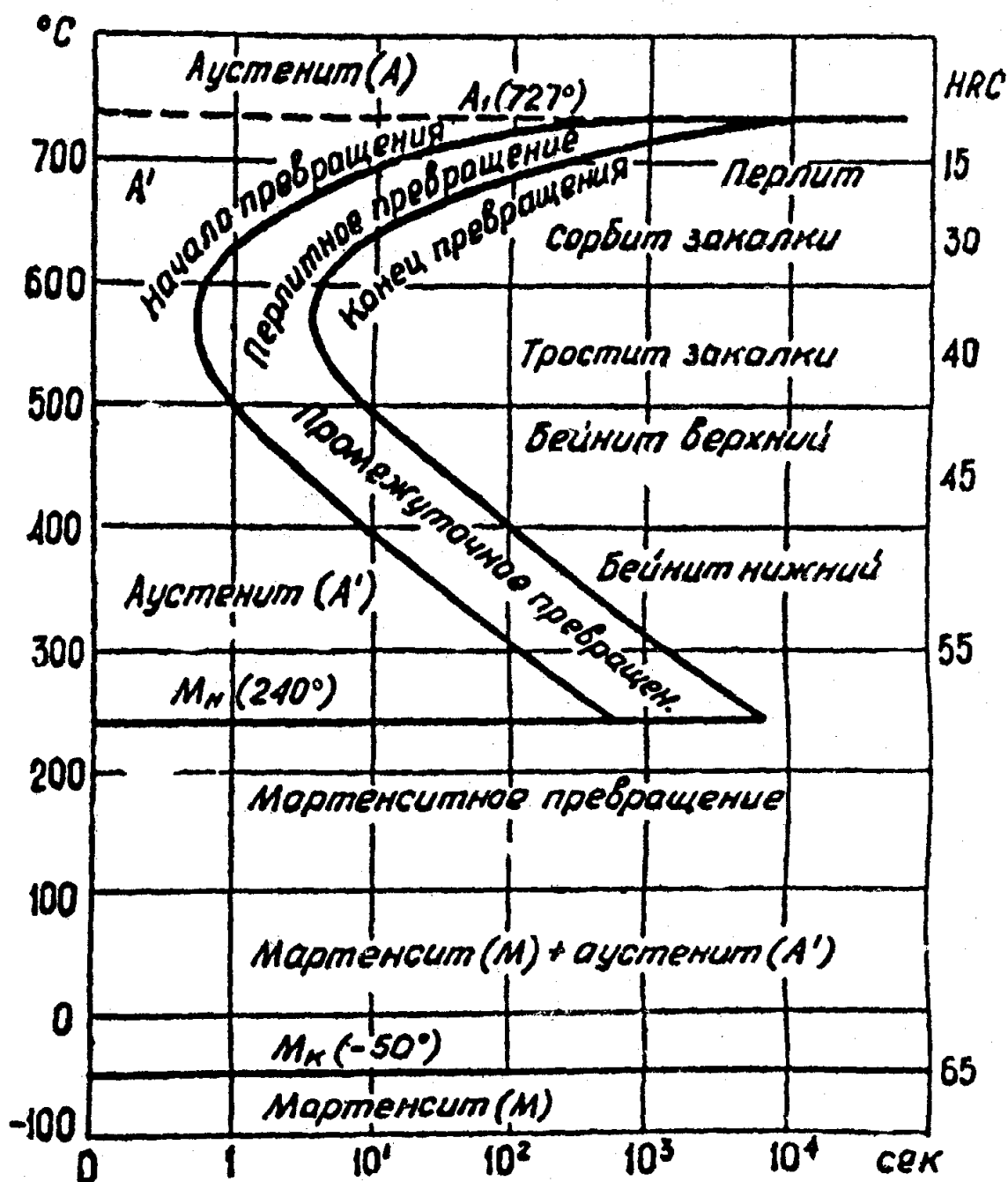


Рис. 3. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита для стали У8

Полученные значения сводят на график в координатах температура-время, причем время откладывается в логарифмической шкале (рис. 2, 3). Необходимость логарифмической шкалы объясняется тем, что она очень быстро нарастает, благодаря этому можно на оси отложить время, начиная с долей секунды до нескольких часов. На рис. 2 графически изображены две изотермические обработки: t - температура нагрева для аустенизации стали У8 на 30-40° выше точки A_1 . После нагрева и выдержки при этой температуре образец охлаждается почти мгновенно до температуры изотермы, (например, на рис. 2 - $t_{\text{изот}} = 700 \text{ } ^\circ\text{C}$). Во время выдержки на изотерме через промежуток времени τ_1 начинается превращение аустенита в перлит, в через τ_2 весь аустенит превращается в перлит. Такие точки начала и конца превращения аустенита находят для других температур изотерм. Затем, соединяя все точки начала превращения аустенита, получают

одну линию С-образной формы, а соединяя точки донца превращения аустенита, получают вторую линию (рис. 2, 3).

Ниже температуры 240° превращение переохлажденного аустенита начинается мгновенно, не зависит от времени выдержки, а только, от температуры.

Рассмотрим, какие превращения происходят с переохлажденным аустенитом. В интервале от 727° до 550°C идет перлитное превращение аустенита по такой схеме: $A \rightarrow П(\Phi + Ц)$, т. е. $\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$. В связи с аллотропическим переходом Fe_γ в Fe_α скачкообразно падает растворимость углерода в решетке железа, т. к., Fe почти не растворяет углерод.

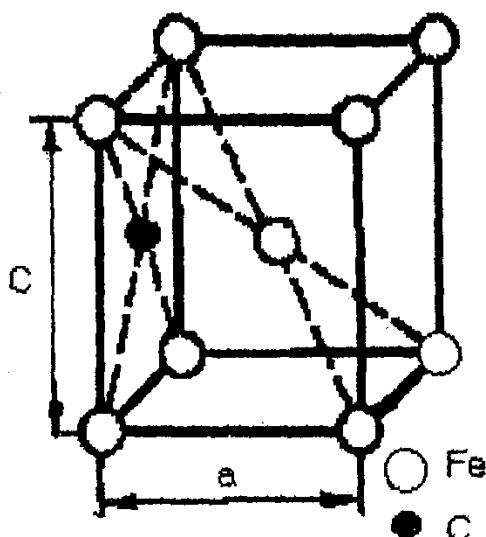


Рис. 4. Элементарная ячейка кристаллической решетки мартенсита

Значит, наряду с перестройкой кристаллической решетки должно происходить выделение углерода в виде отдельной фазы (цементита). В связи с этим перлитное превращение не может идти без диффузии, для обеспечения которой нужна достаточно высокая температура. Перлитное превращение носит диффузионный характер. В интервале ниже 240° (до -50°C) происходит бездиффузионное мартенситное превращение аустенита. В условиях такой низкой температуры перестройка Fe_γ в Fe_α происходит путем сдвига рядов атомов, углерод не может выделиться и остается в изменившейся решетке железа, искажая ее. Схема превращения $\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha + \text{C}$. Получается пересыщенный раствор углерода в Fe_α , который называется мартенситом. Кристаллическая решетка мартенсита вытянутая (тетрагональная), соотношение параметров $c/a > 1$ (рис. 4). Между перлитным и мартенситным превращениями имеет место промежуточное, которое носит частично диффузионный, а частично бездиффузионный характер.

Перлитные структуры в стали

Во время изотермической обработки стали при температуре несколько ниже точки A_1 из аустенита получается крупная пластинчатая смесь феррита с цементитом, называемая перлитом. Так как пути диффузии атомов сокращаются с уменьшением температуры, то в интервале $650-600^{\circ}\text{C}$ из аустенита получается более мелкая смесь, называемая сорбитом. При более низкой температуре ($600-550^{\circ}\text{C}$) получается настолько мелкая феррито-цементитная смесь, пластинки которой не видны в оптическом микроскопе при самом большом, возможном для него, увеличении ($\times 1500-2000$). Такая смесь называется троститом.

Чем мельче смесь, тем твердость, прочность и упругость выше. В то же время, например, тростит закалки имеет пониженную пластичность и вязкость. Значения твердости структур указаны на рис.5.

Перлитные структуры можно получить не только в изотермических условиях, но и при непрерывном охлаждении. Если на диаграмму изотермического превращения аустенита (рис. 5) наложить кривую охлаждения (например, V_1), то приблизительно можно установить структуру, полученную при таком охлаждении. Точки 1 и 2 указывают температуры, при которых соответственно начнется и закончится превращение аустенита (t_1 и t_2), а от температуры превращения зависит дисперсность феррито-цементитной смеси. В действительности превращение происходит при более низкой температуре, чем это показывает диаграмма изотермического превращения аустенита, но это смещение незначительно.

Перлит, сорбит и тростит, полученные из аустенита, имеют пластинчатую структуру и называются перлитом, сорбитом и троститом закалки.

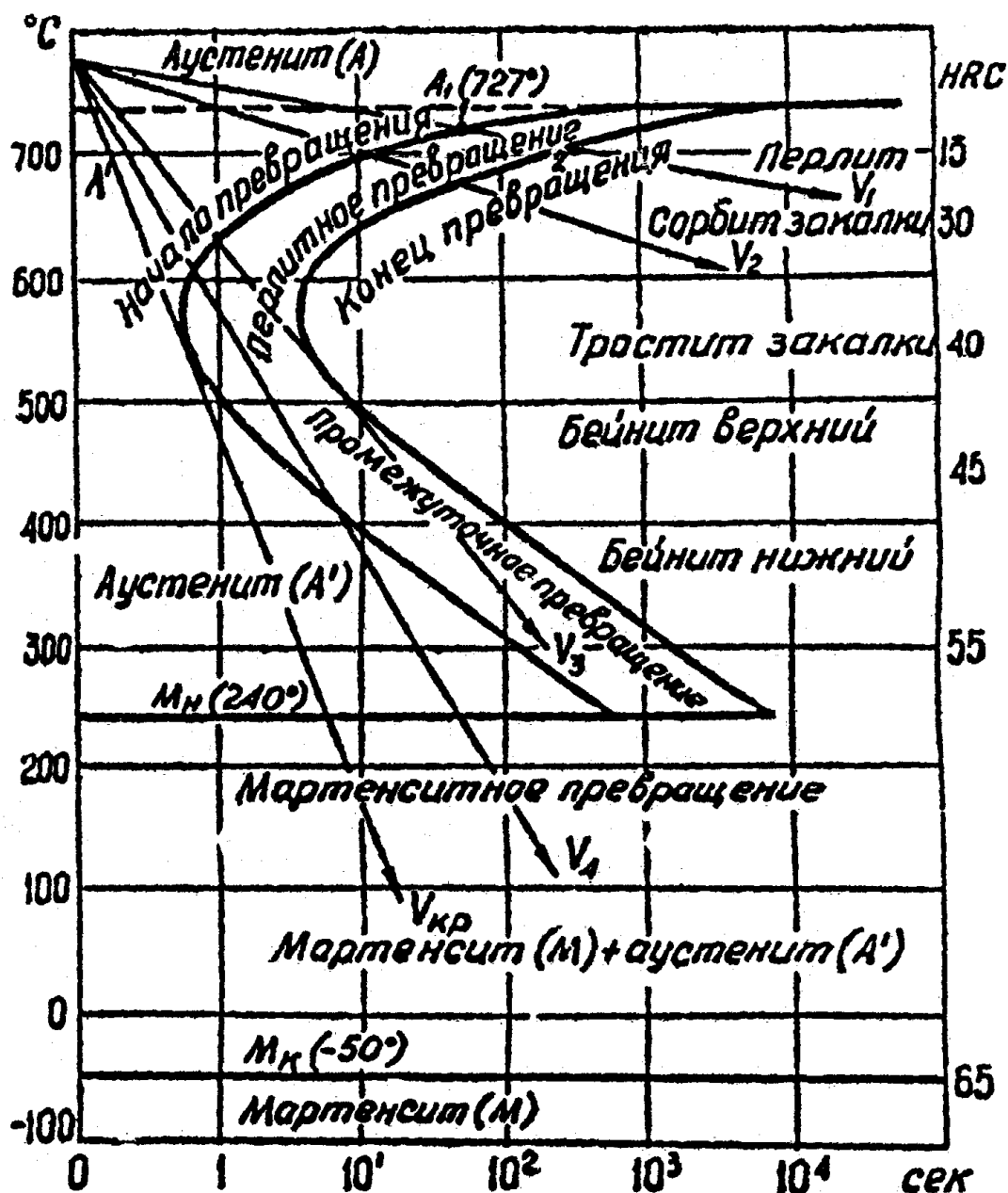


Рис. 5. Диаграмма изотермического превращения аустенита с нанесенными кривыми охлаждения аустенита

Мартенситное превращение

Мартенсит можно получить только при непрерывном охлаждении аустенита со скоростью, равной или большей, чем $V_{кр}$ (рис. 5).

Температуры начала и конца мартенситного превращения зависят от химического состава стали и для каждой стали постоянны (M_n и M_k). При остановке охлаждения между точками M_n и M_k превращение застывает. Мартенситные кристаллы имеют форму пластин с утонченными краями. На микрошлифе мартенсит имеет игольчатый вид (рис. 6). Размер мартенситных пластин зависит от размера аустенитного зерна. Лучшими механическими свойствами обладает мелкоигольчатый мартенсит.

При превращении аустенита в мартенсит возникают высокие внутренние напряжения - термические и структурные. Структурные напряжения связаны с тем, что объем мартенсита превышает объем аустенита, а термические - с быстрой скоростью охлаждения, необходимой для получения мартенсита у большинства сталей.

