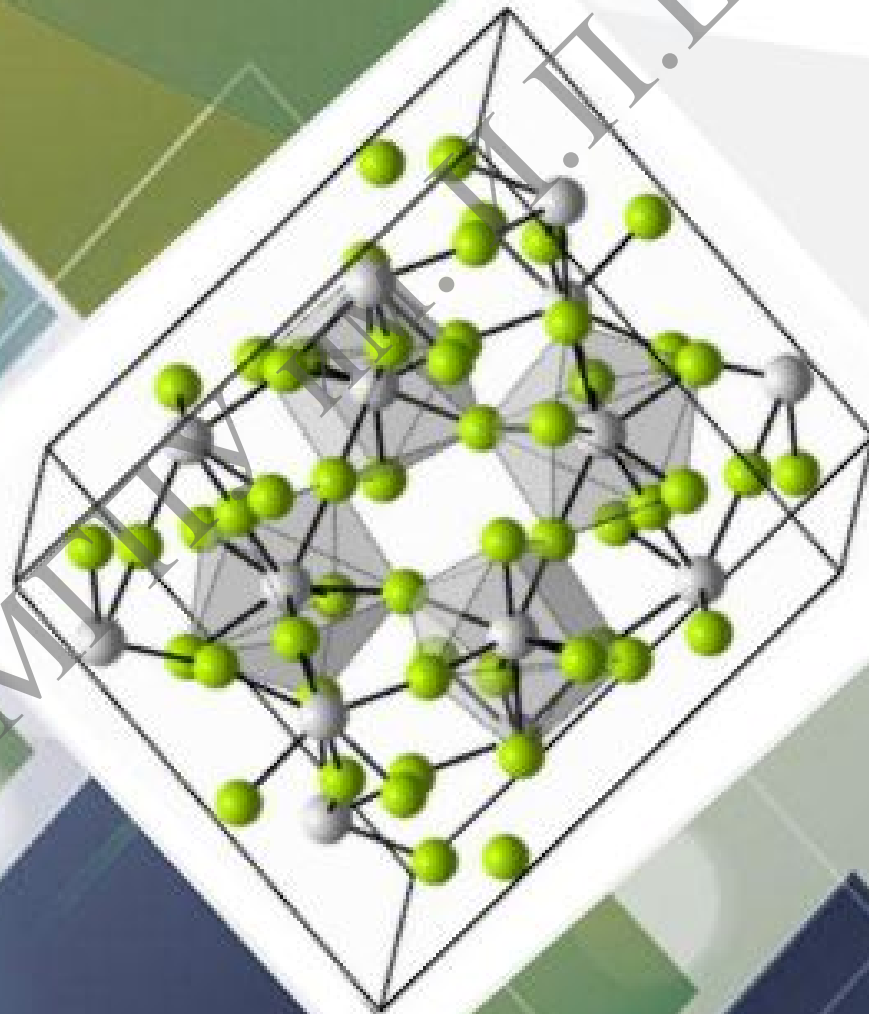


Л.Н.Бакланенко
С.А.Иващенко
А.В.Макаренко

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

Л. Н. Бакланенко, С. А. Иващенко, А. В. Макаренко

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по профессионально-техническому обучению в качестве пособия
для студентов учреждений высшего образования, обучающихся
по специальности 1-08 01 01 «Профессиональное обучение
(по направлениям)» направление специальности
1-08 01 01-01 «Профессиональное обучение (машиностроение)»*

Мозырь
МГПУ им. И. П. Шамякина
2020

УДК 620.22:621.01(076.5)

ББК 34.43я73

Б19

Авторы:

Л. Н. Бакланенко, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерно-педагогического образования УО МГПУ им. И. П. Шамякина;

С. А. Иващенко, доктор технических наук, профессор, декан инженерно-педагогического факультета УО БНТУ;

А. В. Макаренко, старший преподаватель кафедры инженерно-педагогического образования УО МГПУ им. И. П. Шамякина

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент,
заместитель декана инженерно-педагогического факультета
УО «Белорусский национальный технический университет»

С. С. Данильчик;

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Вакуумная и компрессорная техника»
УО «Белорусский национальный технический университет»

В. М. Комаровская

Бакланенко, Л. Н.

Б19 Материаловедение : пособие / Л. Н. Бакланенко, С. А. Иващенко, А. В. Макаренко. – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2020. – 134 с. ISBN 978-985-477-704-7.