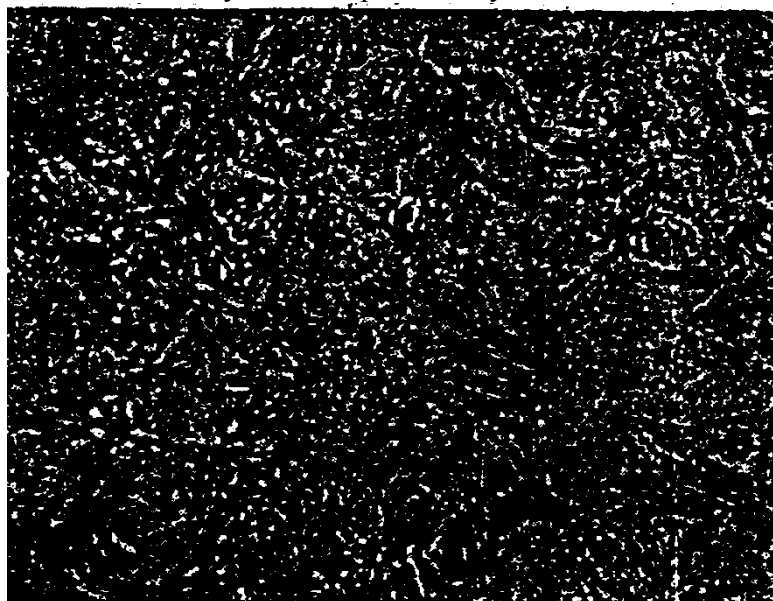


Рис. 6. Мартенсит закалки, X800

Мартенсит - очень твердая и прочная структура, причем твердость и прочность сильно зависят от содержания углерода. Высокопрочный мартенсит, содержащий более 0,35 - 0,4% С, обладает низкой пластичностью.

Такие, свойства мартенсита объясняются большим числом нарушений кристаллического строения, равномерно распределенных по объему.

Задание и методические указания

Материал - сталь У8. 4 образца нагреть до аустенитного состояния; (температуру нагрева выбрать по диаграмме Fe-Fe₃C). Время нагрева в лабораторных печах определить по табл. 2.

Таблица 2

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	Продолжительность нагрева, мин		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2	3	4
700	1,5	2,2	3
800	1,0	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Затем образцы охладить в различных средах: воде, масле, на воздухе, вместе с печью (вместе с печью охладить до температуры ~ 550-500 °С, а затем на воздухе). Очистив окалину с обеих сторон, снять с одной стороны не менее 0,5-0,8 мм и измерить твердость (в зависимости от твердости стали после термообработки по шкале *HRC* или *HRB*). Полученные значения твердости перевести в единицы Бринелля и заполнить табл. 3.

Таблица 3

Марка стали	Охлаждающая среда	<i>HRC</i>	<i>HRB</i>	<i>IB</i>	Структура

Изобразив диаграмму изотермического превращения для стали У8, нанести примерные кривые охлаждения в каждой среде. На каждом образце сделать шлиф и зарисовать полученную структуру.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие критические точки стали вы знаете? Указать на диаграмме Fe-Fe₃C местоположение критических точек.
2. Какое превращение происходит в каждой критической точке?
3. Объяснить, как строится диаграмма изотермического превращения аустенита.
4. Сущность диффузионного и бездиффузионного превращения аустенита.
5. Какие вы знаете перлитные структуры, что они из себя представляют?
6. Как отличаются перлитные структуры между собой по механическим свойствам и почему?
7. Что такое мартенсит? Как получается мартенситная структура?
8. Какова кристаллическая решетка мартенсита и каковы его свойства?

Оборудование

0. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
1. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
2. Муфельные печи МП-2УМ.

РАБОТА № 2 ЗАКАЛКА И ОТПУСК СТАЛИ

Большинство ответственных деталей машин для получения нужных механических свойств подвергают закалке и отпуску.

Чаще всего при закалке желательнее получить структуру наивысшей твердости, т. е. мартенсит. Продукты превращения мартенсита при отпуске, обладают наилучшим комплексом механических свойств.

ЗАКАЛКА СТАЛИ

Выбор температуры закалки

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. При полной закалке нагрев проводится выше верхних критических точек (A_3 и A_{cm}), а при неполной - только выше точки A_1 (рис. 1).

Для доэвтектоидной стали правильной является полная закалка. Нагрев выше точки A_3 до чисто аустенитного состояния с последующим охлаждением со скоростью не ниже

$V_{кр}$ приводит к получению мартенситной структуры. Неполная закалка доэвтектоидной стали приводит к получению мартенсито-ферритной структуры (рис. 1). Наличие феррита нежелательно, так как снижает механические свойства стали.

Для заэвтектоидной стали правильной является неполная закалка. Присутствие, кроме мартенсита, цементитных включений (рис. 1), после такой термообработки придает стали повышенную твердость и износоустойчивость, не понижая других характеристик.

Нагрев до температур выше A_{cm} при закалке приводит к получению крупноиглочатого мартенсита без цементита, но с повышенным количеством остаточного аустенита, который даже снижает твердость. Такая закалка является некачественной,

Завышение температуры нагрева при закалке и (или) увеличение времени выдержки при этой температуре приводит к сильному росту аустенитного зерна. При охлаждении из такого аустенита получается крупноиглочатый мартенсит, обладающий повышенной хрупкостью. Вследствие этого нагрев при закалке должен быть выше выбранных критических точек только на 20 – 40 °С и время выдержки, для завершения фазовых превращений минимальным.

Есть стали, которые не боятся перегрева - это мелкозернистые стали.

Охлаждающие среды при закалке

Скорость охлаждения при закалке должна обеспечить получение мартенситной структуры. В то же время при ускоренном охлаждении возникают высокие внутренние термические напряжения, а в интервале мартенситного превращения еще и структурные напряжения, что, вместе взятое, приводит к короблению и даже образованию трещин в закаленной стали.

В связи с этим, охлаждение - очень ответственная операция при закалке. Для нелегированных сталей критическая скорость закалки в интервале наименьшей устойчивости аустенита (600 - 500 °С) обеспечивается охлаждением в воде или соляных, щелочных растворах. Легирование стали чаще всего охлаждают в масле, так как критическая скорость у этих сталей ниже (рис. 7).

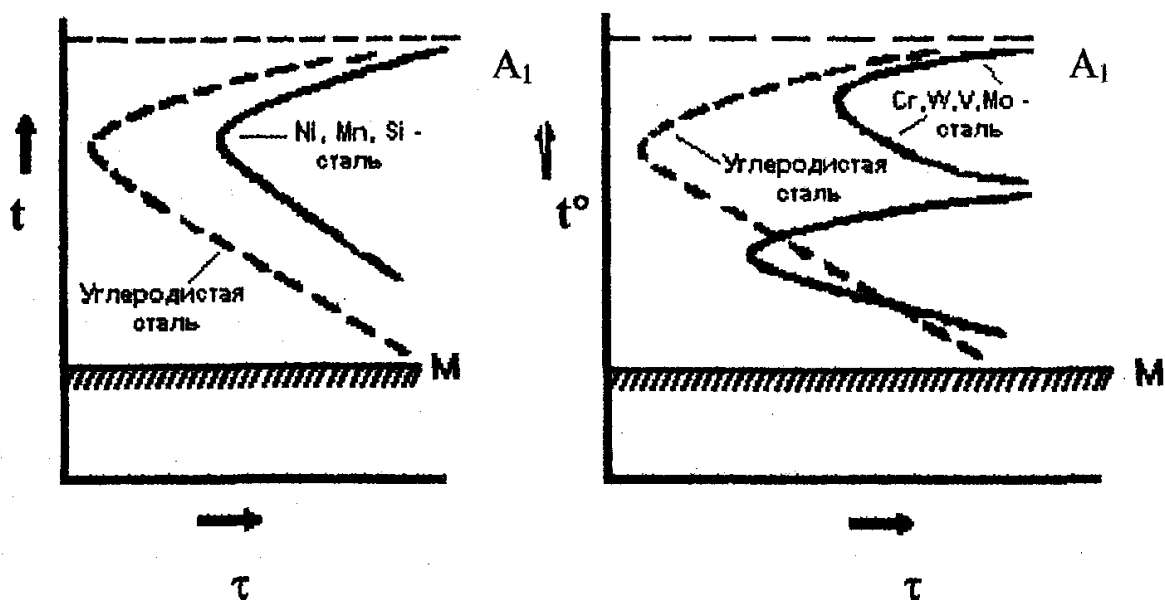


Рис. 7. Влияние легирующих элементов на кривые начала распада переохлаждённого аустенита

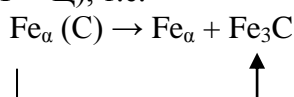
Некоторые высоколегированные стали способны закаливаться на воздухе (самокалы). Стали с пониженной скоростью закалки более удобны, так как меньше подвержены деформации и трещинообразованию при закалке. Интервал температур, где протекает мартенситное превращение, можно и желательно проходить с замедленной скоростью, т. к. в этом интервале на термические напряжения накладываются структурные, сталь при

пониженных температурах становится упругой и особенно подвержена короблению и трещинообразованию.

Отпуск закаленной стали

Термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленной стали до температур ниже критической точки. A_{c1} называется отпуском.

Назначение отпуска, во-первых, снять внутренние напряжения, возникающие при закалке стали, а во-вторых; подбирая температуру отпуска, можно получить нужный комплекс механических свойств. Структуры закаленной стали - мартенсит и остаточный аустенит - являются неравновесными фазами. При нагреве неравновесные структуры переходят в более равновесные. Из пересыщенного раствора углерода в α - Fe выделяется углерод в виде карбидов, результатом окончательного распада мартенсита является феррито-цементитная смесь: $M \rightarrow (\Phi + Ц)$, т.е.



Различают 4 превращения стали при отпуске:

1) в интервале $\sim 80-250$ °C из твердого раствора выделяются дисперсные частицы карбида железа с гексагональной решеткой типа $\epsilon\text{Fe}_x\text{C}$ (вероятно, Fe_2C). В результате этого превращения получается структура *отпущенного мартенсита*, который представляет смесь пересыщенного α -раствора (неоднородной концентрации) и когерентно связанных с ним дисперсных частиц ϵ -карбида;

2) при температуре $250-350$ °C происходит превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит;

3) при температуре $350-400$ °C полностью завершается процесс выделения углерода из α -раствора (мартенсита), нарушается когерентная связь α -раствора и карбидов. В результате, отпущенный мартенсит превращается в дисперсную смесь феррита и карбидов. Одновременно протекает карбидное превращение $\epsilon\text{Fe}_x\text{C}$ в Fe_3C , снимаются внутренние напряжения;

4) при температурах от 400 °C до точки A_{c1} протекает процесс коагуляции карбидов: карбиды становятся крупнее и приобретают округлую форму. Очень тонкая феррито-цементитная смесь, получившаяся в интервале $350-500$ °C, называется троститом отпуска. Более грубая феррито-цементитная смесь, образовавшаяся при $\sim 500-600$ °C, называется сорбитом отпуска (см. рис. 8), который при более высоких температурах превращается в перлит зернистый.

Влияние отпуска на механические свойства

Цементит (или карбиды в легированных сталях) в тростите или сорбите отпуска имеют зернистую (рис. 8), а не пластинчатую форму, как в тростите и сорбите закалки: это значительно улучшает механические свойства. При одинаковой твердости, пределе прочности σ_b и относительном удлинении δ отпускные структуры имеют более высокие значения предела текучести σ_t , ударной вязкости α_n и относительного сужения ψ , чем структуры закалки. Легированные стали, особенно содержащие карбидообразующие элементы, после отпуска при одной и той же температуре обладают, более высокой, твердостью, чем углеродистые стали, что объясняется тем, что легирующие элементы тормозят отпускные процессы и смещают их к более высоким температурам. Это приводит к сохранению повышенной, твердости и прочности при работе сталей в условиях нагрева.

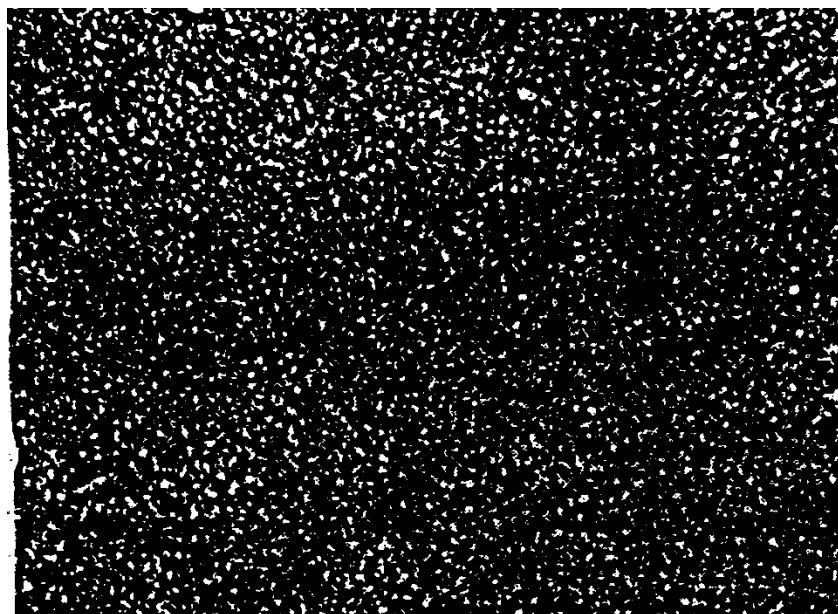


Рис 8. Сорбит отпуска, X600

В практике термической обработки различают три вида отпуска.

1. *Низкий отпуск* проводят с нагревом до температуры 150-250 °С. Получаемая структура - отпущенный мартенсит. Этот отпуск, снижая внутренние напряжения, повышает, прочность и немного улучшает вязкость без заметного снижения твердости.

Изделия после низкого отпуска имеют высокую износоустойчивость, но не выдерживают (если нет вязкой сердцевины) динамических нагрузок.

Низкотемпературному отпуску подвергают поэтому режущий или мерительный инструмент, а также детали, прошедшие только поверхностное упрочнение (имеющие вязкую сердцевину). Твердость после низкого отпуска 58-63 HRC.

2. *Средний отпуск* выполняется при температурах 300-500 °С и применяется для пружин и рессор, а также некоторых видов штамбового инструмента. Такой отпуск обеспечивает наиболее высокий предел упругости. Структура после среднего отпуска - тростит отпуска и ее твердость HRC 40-50.

3. *Высокий отпуск* проводят при температуре 500-680 °С. Структура - сорбит отпуска с твердостью 30-35 HRC. Высокий отпуск значительно повышает ударную вязкость. Прочность и твердость при этом снижаются, но остаются достаточно высокими, поэтому высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Термическая обработка, состоящая из закалки с высоким отпуском, называется улучшением или улучшающей обработкой.

Таблица 4

Марка стали	Химический состав*					Примечание
	C	Si	Mn	Cr	Fe	
Сталь 45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,08	0,25	ост.	
Малолегированная					ост.	
Высоколегированная					ост.	

* Выписать из справочника химический состав легированных сталей в соответствии с маркой.

Улучшение - основной вид термической обработки конструкционных сталей. Для повышения износоустойчивости в изделиях после улучшения упрочняют только поверхностный слой, например, проводят поверхностную закалку, азотирование, цианирование, поверхностный наклеп.

Задания и методические указания

Взять отожженные образцы из стали 45, малолегированной и высоколегированной (химический состав сплавов внести в табл. 4) и измерить их твердость.

Пользуясь диаграммой Fe-Fe₃C, выбрать температуру закалки для стали 45. Для легированных сталей температуру закалки выбрать по справочнику.

Пользуясь табл. 5, выбрать время нагрева.

Таблица 5

Нормы нагрева стали при термической обработке в лабораторных электрических печах

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	Продолжительность нагрева, мин.*		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2	3	4
700	1,5	2,2	3
800	1,0	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

* Для легированных сталей время нагрева увеличить в 1,5-2 раза

Пользуясь табл. 6 и 7, а также справочниками, выбрать охлаждающую среду для той и другой стали. После закалки померить твердость образцов, для этого зачистить оба торца, причем на торце, где будут проводиться измерения твердости, снять слой толщиной не менее 0,5 мм (обезуглероженный).

Таблица 6

Критическая скорость охлаждения сталей

Марки стали	Критическая скорость закалки, град/с*
Сталь 45 Малолегированная Высоколегированная	400-500

* Для легированные сталей в соответствии с маркой выбрать $V_{кр}$ в справочнике.

После закалки образцы отпустить на температуры 200,400 и 600°С с последующими замера твердости. Выдержку при отпуске упрощенно назначаем 30 мин.

Таблица 7

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения в интервале температур, °С/с	
	550-650	200-300
Вода при температуре 18 °С	600	270
Вода при температуре 70 °С	30	200
10%-ный раствор едкого натра при 18 °С	1200	300
Минеральное машинное масло	150	30
Спокойный воздух	18	

Результаты замера твердости свести в табл. 8, затем по этим данным построить кривые зависимости твердости от температуры отпуска для каждой стали (на одном графике 3 кривые). Объяснить, с точки зрения изменения структуры, поведение каждой стали при отпуске.

Изучить и зарисовать структуры после низкого, среднего и высокого отпуска для стали 45.

Таблица 8

Марка стали	Протокол испытаний			
	Твердость при температуре отпуска, HRC			
	до отпуска	200 °С	400 °С	600 °С
Сталь 45				
Среднелегированная				
Высоколегированная				

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Что такое закалка? Назначение закалки.
2. Что такое отпуск? Назначение отпуска.
3. Обосновать выбор температуры закалки для доэвтектоидной стали.
4. Обосновать выбор температуры, закалки для заэвтектоидной стали.
5. Как выбирают охлаждающую среду для углеродистой и легированной стали?
6. Сущность 4-х превращений при отпуске закаленной стали.
7. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?
8. Сравнить по механическим свойствам сорбит, тростит (закалки), получаемые при распаде аустенита, с теми же структурами, но полученными при отпуске из мартенсита.
9. Виды отпуска, проводимые на практике. Температура каждого вида отпуска, получаемая структура и примеры применения.
10. По результатам опытов, проведенных во время лабораторной работы, проанализировать влияние отпуска на твердость стали в зависимости от ее химического состава.

Оборудование

1. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
3. Муфельные печи МП-2УМ.

РАБОТА № 3 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Инструментальные стали бывают трех типов: углеродистые, легированные и высоколегированные (так называемые быстрорежущие).

Вначале рассмотрим первые 2 типа сталей.

Стали для режущего инструмента имеют высокое содержание углерода (>0,7%), что обеспечивает твердость и износостойчивость. Изготовленный инструмент для придания режущих свойств подвергается термообработке, состоящей из - закалки и отжига. До закалки структура состоит из перлита или перлита и цементита (в легированных сталях вместо цементита будут карбиды легирующих элементов). Закалку проводят с температуры выше критической точки A_{c1} на 30 – 50 °С. После закалки в стали получается структура мартенсит или мартенсит с карбидами, кроме того, наблюдается еще остаточный аустенит. Твердость закаленной стали находится на уровне 61 - 64 ед. по *RC*. Охлаждение при закалке углеродистых сталей проводят в воде и только для инструмента

из легированной стали возможна закалка в масле, так как легирующие элементы уменьшают $V_{кр}$. Такая закалка выгодна тем, что в связи с относительно малой скоростью охлаждения почти исчезает опасность коробления и трещин.

Закаленный инструмент в зависимости от назначения подвергают отпуску. При температуре 150 - 300° получается структура отпущенного мартенсита и карбидов (рис. 9), а твердость составляет при этом 59-61 ед. по *RC*. Если нужна большая вязкость и допустима меньшая твердость, то отпускают на 350 - 500° и получают структуру тростита (твердость порядка 40 - 45 *HRC*). Однако углеродистые и малолегированные стали плохо противостоят нагреву, т. е. при нагреве режущей кромки выше 200 - 300° твердость стали - падает вследствие отпускных процессов, проходящих в мартенсите, и инструмент садится (тупится). Как говорят, они не имеют так называемой красностойкости (теплостойкости). Для придания красностойкости в сталь добавляют большое количество *W* или *Mo*, которые эффективно задерживают распад мартенсита на ферритно-карбидную смесь при отпуске (т. е. нагреве). Поэтому, если во время эксплуатации инструмент нагревается, то применяют высоколегированную инструментальную сталь, называемую быстрорежущей. Она имеет красностойкость до 500-650 °С. Наиболее часто используют сталь марки P18, содержащую примерно 0,8% *C*; 18% *W*; 4,0% *Cr*; 1,2% *V*. Применяют и более дешевые стали, содержащие меньшее количество дорогого и дефицитного вольфрама, например P9 (0,9% *C*; 9% *W*; 4% *Cr*; 2,5% *V*).

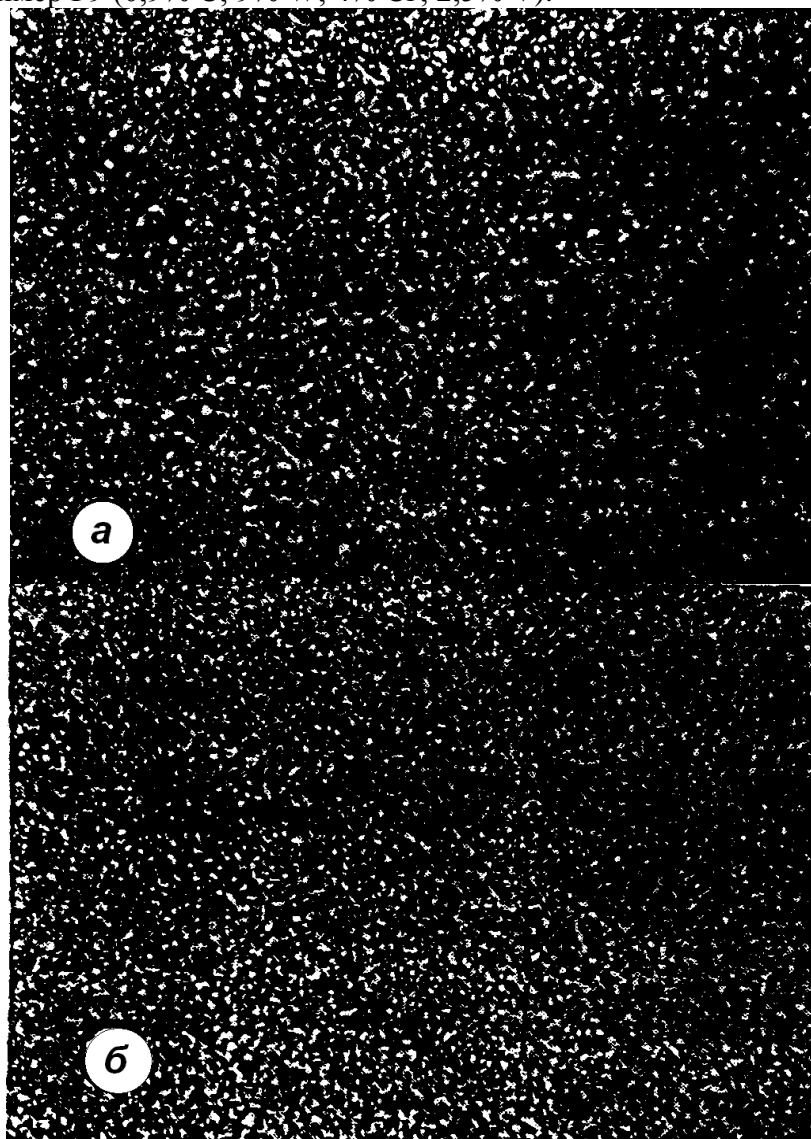


Рис 9. Микроструктура инструментальной стали после закалки и низкого отпуска:
а) отпущенный мартенсит - сталь У8 (X600);
б) отпущенный мартенсит + карбиды - сталь X (X800)

В исходном состоянии (отожженном) структура быстрорежущих сталей состоит из крупных первичных (эвтектических) легированных карбидов более мелких вторичных легированных карбидов, выделившихся из аустенита, и легированного перлита (феррито-карбидной смеси) (рис. 10).

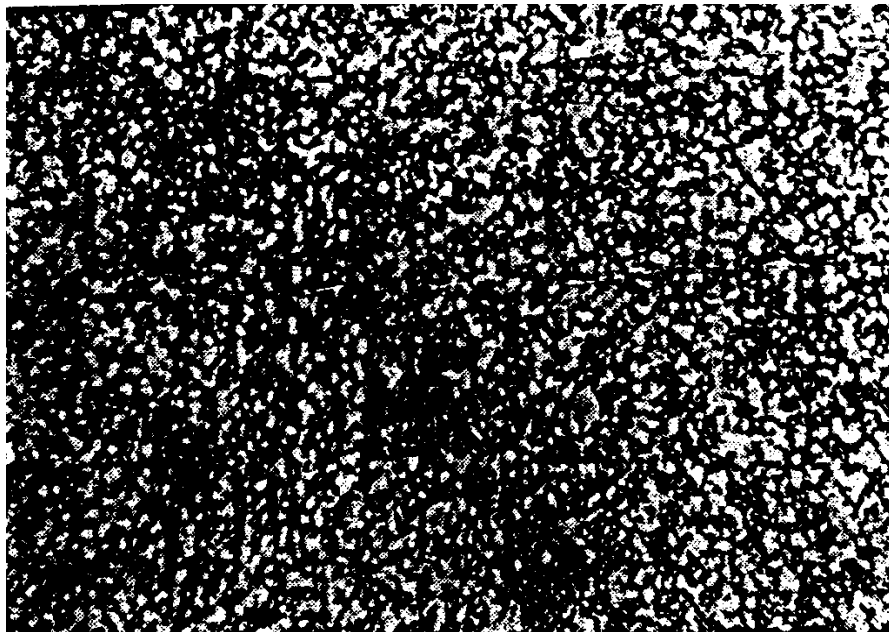


Рис. 10. Микроструктура быстрорежущей стали P18 после проката и отжига, X300

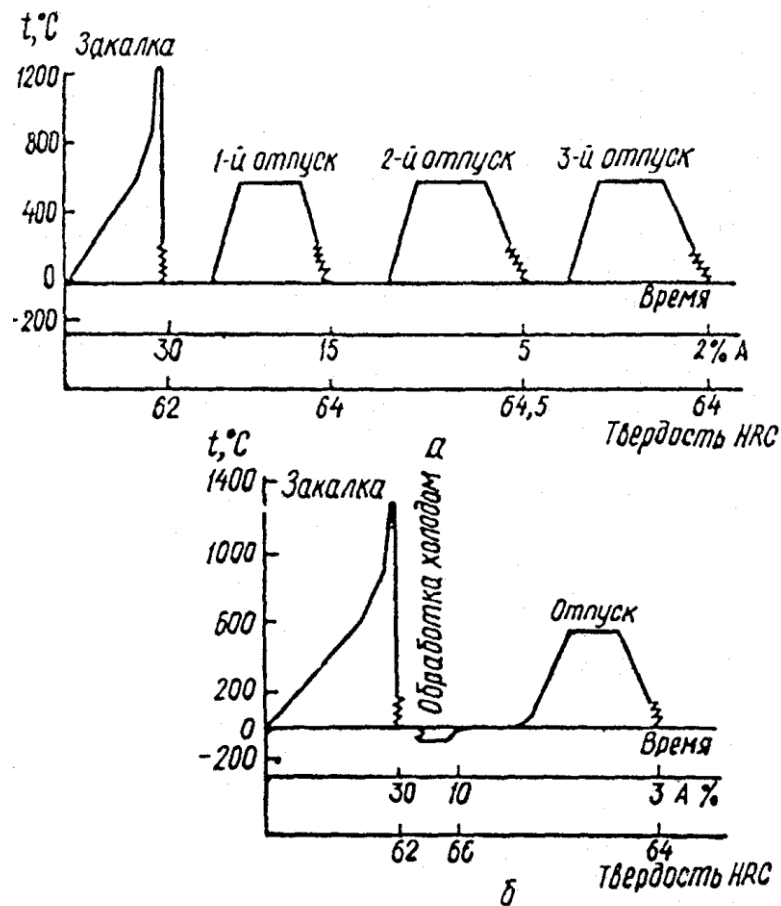


Рис. 11. Схемы режимов термической обработки инструментов из быстрорежущей стали:
а) без обработки холодом: б) с обработкой холодом

Цель закалки - обеспечить превращение феррито-карбидной смеси (перлита) в аустенит и растворение в нем почти всех вторичных карбидов. В результате поддается высоколегированный высокоуглеродистый аустенит. Особенно медленно переходят в аустенит стойкие карбиды Fe_2W_2C и VC . Поэтому закалку проводят для стали P18 с 1260-1280 °С, а для стали P9 с 1220-1240 °С. При таком высоком нагреве происходит хорошее растворение вторичных карбидов и получается высоколегированный аустенит. Оставшиеся первичные и частично вторичные карбиды препятствуют росту зерен аустенита при такой высокой температуре закалки. Охлаждение при закалке ведут в минеральном масле. После закалки получается структура высоколегированного мартенсита, обладающего красностойкостью, с некоторым количеством непревращенного, так называемого остаточного аустенита, а также карбидов легирующих элементов (рис. 12. а). Содержание остаточного аустенита иногда доходит до 30 - 40%. Это объясняется тем, что растворившиеся в аустените легирующие элементы снижают точку M_k (конца мартенситного превращения) в минусовую область (до - 80 °С). В связи с присутствием большого количества остаточного аустенита после закалки твердость стали не достигает максимальных значений и составляет 61 - 63 ед. по RC (рис. 11).