Издание поможет студентам приобрести практические навыки экспериментальной работы и обработки полученных данных: выполнение микроструктурного и макроструктурного анализа черных и цветных металлов и сплавов, исследование полимерных композиционных материалов, древесины и пластичных смазок, определение физико-механических свойств материалов, выполнение основных операций термической обработки металлов. Каждая лабораторная работа включает в себя необходимые краткие теоретические сведения, экспериментальную часть, указания по обработке результатов и их представлению в отчете.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению специальности «Профессиональное обучение (машиностроение)».

УДК 620.22:621.01(076.5)

ББК 34.43я73

ISBN 978-985-477-704-7

© Бакланенко Л. Н., Иващенко С. А.,
Макаренко А. В., 2020

© УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
Определение твердости материалов	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
Наблюдение с помощью биологического микроскопа за процессом кристаллизации перенасыщенного раствора соли	20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
Диаграмма состояния сплавов системы железо-углерод	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
Макроструктурный анализ металлов и сплавов	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	
Микроскопический метод исследования металлов и сплавов. Изучение микроструктуры сталей	43
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	
Изучение микроструктуры чугунов	54
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7	
Выбор инструментальной стали для производства инструментов в машиностроении	63
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8	
Термическая обработка металлов (закалка и отпуск)	72
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9	
Анализ микроструктуры цветных сплавов	80
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10	
Выбор конструкционных материалов для изготовления в машиностроении деталей на основе медных сплавов	90
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11	
Выбор конструкционных материалов для изготовления в машиностроении деталей на основе алюминиевых сплавов	100
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12	
Определение свойств пластичных смазок	108
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13	
Изучение физических свойств древесины	116
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14	
Изучение композиционных материалов с полимерной матрицей	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	132

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Пособие по выполнению лабораторных работ составлено в соответствии с учебной программой дисциплины «Материаловедение» для студентов дневной и заочной форм получения высшего образования, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение (машиностроение)» и включает 14 лабораторных работ, одна из которых заключается в практическом анализе диаграммы «Железо-углерод». Работы посвящены изучению свойств конструкционных и эксплуатационных материалов, выбору или разработке их для определенных условий эксплуатации.

Назначение пособия – помощь студентам в формировании навыков самостоятельной работы по изучению структуры и свойств металлов и сплавов, использованию данных макро- и микроанализа, освоению необходимой для этого аппаратуры, проведению основных операций термической обработки стали.

Перед выполнением лабораторной работы студенты должны усвоить требования к мерам безопасности, без знания и выполнения которых они отстраняются от её выполнения.

Объем большинства лабораторных работ рассчитан на четыре учебных часа. Некоторые работы, носящие исследовательский характер, требуют для их выполнения больше времени и проводятся таким образом, когда каждый студент выполняет только часть опытов, необходимых для своего исследования, а затем, используя данные всех опытов, проведенных на занятии, строит и анализирует результирующие графики.

Также в пособии представлена дополнительная литература для самостоятельной работы студентов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цель эксперимента: изучение методов определения твердости сплавов, изучение устройства твердомеров и приобретение практических навыков при проведении испытания на твердость.

Приборы и принадлежности: твердомеры типа ТШ-2М (или 2109ТБ) и ТК-2М, микроскоп МПБ-2, комплект образцов из отожженной углеродистой стали и цветных сплавов, напильник, штангенциркуль ШЦ-I, контрольные бруски, шлифовальная бумага.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Механические свойства материалов характеризуют возможность их использования в изделиях, эксплуатируемых при воздействии механических нагрузок. Основными показателями таких свойств служат параметры прочности, твердость и триботехнические характеристики. Они же являются «чистыми» константами материалов, но существенно зависят от формы, размеров и состояния поверхности образцов, а также режимов испытаний, прежде всего скорости нагружения, температуры, воздействия сред.

Прочность – способность материалов сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы под действием внешних нагрузок. Она обусловлена силами взаимодействия атомных частиц, составляющих материал. Сила взаимодействия двух соседних атомов зависит от расстояния между ними (рисунок 1.1), если пренебречь влиянием окружающих атомов. При равновесном расстоянии ($r_0 \approx 0,1$ нм) она равна нулю. Критическому расстоянию r_k соответствует максимальная по абсолютной величине сила притяжения F_T . Если при растяжении образца внешняя сила, действующая на каждую пару атомов, превосходит F_T , атомы будут удаляться друг от друга.