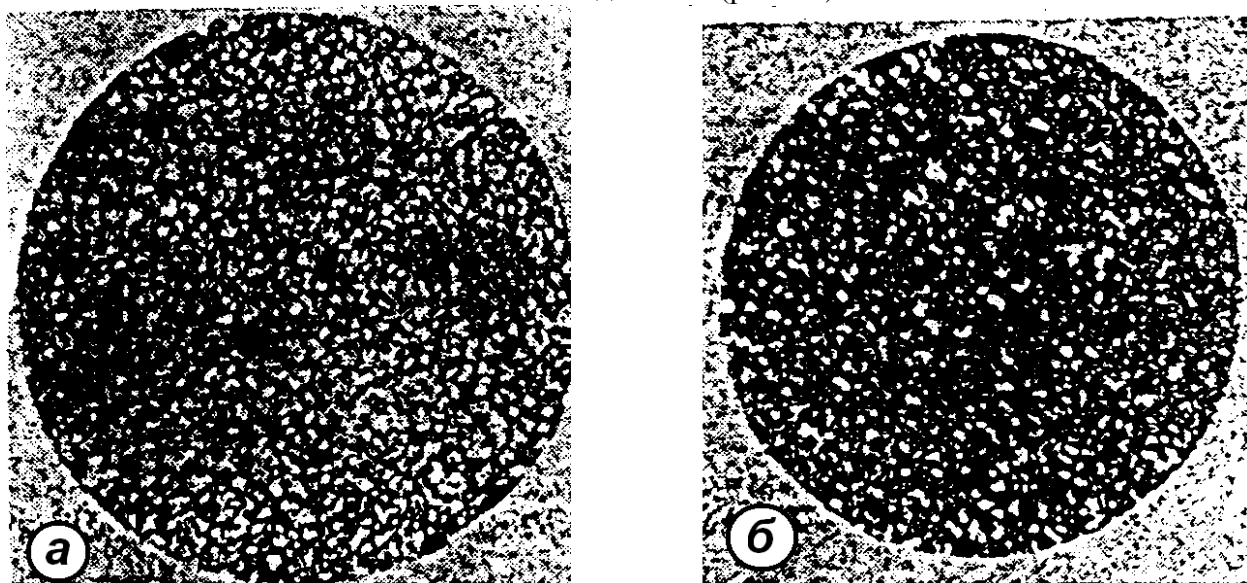


Рис. 12. Микроструктура быстрорежущей стали после закалки и отпуска:
а) после закалки в масле, X450; б) после закалки и 3-х кратного отпуска при 560 °С, X450

После закалки проводят отпуск. Главное его назначение - превратить остаточный аустенит в мартенсит. Отпуск проводят при температуре 560- 580 °С в течение 2-3 часов. Во время отпуска происходит выделение из остаточного аустенита мелкодисперсных карбидов и легированность аустенита уменьшается, а точка M_k повышается. Благодаря этому, уже менее легированный остаточный аустенит превращается во вторичный мартенсит при комнатных температурах. Твердость после отпуска существенно повышается и достигает 64-65 ед. по RC (рис. 11). Микроструктура закаленной и отпущенной стали показана на рис. 12, б. Высоколегированный мартенсит устойчив к отпуску почти до 600°, поэтому твердость инструмента сохраняется при производительных режимах резания, когда инструмент сильно нагревается в процессе работы.

Все эти обстоятельства и объясняют красностойкость оптимально термообработанной быстрорежущей стали до 550 - 600 °С.

Задание и методические указания

1. Три образца из углеродистой стали У10 или У12 нагреть до 780-790° и закалить в воде*.
2. Три образца из легированной стали ХС или Х нагреть до 860-870° и закалить в масле*.
3. Три образца быстрорежущей стали марки Р18 или Р9 закалить в масле. Температура закалки для стали Р18 - 1280° и для стали Р9 - 1240° **.
4. У всех закаленных образцов проверить твердость по *RC*.
5. По одному образцу каждой стали подвергнуть отпуску при температурах 170, 350 и 560 °С. Выдержка при отпуске 30 мин, охлаждение на воздухе.
* Время нагрева и прогрева при закалке выбрать, пользуясь табл. 2 в работе 2.
** Если лабораторное оборудование не позволяет проводить закалку- этой стали, необходимо иметь закаленные образцы.
6. У всех отпущенных образцов измерить твердость по *RC*.
7. Для всех отпущенных образцов составить таблицы и графики, показывающие зависимость твердости от температуры отпусков, сделать заключение о красностойкости исследованных марок сталей.
8. Изучить микроструктуру инструментальных сталей и зарисовать.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие виды сталей употребляются для режущего инструмента?
2. В чем заключается термообработка инструмента из углеродистых и легированных сталей?
3. Опишите особенности термообработки быстрорежущей стали?
4. Какая структура получается после закалки у быстрорежущей стали?
5. Как проводится отпуск закаленной быстрорежущей стали?
6. Какая твердость у быстрорежущей стали в исходном (отожженном) состоянии, после закалки и после отпуска?
7. Какое главное преимущество у быстрорежущей стали по сравнению с мало легированными инструментальными сталями?

Оборудование

1. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
3. Муфельные печи МП-2УМ.

РАБОТА № 4 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Алюминиевые сплавы, широко применяемые в технике, делятся на две большие группы: деформируемые, литейные. В свою очередь, деформируемые бывают двух типов: а) неупрочняемые термообработкой; б) упрочняемые термообработкой. Особое значение имеют последние. Их обычно называют дуралюминами. Это сплавы на основе диаграммы алюминии - медь (рис. 7). Содержание меди в них находится в пределах 3,8-5,2%, кроме того, содержится около 0,5-1% магния, кремния, марганца и цинка (в отдельности). В исходном (отожженном) состоянии микроструктура состоит из зерен α -твердого раствора меди, кремния и магния в алюминии и вторичных выделений кристаллов CuAl_2 , Mg_2Si и Al_2CuMg . Для упрочнения сплав нагревают до однофазного состояния выше линии *FB* (рис. 13) и после кратковременной выдержки охлаждают (закачивают) в воде. Получается

структура пересыщенного твердого раствора Cu, Mg, Si и Al. так как быстрым охлаждением фиксируется тот состав твердого раствора, который был при температуре нагрева. В свежезакаленном состоянии, сплав имеет, примерно следующие механические свойства: $\sigma_b \cong 30 \text{ кг/мм}^2$, $\delta \cong 18-20\%$, $НВ = 75 \text{ кгс/мм}^2$. Такой твердый раствор крайне неустойчив, и происходит его распад, что определяется температурой нагрева, и выдержкой. Этот процесс называют старением. Первую (начальную) стадию старения называют часто подготовительной или латентной. Имеет место образование зон с высокой концентрацией меди, близкой к концентрации меди в соединении CuAl_2 без существенного изменения кристаллической решетки. Эти зоны имеют форму дисков с малой толщиной $5 - 10 \text{ \AA}$, с диаметром порядка $30 - 60 \text{ \AA}$ (зоны Гинье-Престона-1) (рис. 14). Образование зон с повышенной концентрацией меди приводит к искажению кристаллической решетки, что обуславливает упрочнение сплавов. Все описанное происходит при нормальной (комнатной) температуре и называется естественным старением.

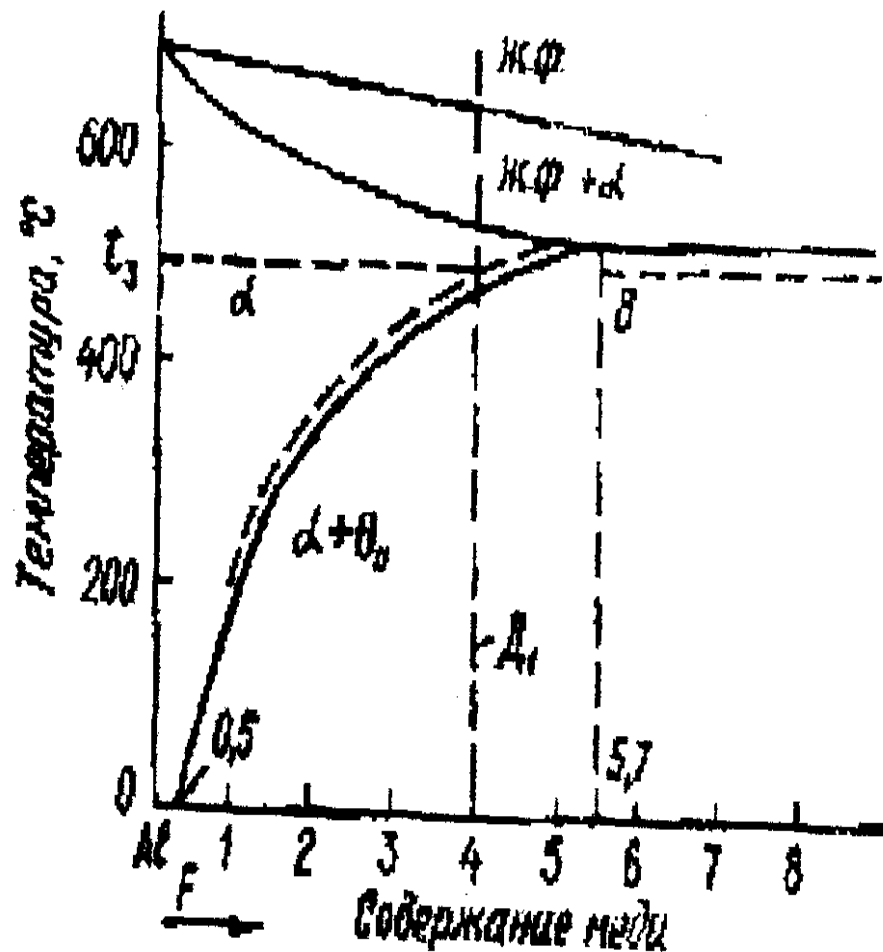


Рис.13. Диаграмма Al-Cu

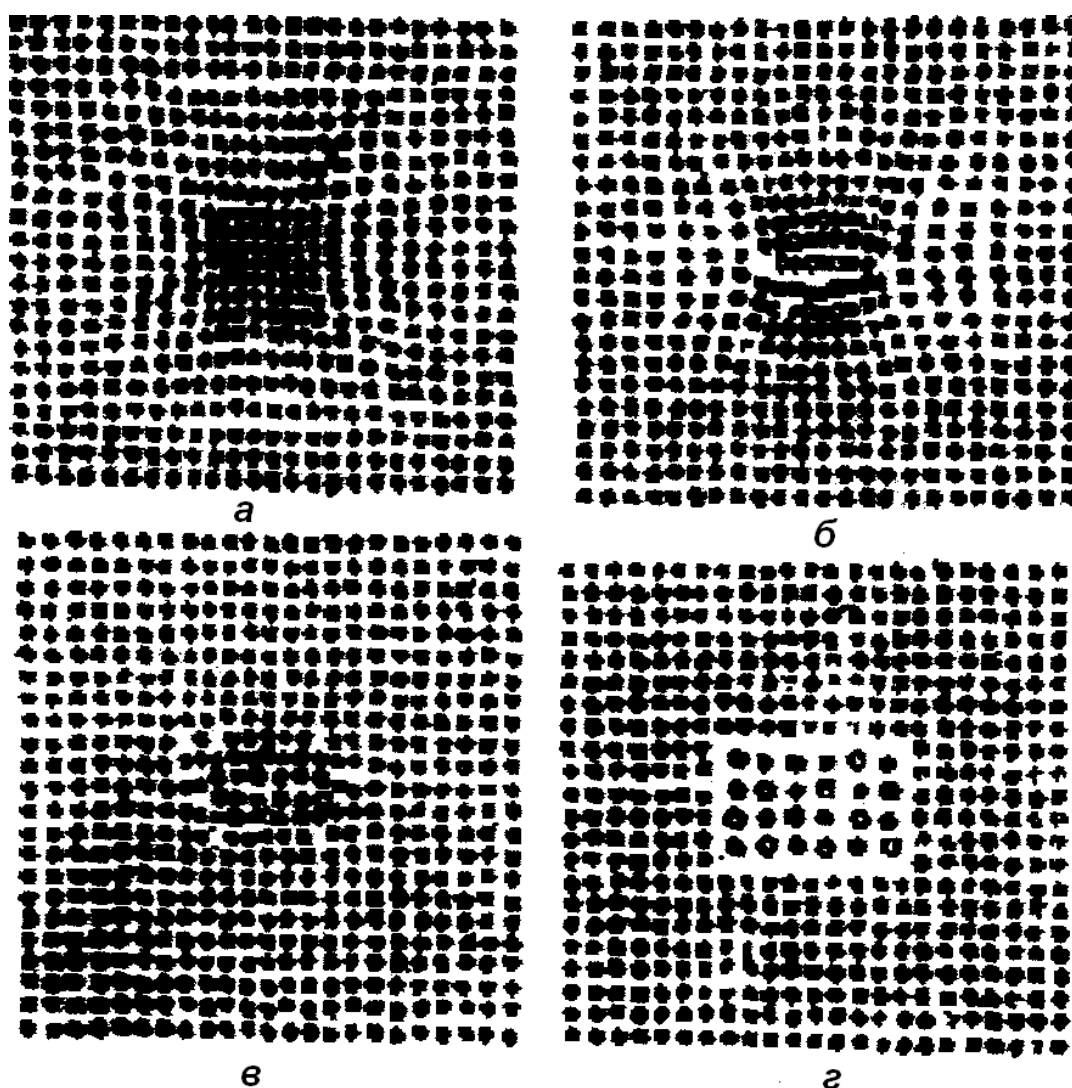


Рис. 14. Схема процесса старения дуралюмина: а) зоны ГП-1; б) зоны ГП-2; в) фаза CuAl_2 тетрагональная (θ' -фаза); г) фаза CuAl_2 кубическая (θ -фаза)

При повышении температуры старения до 100-150 °С образуются зоны ГП-II. Эти зоны имеют большую величину (толщина 10-40 Å и диаметром 200-300 Å) с упорядоченным расположением атомов Cu и Al. При более высоких температурах (150-200 °С) в тех местах, где располагались зоны ГП-II образуются кристаллы θ' -фаза с промежуточной метастабильной решеткой, когерентно связанной по некоторым плоскостям с решеткой твердого раствора. Эта фаза имеет состав, отвечающий формуле CuAl_2 . При дальнейшем повышении температуры когерентность фазы θ' нарушается и она переходит в θ -фазу, т. е. CuAl_2 с соответствующей кристаллической решеткой. Затем происходит с повышением температуры только коагуляция θ -фазы.

Таким образом, различают 4 стадии старения: Зоны ГП-1 - Зоны ГП-II - θ' -фаза - θ -фаза (CuAl_2) (рис. 14). Наибольшее упрочнение на I - III стадиях, на IV стадии наступает разупрочнение сплава вследствие снятия искажений с кристаллической решетки, и укрупнения частиц упрочняющей фазы. Отдельные стадии распада налагаются друг на друга различить их бывает весьма трудно.

При естественном старении дуралюмина процесс старения заканчивается первой стадией.

При искусственном старении проходят, в основном, вторая и третья стадии распада твердого раствора.

Задание и методические указания

Работа выполняется бригадой в 2-3 человека. Каждая бригада получает образцы дуралюмина (1 - 3) марки Д1. Преподавателем задается температура старения и время выдержки при старении.

Каждая бригада должна:

1. Замерить твердость в отожженном состоянии по Бринеллю или по Роквеллу (шкала В).
2. Замерить размеры образцов и по табл. 9 определить время нагрева образцов под закалку в муфельной электропечи. Время в таблице указано в минутах.
3. Выбрать температуру закалки по диаграмме А1-Си (рис. 7) для сплава Д1 (Cu 3,8 - 4,8%; Mg 0,4 - 0,8%; Mn 0,4 - 0,8 %; Si < 0,7 %)

Таблица 9

Нагревательное устройство	Толщина или диаметр изделия, мм					
	до 0,8	0,8-2,51	2,5-5	5-12	12 - 20	20 - 50
Селитровая ванна	8	10	12	15-20	30	40-60
Муфельная электропечь	12	20-30	40	50-30	90	110

4. После нагрева и выдержки закалить образцы в воде. Это обеспечивает получение после закалки пересыщенного раствора (α) меди, магния и других элементов в алюминии. Нагрев ниже линии *FB* дает неполную закалку, так как твердый раствор после закалки будет менее пересыщенным и прочность будет ниже. Нагрев значительно выше линии *FB* (например 550°) ведет к росту зерна, окислению границ зерен и даже оплавлению образцов. В результате сплав имеет низкие механические свойства (окончательный брак).

Каждая бригада закладывает образцы в муфельную печь на закалку и после выдержки (пункт 2) быстро вынимает из печи и охлаждает в воде (закаливает).

5. Замерить твердость образцов, после закалки - *HRB*.

6. Старение закаленных образцов:

а) Бригады 1, 2, 3 исследуют влияние температуры искусственного старения на прочность и твердость (при времени старения 30 минут).

Бригада № 1 - температура старения 100°

№ 2 - —»— 175°

№ 3 - —»— 300°

б) Бригады 4, 5, 6 исследуют влияние времени старения при температуре, равной 175°.

Бригада № 4 - время старения 10 мин.

№ 5 - —»— 20 мин.

№ 6 - —»— 30 мин.

Образцы после старения вынимаются из печи и охлаждаются в воде.

7. Замерить твердость образцов после старения - *HRB*.

8. Один образец после закалки оставить для естественного старения. Замер твердости произвести на следующем занятии. Сравнить результаты, полученные при искусственном старении и естественном старении (по твердости и прочности).

9. Перевести твердость по Роквеллу *HRB* в единицы твердости по Бринеллю НВ, а затем определить временное сопротивление (предел прочности) σ_b при растяжении по формуле: $\sigma_b = 0,26 \text{ НВ кгс/мм}^2$.

Каждая бригада находит предел прочности σ_b после каждой термической операции.

Результаты свести в табл. 10.

На основании данных табл. 10 каждый студент строит в масштабе графики зависимости твердости (рис 15) от температуры старения (а) и твердости от времени старения (б)

10. Описать превращения, происходящие в сплавах типа Д1 при закалке и старении, используя диаграмму алюминий - медь (рис.13). Описать структурные изменения в сплаве

при искусственном старении при температурах 100, 175 и 300°, объяснив ход кривых на одном и другом графиках.

Таблица 10

Наименование операции	№ бригад											
	1		2		3		4		5		6	
	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B
После отжига												
После закалки												
После старения в течении 30 мин при $t = 100^\circ$ при $t = 175^\circ$ при $t = 300^\circ$												
После старения при $t = 175^\circ$ в течение 10 мин 20 мин 30 мин												
После естественного старения												

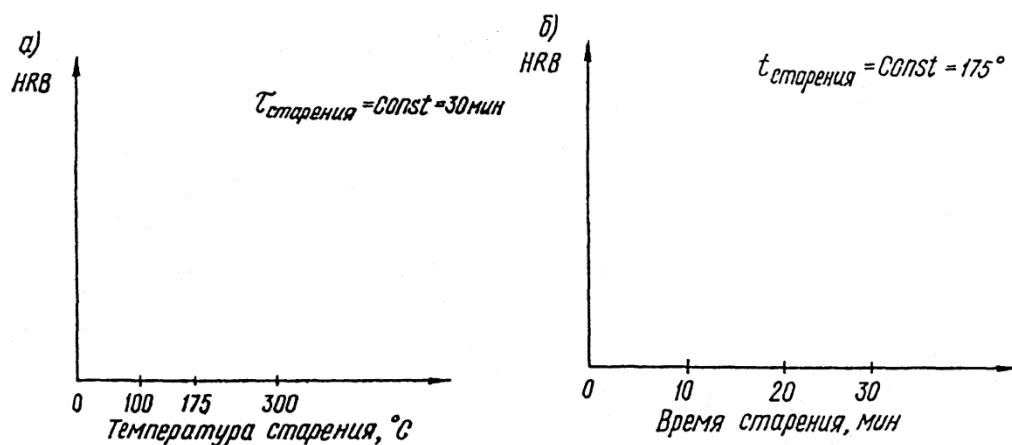


Рис. 15. Графики изменения твердости

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие существуют виды алюминиевых сплавов?
2. Какую структуру имеет дуралюмин в исходном (отожженном) состоянии?
3. В чем заключается закалка дуралюмина и какова структура закаленного сплава?
4. В чем заключается естественное и искусственное старение закаленного дуралюмина?
5. Какие изменения в структуре и свойствах происходят при нагреве (старении) закаленного дуралюмина? Какие при этом различают стадии распада пересыщенного твердого раствора в дуралюмине?

Оборудование

4. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
5. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
6. Муфельные печи МП-2УМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
- 2.. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 1	
Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали.....	3
Работа № 2	
Закалка и отпуск стали.....	10
Работа № 3	
Термическая обработка сталей для режущего инструмента.....	15
Работа № 4	
Термическая обработка алюминиевых сплавов.....	20
Список литературы.....	25

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Влияние термической обработки на микроструктуру и твердость чугуна

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Влияние термической обработки на микроструктуру и твердость чугуна:
Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А.В.Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 7 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ ЧУГУНА

Теоретическая часть

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, в которых содержание углерода превышает 2,14%.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают: белые чугуны и чугуны с графитом.

Широкое применение получили чугуны с графитом.

Свойства чугунов с графитом зависят от химического состава чугуна, количества, формы, величины и характера распределения графитовых включений, структуры металлической основы.

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

Если $C_{\text{связ}}$ в пределах от 0 до 0,03%, то структура металлической основы ферритная;

Если $C_{\text{связ}}$ от 0,03 до 0,8%, то имеем феррито-перлитную структуру металлической основы ;

Если $C_{\text{связ}} = 0,8\%$, то структура металлической основы будет перлитная.

Графит в чугунах может иметь три формы: пластинчатую, хлопьевидную и шаровидную (глобулярную).

Серые чугуны маркируются буквами СЧ (серый чугун) и двузначными цифрами которые указывают среднюю величину предела прочности при растяжении. Для серых чугунов характерна пластинчатая форма графита (см. рис. 1). Пластинки графита в сером чугуне можно рассматривать как внутренние трещины, нарушающие целостность металла. Чем крупнее пластинки графита и менее равномерно распределены по объёму, тем ниже прочность чугуна при растяжении.

Чугуны марок СЧ00, СЧ12, СЧ15, СЧ18 относятся к чугунам невысокой прочности. Чугун СЧ00 механическим испытаниям не подвергают.

Из этих чугунов изготавливают детали, работающие при небольших нагрузках.

Улучшить структуру и свойства этих чугунов термической обработкой не удаётся, так как относительно мало содержание углерода в металлической основе и графит представляет собой крупные пластины. Наоборот, после закалки и отпуска отливок с грубыми включениями графита возможно появление микротрещин по границам графитовых пластин, что способствует увеличению хрупкости чугуна.

Отливки из указанных марок чугунов подвергают только отжигу (нагрев 500-570 С) для снятия внутренних напряжений.

Чугуны СЧ21, СЧ24, СЧ28, СЧ32 обладают повышенной прочностью, так как количество фита в них значительно меньше, пластинки графита дисперснее (тоньше) и количество связанного углерода в металлической основе может достигать 0,8%. Из этих чугунов делают отливки для более ответственного назначения и их можно подвергать термической обработке (нормализации, закалке и отпуску).

При ускоренном охлаждении отливок из серого чугуна процесс графитизации не успевает полностью завершиться и поверхностные слои имеют структуру белого чугуна, а сердцевина – серого чугуна. Такой процесс называется отбеливанием. Между этими зонами существует переходный слой из половинчатого чугуна. В структуре половинчатого чугуна наряду с графитом и перлитом присутствует ледебурит. Отбеленный чугун имеет высокую твёрдость на поверхности и применяется для изготовления валиков листовых прокатных станов и т. д.



Рис.1 Микроструктура серого чугуна.

В промышленности большое применение получили высокопрочные чугуны, которые получают модифицированием серых чугунов перед заливкой. Под воздействием модификатора магния или церия графит приобретает шаровидную форму (рис. 2), что обеспечивает получение высоких механических свойств.

Маркируются чугуны буквами ВЧ – высокопрочный чугун, после букв первые две цифры указывают предел прочности при растяжении .

Чугун ВЧ45, для которого пластичность не гарантируется, применяется для изделий, не испытывающих ударных нагрузок.

Чугуны ВЧ50, В60 имеют перлитную металлическую основу, а чугун ВЧ45 – феррито-перлитную.

Механические свойства высокопрочных чугунов можно улучшить закалкой и отпуском.

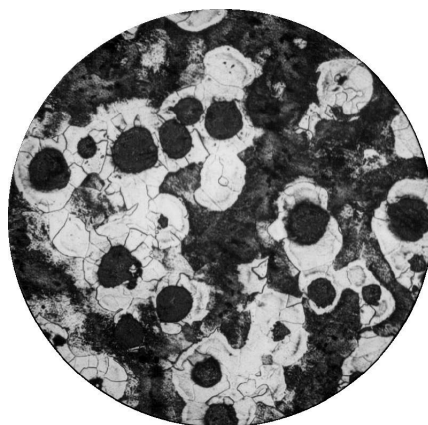


Рис.2 Микроструктура высокопрочного чугуна

Ковкие чугуны получают из белых чугунов путём графитизирующего отжига (рис. 3).

Излом ферритного ковкого чугуна бархатисто-чёрный из-за большого количества графита.

Если вторую стадию графитизации не проводят, то получают ковкий чугун со структурой графит + перлит. Излом такого чугуна светлый.

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ – ковкий чугун – цифрами. Первые цифры указывают предел прочности при растяжении (R_{σ}), вторые – относительное удлинение ($\delta, \%$) .

Чугуны марок КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ33-8, КЧ30-6 имеют ферритную металлическую основу.

Термическую обработку чугунов применяют для уменьшения напряжений в отливках, чтобы предохранить их от коробления и растрескивания, устранения отбеленной корки в отливках, изменения структуры металлической основы чугуна, смягчения и лучшей обрабатываемости отливок, а также создания требуемых свойств ковкого чугуна.

Целесообразно закалке и отпуску подвергать чугун, имеющий перлитную структуру металлической основы и благоприятную форму графита.

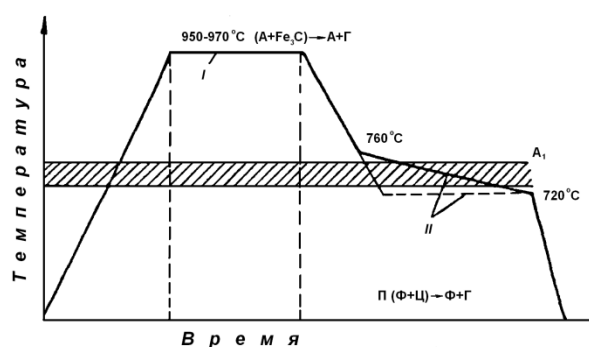


Рис. 3 График отжига отливок белого чугуна на ковкий чугун.