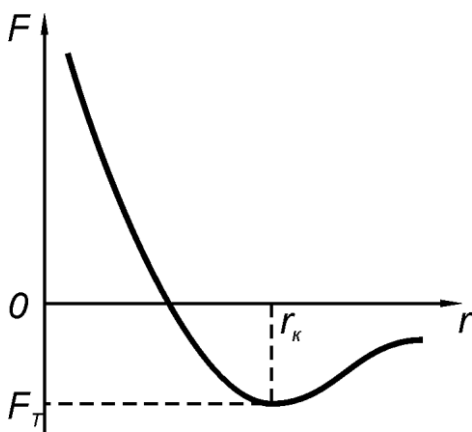


Рисунок 1.1. – Зависимость силы взаимодействия атомов

Чтобы разделить образец на две части, нужно, чтобы на каждую пару атомов, расположенных по обе стороны от поверхности раздела, действовала сила больше F_T . Напряжение σ_T , отвечающее силе F_T , соответствует теоретической прочности.

Реальные материалы характеризуются технической прочностью, основные характеристики которой удобно рассмотреть с помощью диаграммы растяжения образца из пластичного материала (рисунок 1.2).

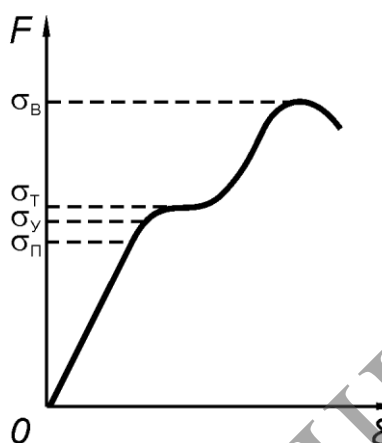


Рисунок 1.2. – Диаграмма растяжения

$\sigma_{п}$ – предел пропорциональности – напряжение, при котором соблюдается линейная зависимость между напряжениями и деформациями; $\sigma_{п}$ является верхней границей области напряжений, где реализуется закон Гука;

$\sigma_{у}$ – предел упругости – напряжение, при котором остаточная деформация достигает 0,05 % первоначальной длины образца; $\sigma_{у}$ ограничивает область упругих деформаций материала;

$\sigma_{т}$ – предел текучести – напряжение, отвечающее нижнему положению площадки текучести для материалов, разрушению которых предшествует заметная пластическая деформация. Обычно остаточная деформация образцов не превышает 0,2 % первоначальной длины образца;

$\sigma_{в}$ – предел прочности – напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

Твердость является механической характеристикой материалов, комплексно отражающей их прочность, пластичность, а также свойства поверхностного слоя образца. Она выражается сопротивлением материала местному пластическому деформированию, возникающему при внедрении в образец более твердого тела наконечника (индентора).

Существует несколько способов измерения твердости, различающихся по характеру воздействия наконечника. Наибольшее распространение получили три способа: вдавливание, царапание, динамические методы.

Вдавливание наконечника в образец с последующим измерением размеров отпечатка является основным технологическим приемом при оценке твердости материалов. В зависимости от особенностей приложения нагрузки, конструкции наконечников и определения чисел твердости различают методы Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора.

1 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТОДОМ БРИНЕЛЛЯ

Сущность этого метода состоит в том, что на специальном прессе в испытываемый металл (образец) вдавливается стальной закаленный шарик диаметром 10,5 или 2,5 мм под действием заданной нагрузки P , действующей в течение определенного времени.

Твердость образца или изделия по методу Бринелля определяют с помощью рычажно-механического прибора типа ТШ-2М или 2109ТБ (рисунок 1.3). Несущим элементом конструкции прибора является станина 2. Испытываемый образец устанавливают на предметный столик 5. Вращая маховик 3 винтом 4, поднимают образец до соприкосновения его с шариком 7 и далее до упора ограничителя. После этого нажатием кнопки 1 включают электродвигатель 18, который через червячную передачу редуктора, шатун 15 и систему рычагов 12 с грузами 14 создает нагрузку на шарик. Время выдержки испытываемого образца контролируют с помощью сигнальной лампы 11. По окончании испытания (после того, как погаснет лампочка и остановится электродвигатель) образец снимают и определяют диаметр отпечатка.