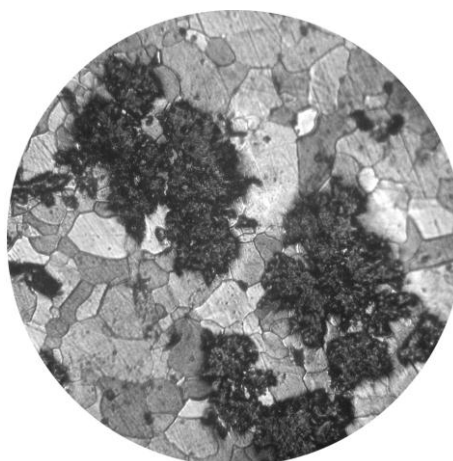


Рис. 4 Микроструктура ковкого чугуна.

Определение влияния закалки и отпуска на микроструктуру и твёрдость чугуна

Цель работы: научить учащихся самостоятельно анализировать структуру и свойства чугунов после закалки и отпуска.

Материальное оснащение: для проведения работы необходимо иметь образцы высокопрочного перлитного чугуна, муфельные печи, приборы Бринелля и Роквелла, закалочные бачки с маслом и водой, наждачное точило, шлифовальную бумагу, полировальный станок, 4%-ный раствор азотной кислоты в спирте, металлографический микроскоп, щипцы.

Задание: изучить влияние закалки и отпуска на микроструктуру и твёрдость перлитного чугуна.

Порядок выполнения работы

1. Изучить микроструктуру чугуна в исходном состоянии.
2. Измерить твёрдость чугуна (HRB или HB) в исходном состоянии.
3. Закалить образцы (6шт.) в воде или масле с температуры 860-880°C. Время нагрева определяют из расчёта 1,5-2 мин на 1мм сечения.
4. Измерить твёрдость после закалки (HB или HRC).
5. Изучить микроструктуру чугуна после закалки (1 образец). Микрошлиф травят 4%-ным раствором азотной кислоты в спирте.
6. Подвергнуть образцы отпуску (по 1 образцу) при температурах 200, 300, 400, 500, 600°C в течение 45-60 мин.
7. Измерить твёрдость после отпуска (HB или HRC).
8. Изучить микроструктуру чугуна после отпуска 600°C.
9. Полученные данные занести в таблицу 1, форма которой приведена ниже, и построить график изменения твёрдости в зависимости от температуры отпуска, дать анализ полученных результатов.

Таблица 1

Данные замеров				
Температура Нагрева, °С	Охлаждающая среда	твёрдость		Микроструктура
		HRC	HB	
Исходное состояние				
860-880				
200				
300				
400				
500				
600				

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

8. Какова структура серого чугуна?
9. Как влияет закалка на свойства чугунов?
10. Как влияет отпуск на структуру и свойства чугуна?
11. Каковы механические свойства графита?
12. Как форма, размеры и количество графитных включений влияют на свойства чугунов?
13. Как получают ковкий и высокопрочный чугун, какова структура этих чугунов?
14. Как маркируются чугуны?

Оборудование

3. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;

4. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
5. Муфельные печи МП-2УМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
- 2.. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретическая часть.....	3
Определение влияния закалки и отпуска на микроструктуру и твердость чугуна.....	5
Список литературы.....	7

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Цементация стали

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Цементация стали: Методические указания по выполнению лабораторной работы/ Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016 –6 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

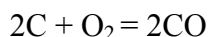
Теоретические основы

Химико-термической обработкой называется процесс изменения химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев стальных изделий. К числу основных видов химико-термической обработки относятся: цементация (науглероживание); цианирование (обогащение углеродом и азотом); азотирование (насыщение азотом); диффузионная металлизация (хромирование, силицирование, алитирование, хромалитирование, хромосилицирование и др.); борирование (насыщение бором), сульфацирование (совместное насыщение углеродом, азотом и серой).

Наиболее распространена цементация, отличающаяся простотой и дешевизной, а также заметной эффективностью. Цементации подвергают изделия из малоуглеродистой стали (содержание углерода не более 0,2 - 0,25%) как нелегированной, так и легированной. В результате цементации на поверхности образуется твердый износостойчивый слой металла при сохранении пластичной и вязкой сердцевины, хорошо сопротивляющейся ударам. Кроме того, сталь обладает повышенной усталостной прочностью. Глубина цементации зависит, в основном, от размеров детали.

Насыщение углеродом осуществляется в твердой или газовой среде. Реже используются жидкие среды. Для цементации в твердой среде детали загружают в железный ящик и засыпают сплошным слоем, называемым карбюризатором. Обычно карбюризатор состоит из 75-85% древесного угля и 15-25% солей BaCO_3 или NaCO_3 . Ящик закрывается крышкой, и для герметизации щели промазываются огнеупорной глиной. Упакованный ящик помещают в печь, нагретую до 900-1050 °С. Выдержка при указанной температуре составляет до десятков часов, в зависимости от требуемой глубины науглероженного слоя.

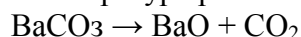
Химизм цементации заключается в следующем. Углерод карбюризатора окисляется с образованием окиси углерода:



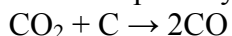
При контакте с железной поверхностью деталей окись углерода разлагается на углекислоту и атомарный углерод



Выделившийся атомарный углерод адсорбируется поверхностью детали и растворяется в γ -железе (аустените). Углекислые соли (BaCO_3 , NaCO_3) ускоряют процесс цементации, т. к. они при высокой температуре разлагаются по реакции:



Углекислый газ соединяется с углем, давая порции окиси углерода, которые в свою очередь дают дополнительное количество атомарного углерода



Газовая цементация проводится путем нагрева изделий в углеродсодержащих газах, например, в метане CH_4 , пропане C_3H_8 , окиси углерода и др. При высокой температуре происходит разложение этих соединений с выделением углерода в атомарном виде, например, $\text{CH}_4 \Rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$ или $2\text{C} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$. Далее углерод адсорбируется поверхностью, а затем растворяется в γ -железе (аустените) на определенную глубину. Время цементации при газовом способе в 2 - 3 раза меньше, чем при твердом.

Структура цементированной стали после медленного охлаждения с температуры цементации будет равновесной. Насыщение поверхностного слоя допускается до концентрации углерода 0,8-1% (редко до 1,2% С), так как слой становится очень хрупким. Таким образом, структура цементированного слоя в соответствии с содержанием углерода будет разделяться на 3 зоны: заэвтектоидную (содержание углерода > 0,8%), эвтектоидную (содержание углерода около 0,8%) и доэвтектоидную (содержание углерода < 0,8%, рис. 1). Структура сердцевины состоит, в основном, из феррита с небольшим количеством зерен перлита, так как сердцевина содержит маленький процент, углерода.

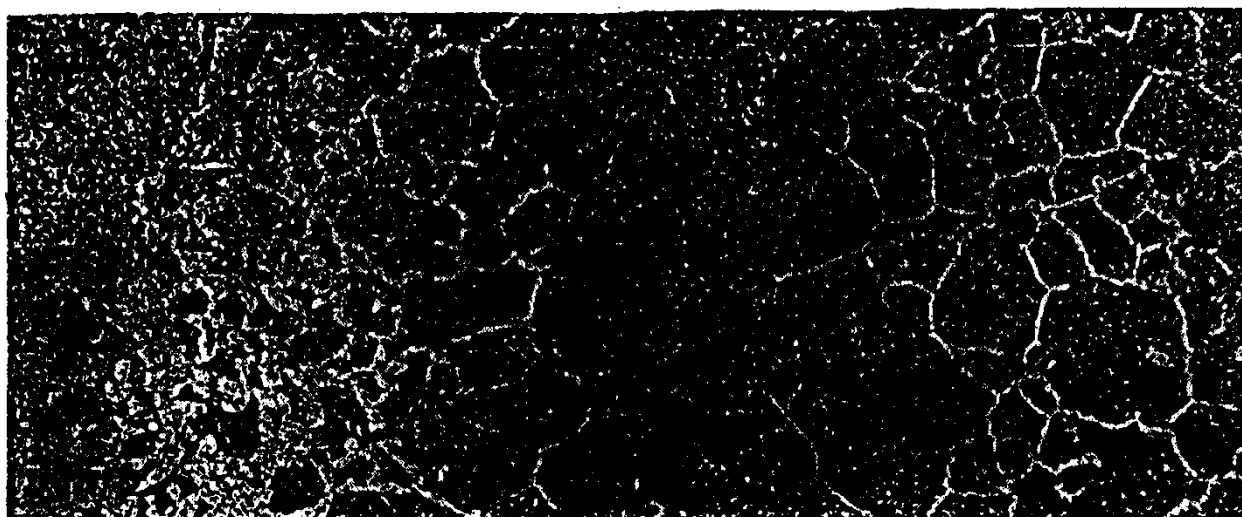


Рис. 1. Структура цементированного слоя и сердцевины в равновесном состоянии, X100

После цементации (твердой, газовой) проводят термическую обработку. Главная цель термической обработки - получить высокую твердость и прочность поверхности, а также вязкую мелкозернистую сердцевину.

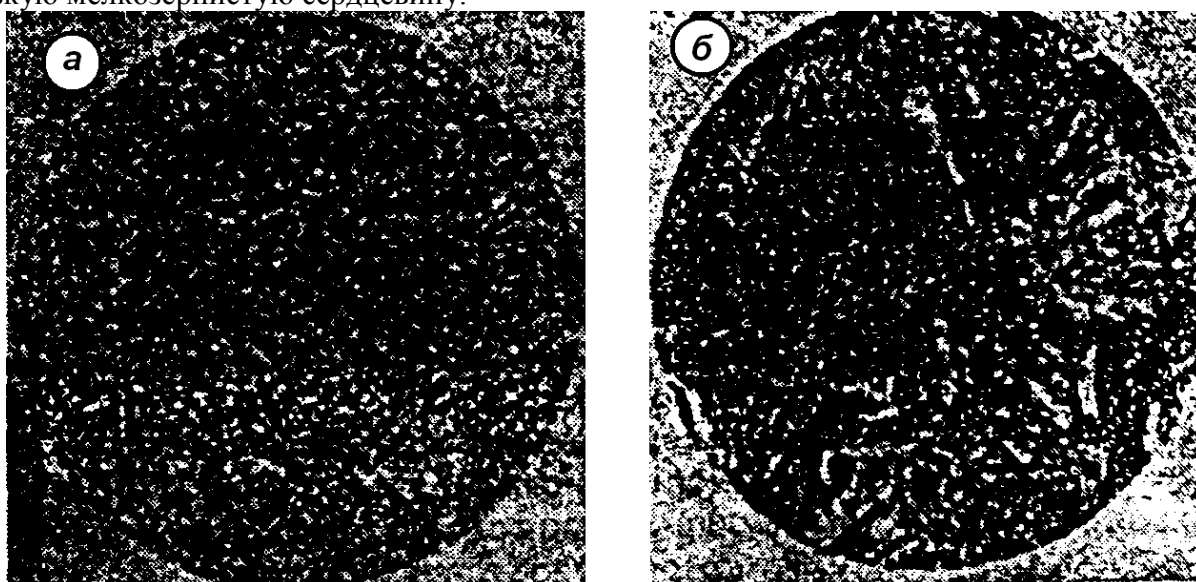


Рис 2. Структура цементованного слоя и сердцевины стали 18ХНВА после термообработки (закалка с температуры цементации и отпуск 150 °С), X450;

- а) высокоуглеродистый отпущенный мартенсит в поверхностном слое;
- б) малоуглеродистый отпущенный мартенсит в сердцевине

В соответствии с содержанием углерода для измельчения зерна сердцевины, а также для устранения цементитной сетки, если таковая образовалась при цементации, нужно провести полную закалку или нормализацию, а для упрочнения поверхностного слоя - неполную закалку и низкий отпуск. Такая сложная термообработка назначается обычно после твердой цементации, когда сталь долгое время находится при высокой температуре, что ведет к сильному росту зерна аустенита. В случае газовой среды длительность цементации значительно сокращается и нет необходимости в двойной закалке. В этом случае делают одинарную закалку с температуры 850 - 870 °С + низкий отпуск. Природномелкозернистые стали можно закаливать сразу с температуры цементации. Структура после термической обработки: в поверхностном слое отпущенный мартенсит (в легированной стали еще присутствуют карбиды). В сердцевине - феррит с небольшим количеством перлита, если сталь не легированная. В случае легированной стали - в сердцевине малоуглеродистый вязкий мартенсит (рис. 2).

Задание и методические указания

1. Изучить и зарисовать микроструктуру цементированного слоя в равновесном состоянии и сердцевины с указанием структурных составляющих и зон в цементированном слое.

В сердцевине определить содержание углерода и указать марку стали, если цементации подвергалась качественная углеродистая сталь.

2. Определить глубину цементированного слоя (за глубину принимается расстояние от поверхности до того места, где структура состоит из 50% П и 50% Ф). Для определения глубины слоя используется окуляр-микрометр, т. е. окуляр со шкалой. Сначала определяют цену деления на окуляр-микрометре при данном увеличении, а затем определяют, сколько делений занимает цементованный слой. Для определения цены одного деления на окуляр-микрометре используют объект-микрометр-линейку, на которой нанесена шкала длиной 1 мм с делениями 0,01 мм, т. е. 1 мм разбит на 100 делений. Совмещая начало шкалы объект-микрометра и окуляр-микрометра, находят, которая риска объект-микрометра точно совпадает с риской окуляр-микрометра. Затем число совпавших делений на объект-микрометре умножают на 0,01, т. е. определяют истинную длину участка, совпавшего с определенным числом делений окуляр-микрометра. После этого нетрудно узнать цену деления окуляр-микрометра, поделив истинную длину участка на количество делений окуляр-микрометра, находящихся на этом отрезке.

Затем, определяя глубину каждой зоны цементованного слоя, определяют общую глубину цементованного слоя.

3. Изучить и зарисовать структуру цементованного слоя и сердцевины после термической обработки.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Ознакомиться с основными способами химико-термической обработки.
2. Какие стали применяются для цементации?
3. Какие виды цементации существуют?
4. Каков химизм цементации?
5. Описать твердый способ цементации.
6. Описать газовый способ цементации.
7. Какая структура у стали после цементации в поверхностном слое и сердцевине?
8. Какие цели преследует термообработка после цементации?
9. Как проводят термическую обработку деталей после цементации?
10. Какая микроструктура термообработки?

Оборудование

1. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2002 – 687 с.
2. Конструкционные материалы / под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение. 1990. – 687 с.
3. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1990 – 528 с.
4. *Колесов, С. Н.* Материаловедение и ТКМ : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – М. : Высшая школа, 2004 – 519 с.
5. Новые материалы / под науч. ред. Ю. С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретические основы.....	3
Задание и методические указания.....	5
Вопросы по теоретическому материалу.....	5
Список литературы.....	5

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Анализ микроструктуры антифрикционных сплавов

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Анализ микроструктуры антифрикционных сплавов: Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 8 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВОВ

Цель работы. Изучение микроструктуры антифрикционных сплавов.

Теоретические основы.

В машиностроении широко применяют антифрикционные сплавы для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Эти материалы должны:

- 1) иметь малый коэффициент трения с материалом вала, хорошо прирабатываться к поверхности вращающегося вала;
- 2) обладать достаточной твердостью, чтобы удовлетворять требованиям опоры;
- 3) обладать микропористостью для удержания смазки;
- 4) иметь низкую температуру плавления для удобства заливки подшипников.

Для обеспечения этих требований антифрикционные сплавы должны состоять из пластичной основы и твердых включений, рассеянных равномерно в основе.

В зависимости от условий работы вкладышей подшипников применяются следующие материалы:

- 1) сплавы на железной основе — антифрикционный чугун и металлокерамические сплавы (пористые подшипники);
- 2) сплавы на медной основе — бронзы;
- 3) сплавы на алюминиевой основе;
- 4) белые подшипниковые сплавы на основе олова или свинца — баббиты.

Подшипниковые чугуны имеют перлитно – графитную или перлитоферрито - графитную структуру. Включения графита повышают износостойчивость и способствуют держанию смазки, а в условиях затрудненной смазки сами являются смазкой.

Вкладыши из ковкого и сверхпрочного чугунов применяют для более тяжелых условий работы – при больших скоростях и удельных давлениях.

Пористые самосмазывающиеся подшипники состоят из порошковых сплавов (металлокерамических) и обладают хорошей прирабатываемостью и постоянной самосмазываемостью (в порах всегда имеется запас масла). Пористость таких подшипниковых материалов доходит до 30%. У этих сплавов основное поле (до 60%) занимает спрессованный порошок, который является твердым элементом, а пустоты, занимающие остальное пространство, являются как бы мягким элементом структуры. Наиболее распространены пористые антифрикционные материалы следующих композиций: бронза – графит, железо – графит, железо – медь – графит и др. С целью увеличения прочности и эксплуатационной стойкости пористые подшипники подвергают пропитке свинцовым баббитом, бакелитовым лаком и другими материалами.

Для изготовления вкладышей, работающих при высоких нагрузках, применяют оловянистые, оловянно-свинцовые и свинцовые бронзы.

В оловянистой бронзе мягкой основой является раствор олова в меди, а твердой составляющей – химическое соединение Cu_3Sn .

Свинцовая бронза Бр. С30 имеет структуру, состоящую из механической смеси кристаллов меди и свинца. У нее основой будет являться сравнительно твердая медь с включениями свинца. Оловянистая и свинцовая бронзы обладают хорошими свойствами и применяются для особо ответственных подшипников, работающих при больших удельных давлениях.

Алюминиевые сплавы обладают высокой прочностью, теплопроводностью и износостойкостью. Наиболее распространен алюминиевомедный сплав, у которого структура состоит из алюминиевой пластической основы и опорных кристаллов химического соединения $CuAl_2$.

Белые подшипниковые сплавы состоят из олова и свинца с добавлением сурьмы, меди, мышьяка, кальция и других элементов. Структура их должна состоять из пластичной основы, обеспечивающей, обеспечивающей хорошую прирабатываемость, и твердых включений, являющихся опорой валу

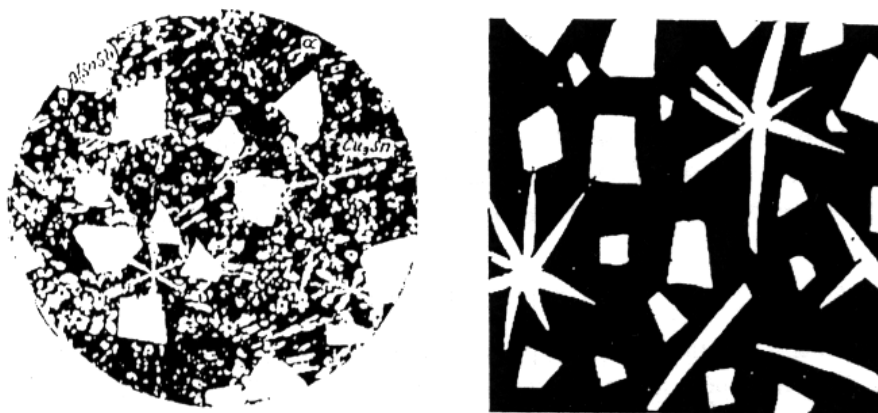


Рис.1 Микроструктура сплавов Б83.

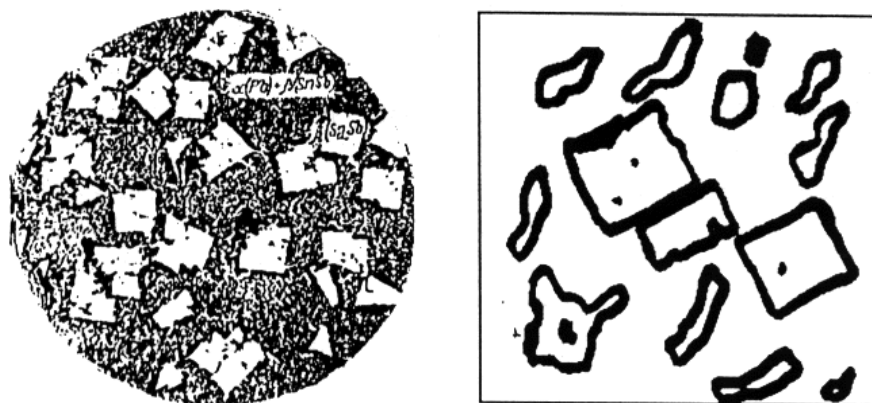


Рис.2. Микроструктура сплавов Б16.

Сурьма добавляемая к олову, упрочняет основу оловянистых сплавов. Сурьма растворяется в олове и образует α -твердый раствор, обладающий большей твердостью и прочностью, чем чистое олово при такой же пластичности. При содержании сурьмы более 7,5% в структуре появляется твердое химическое соединение $SbSn$. Медь почти не растворяется в олове и образует с ним химическое соединение состава Cu_3Sn , являющееся твердым включением, и поэтому медь не оказывает влияния на основу сплава. Медь уменьшает ликвацию по удельному весу. В промышленности применяются баббиты следующих марок: Б83, Б16, БС, БК, БН, БТ и др.

Структура оловянистого баббита Б83 состоит из твердого раствора сурьмы и меди в олове (мягкая основа) и химических соединений Cu_3Sn и $SbSn$ (твердые включения). В травленном шлифе твердый раствор имеет темный фон, химическое соединение $SbSn$ – вид крупных светлых кристаллов и химическое соединение Cu_3Sn – вид мелких светлых кристаллов (Рис.1). Б83 является наиболее качественным баббитом и применяется для заливки подшипников валов, работающих при больших скоростях вращения.

В баббите Б16 мягкой основой является раствор сурьмы и олова в свинце, а твердыми включениями – химические соединения $SbSn$ и Cu_3Sn (рис. 2). Б16 является более дешевым баббитом и по качеству уступает Б83, но с успехом применяется для подшипников тракторных и автомобильных двигателей.

В баббите БС мягкой основой является эвтектика $\alpha + \beta$ (α – раствор сурьмы в свинце, β – раствор свинца в сурьме), обладающая недостаточной пластичностью, а твердыми кристаллами являются β - раствор и химическое соединение Cu_2Sn (рис. 3). БС имеет наихудшие свойства по сравнению с другими баббитами, но дешевле и может быть использован для подшипников двигателей и механизмов с небольшой скоростью вращения валов.



Рис.3 Структура сплавов БС

В кальциевом баббите БК мягкой основой является раствор натрия в свинце, а твердой составляющей – кристаллы химического соединения Pb_3Ca . БК почти не уступает в твердости и стойкости другим баббитам, но на воздухе обладает низкой коррозионной устойчивостью и легко окисляется в расплавленном состоянии.

Задание.

1. Исследовать и зарисовать микроструктуру антифрикционных сплавов.
2. Указать условия и область применения исследуемых антифрикционных сплавов.

Необходимое оборудование и применяемые материалы:

- 1)металлографический микроскоп;
- 2) реактивы для травления;
- 3) шлифы антифрикционных сплавов.

Ход работы.

1. Выбрать реактив для травления шлифов и протравить их.
2. Настроить микроскоп на увеличение в 200 – 300 раз и установить исследуемый образец на предметный столик микроскопа.
3. Зарисовать видимую под микроскопом структуру.
4. В соответствии с диаграммой состояния перечислить структурные составляющие, присутствующие в сплаве, и охарактеризовать их.
- 5.Объяснять различие в свойствах антифрикционных сплавов в зависимости от их структуры.
6. Указать положение изучаемого сплава на диаграмме состояния.
7. Указать условия и область применения изучаемых сплавов.

Обработка результатов опыта и составления отчета.

Отчет о проделанной работе должен содержать:

- 1) Цель работы;
- 2) задание;
- 3) зарисовки, описание и характеристику изученных микроструктур;
- 4) диаграмму состояния с указанием положения исследуемых сплавов на диаграмме ;
- 5) выводы о влиянии структуры сплава на его механические свойства;
- 6) условия и область применения изученных сплавов.

Справочные материалы:

1. Марки и состав подшипниковых чугунов (см.табл. 1).
2. Марки, состав и назначение некоторых антифрикционных бронз (см. табл.2).
3. Условия применения подшипниковых сплавов (см. табл.3).
4. Марки, состав и применение баббитов (см. табл.4).
5. Физико-механические свойства некоторых баббитов (см. табл.5).

Таблица 1

Марки и состав подшипниковых чугунов

Марка чугуна	Химический состав в %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
СЧЦ1	3.2- 3.6	2.2- 2.4	0.6- 0.9	0.15- 0.20	До 0.12	0.2- 0.35	0.3- 0.41	0.2- 0.3	0.10- 0.15
СЧЦ2	3.2- 3.6	2.2- 2.4	0.6- 0.9	0.15- 0.20	До 0.12	0.2- 0.35	0.3- 0.4	-	-

Таблица 2

Марки, состав и назначение некоторых антифрикционных бронз

Марки бронзы	Химический состав в %					Примерное значение
	Sn	P	Zn	Pb	При месе й	
Бр. ОФ 6.5-0.25	6-7	0.1- 0.25	-	-	0.1	Для лент, полос подшипниковых деталей
Бр. ОЦС 4-4-4	3-5	-	3-5	3.5- 4.5	0.2	Для лент и полос для прокладок во втулках и подшипниках
Бр. АЖМц1 0-3-1.5	Al 9-11	Mn 1-2	Fe 2-4	-	-	Для прутков и труб для изготовления втулок подшипников, зубчатых колес
Бр. С30	-	-	-	-	-	Для вкладышей подшипников

Таблица 3

Условия применения подшипниковых сплавов

Наименование подшипникового	Допустимое удельное давление Р в кг/см ²	Допустимая окружная скорость скольжения V в м/сек	Допустимое P _v в кгм/см ² сек
Серый чугун	-	До 5	20-25
Ковкий чугун	-	-	До 100-120
Б83	До 100	5 и более	» 500
Б16	» 100	1.5 »	» 150
БН	» 100	1.5 »	» 300

Таблица 4

Марки, состав и применение баббитов(ГОСТ 1320-55)

Марка баббита	Химический состав в %						назначение
	Sb	Cu	Cd	Sn	Pb	Другие элементы	
Б83	10-12	5.5-6.5	-	Остальное	-	-	Для заливки подшипников особо нагруженных машин
Б16	15-17	1.5-2.0	-	15-17	Остальное	-	Для подшипников, компрессоров, локомотивов, трамваев и т.д
Б6	14-16	2.5-3.0	1.75-2.25	5-6	Остальное	Мышьяк 0.6-1.0	Для подшипников нефтяных двигателей, металлообрабатывающих станков, насосов, вентиляторов
БН	13-15	1.5-2.0	1.25-1.75	9-11	Остальное	Никель 0.75-1.25 мышьяк 0.5-0.9	Для подшипников тракторных и автомобильных двигателей, паровых машин, насосов
БТ	14-16	0.7-1.1	-	9-11	Остальное	Телур 0.05-0.20	Для коренных и шатунных подшипников тракторных и автомобильных двигателей

Таблица 5

Физико-механические свойства некоторых баббитов

Физико-механические свойства	Марка баббита		
	Б83	Б16	БН
Удельный вес в г/см ³	7.38	9.29	9.55
Температура заливки сплава в °С	420	450	450
Предел прочности при растяжении в кг/мм ²	9	7.8	7
Относительное удлинение в %	6	0.2	1
Предел прочности при сжатии в кг/мм ²	11.5	12.3	12.7
Твердость по Бринелю НВ	30	30	29
Ударная вязкость образца без надреза в кгм/см ²	0.6	0.4	0.3

Вопросы по теоретическому материалу для отчета.

5. Какие антифрикционные сплавы Вы знаете?
6. Какова структура баббитов?
7. Какими свойствами должны обладать антифрикционные сплавы?
8. Какие Вы знаете антифрикционные бронзы, где они применяются?
5. Условия применения антифрикционных сплавов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
- 2.. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретические основы.....	3
Задание.....	5
Список литературы.....	8

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Микроанализ литейных алюминиевых сплавов. Модифицирование силуминов

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,
19.03.01 Биотехнология,
20.05.01 Пожарная безопасность

Саратов 2016

Микроанализ литейных алюминиевых сплавов. Модифицирование силуминов:
Методические указания по выполнению лабораторной работы / Сост. : А.А. Аникин,
А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов,
2016. – 8 с.

В методическом руководстве приведено описание лабораторной работы по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов направлений подготовки Агроинженерия, Теплоэнергетика и теплотехника, Наземные транспортно-технологические комплексы, Биотехнология, Строительство, Пожарная безопасность. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторных работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

МИКРОАНАЛИЗ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНОВ

1. Цель работы

Изучить структуру, свойства и применение литейных алюминиевых сплавов. Ознакомиться с модифицированием поршневых силуминов.

2. Домашняя подготовка

2.1 Изучить, какие литейные алюминиевые сплавы применяются в машиностроении наиболее широко.

2.2 Преимущества и недостатки алюминиевых сплавов.

2.3 Какие модификаторы применяются для силуминов? Их влияние на структуру и свойства.

2.4 Какими свойствами должны обладать поршневые сплавы?

2.5 Какие алюминиевые сплавы применяются для изготовления поршней? Назначение каждого из элементов, входящих в сплав.

3. Задание

3.1 Изучить и зарисовать структуру силуминов АЛ9 и АК2М2 до модифицирования и после модифицирования.

3.2 Описать, как влияют модификаторы на структуру и свойства.

3.3 Изучить, как изготавливаются поршни из силуминов, какими свойствами они обладают.

4. Приборы, материалы, наглядные пособия.

4.1 Металлографические микроскопы.

4.2 Набор шлифов силуминов.

4.3 Атлас нормальных микроструктур.

4.4 Диаграмма Al-Si.

5. Краткие сведения о литейных алюминиевых сплавах и модифицировании силуминов.

Алюминиевые сплавы, применяемые как заменители стали, чугуна, антифрикционных сплавов в различных отраслях, особенно в автотракторной промышленности, имеют основное преимущество – высокую удельную прочность, что приводит к снижению отношения веса машины к её мощности.

Общепризнанными в настоящее время являются поршни и головки цилиндров, изготавливаемые из алюминиевых сплавов, а в некоторых случаях («Волга», «Чайка») из алюминиевого сплава делают и блок цилиндров. В тракторостроении из алюминиевых сплавов целесообразно изготавливать корпус масляного насоса, корпус центрифуги, корпус водяного насоса и т.д. Такая замена тормозится отсутствием приемлемых для массового производства технологий получения высококачественных отливок для крупных деталей сложной конфигурации.

Совершенствованием технологических процессов изготовления отливок из алюминиевых сплавов занимается отраслевая лаборатория при кафедре «Технология машиностроения конструкционных материалов» СГАУ.

Технические алюминиевые сплавы подразделяются на две группы: деформируемые (катаные, кованные, прессованные) и литейные (для фасонного литья).

Алюминий с другими компонентами чаще всего образует диаграмму 3 типа с большей или меньшей растворимостью компонента в алюминии. Деформируемые сплавы не должны содержать в структуре эвтектики, которая содержит очень твёрдые фазы и способствует снижению пластичности.

Из сплавов с эвтектикой детали можно изготавливать только литьём, тем более, что эвтектика улучшает литейные свойства (делает сплав жидкотекучим и легкоплавким).

Наиболее распространёнными деформируемыми сплавами являются дуралюмины (Al + Cu + другие элементы), а литейными – силумины (Al + Si + другие элементы).

5.1 Литейные алюминиевые сплавы

Химический состав некоторых литейных алюминиевых сплавов представлен в таблице. Буква «А» в марке означает «Алюминиевый», «Л» - литейный, цифра – порядковый номер в ГОСТе. Принцип маркировки двух последних в таблице сплавов другой: буква «К» - это Si; М – медь; Н - никель; цифры означают процентное содержание соответствующего элемента в сплаве.

Как видно из таблицы, большинство литейных сплавов – силумины. Al и Si дают диаграмму 1 типа (очень малой растворимостью Si в Al можно пренебречь).

Наилучшими литейными свойствами обладает эвтектический сплав (нормальный силумин АЛ2 – см. таблицу).

Механические свойства силуминов зависят от размеров и расположения кристаллов Si в алюминии, а также от добавки легирующих элементов. Для измельчения кристаллов в отливках применяется модифицирование. Модификаторы – это небольшие добавки (менее 1%), которые вводят в расплав перед разливкой в формы. Модификаторы влияют на процесс кристаллизации: а) создают готовые центры для зёрен, что приводит к их измельчению (инокуляторы) ; б) изменяют форму растущих зёрен (поверхностно-активные).

Из силуминов в настоящее время отливают большинство отливок, в том числе поршни для двигателей.

5.2. Поршневые алюминиевые сплавы

К сплавам для поршней предъявляются многие требования, главными из которых являются два:

1. Пониженная плотность, снижающая нагрузку на шатун.
2. Низкий коэффициент термического расширения, что обеспечивает минимальный зазор между поршнем и цилиндром.

Алюминий имеет в 2 раза больший коэффициент термического расширения, чем сталь или чугун. Кремний снижает коэффициент термического расширения, поэтому в последнее время для поршней используют высококремнистые заэвтектические силумины. В то же время повышенное количество кремния делает сплав более хрупким и ухудшает обрабатываемость резанием. Для устранения этих недостатков, а также повышения износостойкости необходимо совершенствовать методы модифицирования. Для получения достаточной жаропрочности поршневые сплавы легируют медью, никелем, марганцем, хромом и т.д., которые, частично растворяясь в алюминии, повышают прочность. Кроме того, эти элементы образуют интерметаллиды (химические соединения между металлами), которые, располагаясь по границам зёрен, создают жёсткий каркас, препятствующий деформации сплава при высоких температурах (температура нагрева поршня в двигателе составляет $\sim 350^{\circ}\text{C}$). Кроме того, интерметаллиды повышают износостойкость, т.к. это твёрдые фазы. Особенно благоприятно комплексное легирование, поэтому поршневые сплавы имеют сложный химический состав (см. таблицу 1).

Таблица 1

Химический состав некоторых литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Химический состав, %	примечание	
АЛ1 АЛ2 (АК 12)	4 Cu; 1,5 Mg; 2Ni 12 Si	Нормальный силумин (эвтектический)	
АЛ3 АЛ4(АК 9ч) ЗАЛ5 АЛ5 (АК5М) АЛ6 АЛ7	5 Si;3Cu;0,5 Mg;0,7 Mn 10 Si; 0,2 Mg;0,4 Mn 7 Si;0,2 Mg; 0,3 Be 5 Si;1 Cu;0,5 Mg 5 Si; 3 Cu 5 Cu		
АЛ8 АЛ9 (АК 7ч) АЛ13 (АМr5К) АЛ19 (АМ5) АЛ20	10 Mg 7 Si; 0,3 Mg 5 Mg;1Si; 0,3 Mn 5 Cu;1 Mn; 0,3 Ti 4 Cu; 1 Mg; 2 Si;1,5 Fe;0,1 Ti;0,2 Cr; 0,2 Mn		Si добавляется для литья в кокиль
АЛ21	5 Cu; 3 Ni; 0,2 Cu; 0,3 Mn; 1,5 Mg		
АЛ10В АЛ25 (АК12М2МrН) АЛ25 АЛ30 (АК12ММrН) АК21 АК21М2, 5Н2, 5	5,5 Si; 7 Cu;0,4 Mg;0,5 Ni;0,5 Mn;0,6 Zn; 2,5 Fe 12 Si;2 Cu;1 Mg;1 Ni 0,5 Mn;0,1 Ti;0,5 Zn; 0,8 Fe 21 Si;2 Cu;0,6 Mg;1,5 Ni;0,6 Mn;0,2 Ti;0,7 Fe;0,3 Zn 12 Si;1,2 Cu;1,1 Mg;1Ni;0,2 Mn;0,2 Ti;0,7 Fe;0,2 Zn 21 Si;1,6 Cu;0,5 Mg;1,5 Ni;0,7 Mn;0,7 Fe 21 Si;2,5 Cu;2,5 Ni;0,4 Mg;0,3 Mn;0,3 Cz;0,2 Ir;0,9 Fe		Поршневые сплавы

5.3 Модифицирование и рафинирование силуминов

По отношению к силумину модификаторы делятся на группы:

- 1) Измельчающие кремний в эвтектике.
- 2) Измельчающие заэвтектический кремний.
- 3) Универсальные – измельчающие кремний как в эвтектике, так и заэвтектический.

Модификаторы вводят в расплав чаще всего в виде лигатур или солей, что способствует лучшему растворению модификатора в сплаве. Перед модифицированием алюминиевые сплавы рафинируют (очищают от примесей), при этом происходит и дегазация. Дело в том, что алюминий в расплавленном состоянии активно поглощает газы, особенно водород, который при кристаллизации отливки выделяется, образуя газовую пористость. Для рафинирования применяют соли и инертные газы. Рафинирующие вещества должны адсорбировать газы и выносить на поверхность окислы и другие неметаллические частицы. После рафинирования сплав модифицируют. Для модифицирования доэвтектических и эвтектических силуминов применяют Na, Mg, Li и др.: для модифицирования заэвтектических силуминов – P, S, Be. Все эти элементы имеют при модифицировании те или иные недостатки (напр. Na – маленькую живучесть, что неприемлемо для массового производства, Be – очень токсичен).

Очень хорошие результаты получены отраслевой лабораторией при кафедре «Технология машиностроения конструкционных материалов» СГАУ, где в качестве модификатора используется иттрий.

К настоящему времени разработаны и внедрены:

- 1) Технология модифицирования иттрием сплава типа АЛ13 в процессе отливки головки блока цилиндров на ГАЗе.
- 2) Технология рафинирования и модифицирования силумина АК21М2, 5Н2, 5 в процессе отливки поршней на Алма-Атинском заводе «Поршень» для дизелей А-О1М и А-41 ПО «Алтайский моторный завод».

5.4 Технология отливки поршней

Завод получает чушки сплава АК21М2, 5Н2, 5, которые плавят в индукционной печи. Затем расплав переливают в раздаточный ковш ёмкостью 1г, где его сначала рафинируют таблетированным препаратом, разработанным в отраслевой лаборатории (ОЛСЧ). Таблетки для рафинирования содержат гексахлорэтан C_2Cl_6 , фторцирконат калия K_2ZrF_6 , пентасернистый фосфор P_4S_{10} и хлористый калий KCl. При вводе в расплав таблеток происходят бурные реакции, по окончании которых снимают шлак и модифицируют иттрий-кремниевой лигатурой, при этом иттрий вводят в количестве 0,06% от веса сплава. Оптимальное количество иттрия в составе лигатуры были установлены в ОЛСЧ. Модификатор (40% иттрий-кремниевая лигатура) должен быть введён при $t=820-860^{\circ}C$ с последующей выдержкой расплава 5-10 мин. Затем сплав переливают в раздаточные электрические печи сопротивления ёмкостью 0,25т., продувают аргоном для окончательного рафинирования и дегазации, снимают шлак и приступают к заливке форм в литейном кокильном полуавтомате. Матрица кокиля изготовлена из легированного чугуна, а стержни – из жаропрочной стали.

5.5 Влияние иттрия на структуру и свойства сплава

Сравнительное изучение структуры модифицированного и немодифицированного поршня показало, что иттрий способствует измельчению кристаллов Si (как эвтектических, так и заэвтектических – т.е. это универсальный модификатор), более равномерному их распределению в матрице, а также измельчению интерметаллидов ($NiCuAl_2$; Al_6Cu_2Ni ; $FeNiAl_9$ и др.) – см.рис.3. Кроме того, иттрий способствует

уменьшению газовой пористости, т.к. активно связывает водород. Образующиеся гидриды иттрия имеют с кремнием одинаковый тип кристаллической решётки – кубическая – и близкие параметры этой решётки ($a(\text{Si})_0 = 5,430^\circ \text{ \AA}$; $a(\text{YH})_2 = 5,207^\circ \text{ \AA}$), поэтому можно утверждать, что иттрий в виде гидридов создаёт готовые центры кристаллизации для кремния, чем можно объяснить измельчение кремния под влиянием модифицирования. Форма кристаллов Si не изменяется.

Исследования показали, что иттрий в очень небольшом количестве растворяется в Si, при этом твёрдость возрастает с 1200 Н до 1700 Н. Кроме того, установлено, что под влиянием иттрия повышается прочность и жаропрочность сплава.

Более равномерное распределение кристаллов кремния привело к улучшению обрабатываемости резанием, что в массовом производстве имеет очень большое значение: стойкость одного комплекта резцов при обработке поршней на потоке возросла в 2-3 раза, а чистота поверхности (шероховатость) на класс выше.

В результате разработанного техпроцесса повысилась износостойкость поршней, что позволило увеличить моторесурс двигателей с 6000 до 9000 моточасов.

В настоящее время работа по изысканию новых, более эффективных и дешёвых модификаторов продолжается. В ОЛСЧ сейчас изучается влияние других редкоземельных металлов (церия и лантана) на поршневой силумин, изучаются такие различные составы лигатур Ce-Si и La-Si при модифицировании.

6. Методика выполнения

6.1 Пользуясь справочником, записать химический состав, свойства и применение силумина АЛ9.

6.2 Изучить и зарисовать структуру модифицированного Na и немодифицированного силумина АЛ9.

6.3 Выписать из таблицы 1 химический состав поршневого силумина АК21М2, 5Н2, 5 и законспектировать, как влияют легирующие элементы на свойства.

6.4 Зарисовать структуру модифицированного Y и немодифицированного силумина. Объяснить влияние иттрия на структуру и свойства поршней.

Вопросы для отчета

9. Какие литейные алюминиевые сплавы Вы знаете?
10. Как изменяются механические свойства литейных алюминиевых сплавов в зависимости от модифицирования?
11. Какие требования предъявляются к поршневым алюминиевым сплавам?
12. Какие модификаторы Вы знаете?
5. Как влияет иттрий на структуру и свойства сплавов?
9. Каковы технологические свойства бронз?
10. Пользуясь диаграммой Al-Si объяснить влияние кремния на структуру и свойства алюминиевых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
2. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
56. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Домашняя подготовка.....	3
3. Задание.....	3
4. Приборы, материалы, наглядные пособия.....	3
5. Краткие сведения о литейных алюминиевых сплавах и модифицировании силуминов.....	3
6. Методика выполнения.....	7
Вопросы для отчета.....	7
Список литературы.....	8