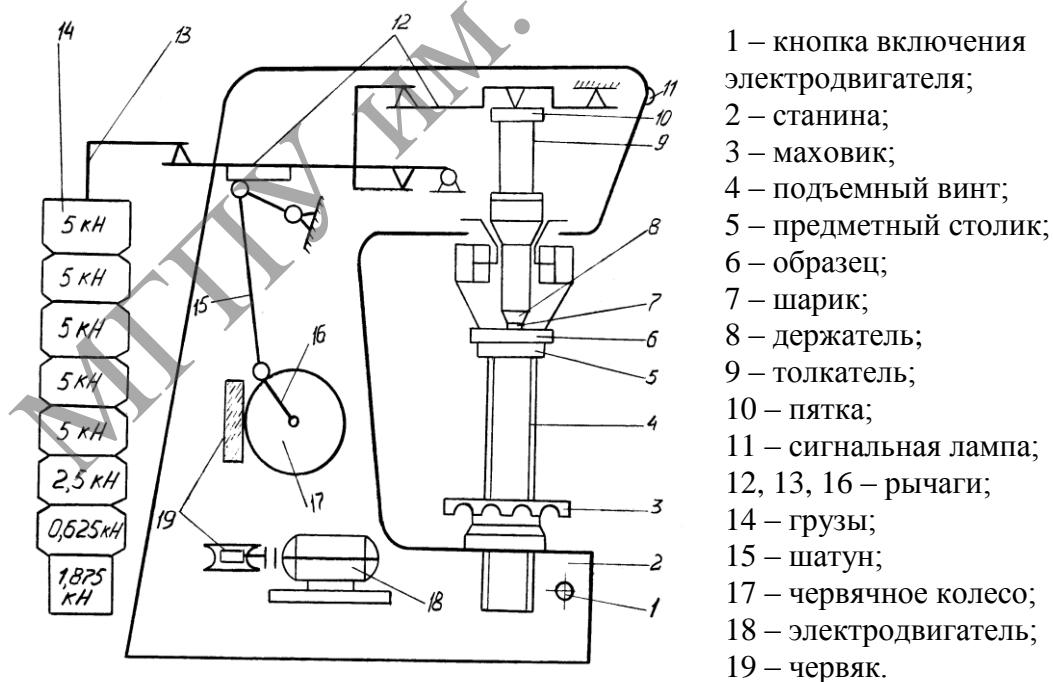
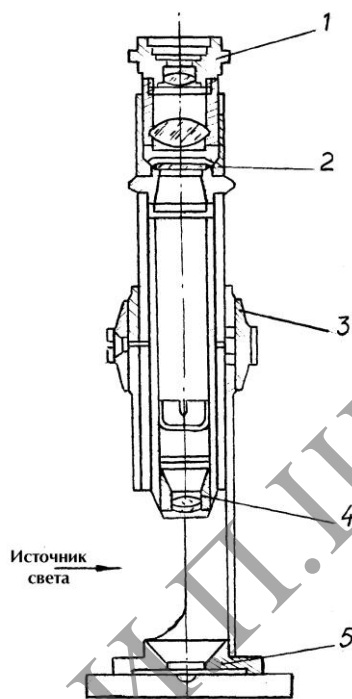


Рисунок 1.3. – Схема твердомера типа ТШ-2М

Диаметр отпечатка измеряют микроскопом, на окуляре которого нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра (рисунки 1.4, 1.5). Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм (при вдавливании шарика диаметром 10 и 5 мм) в двух взаимно перпендикулярных направлениях; для определения твердости следует принимать среднюю из полученных величин.



1 – окуляр; 2 – сетка; 3 – установочное кольцо; 4 – объектив; 5 – основание тубуса

Рисунок 1.4. – Микроскоп МПБ-2

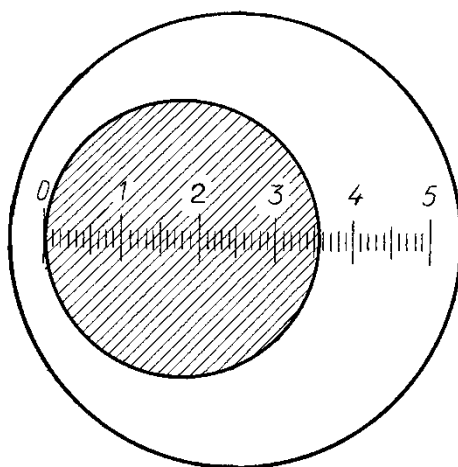


Рисунок 1.5. – Пример отсчета диаметра отпечатка d по шкале микроскопа МПБ-2

Число твердости по Бринеллю НВ характеризуется отношением нагрузки, действующей на шарик, к поверхности отпечатка:

$$НВ = \frac{P}{F} = \frac{0,102 \cdot 2P}{[\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})]}; \quad (1.1)$$

где P – нагрузка на шарик, Н,
 F – поверхность отпечатка, мм²,
 D – диаметр вдавливаемого шарика, мм,
 d – диаметр отпечатка, мм.

Получаемое число твердости при прочих равных условиях определяется диаметром отпечатка d . Последний тем меньше, чем выше твердость испытуемого металла. Однако получение постоянной и одинаковой зависимости между величиной нагрузки и отпечатка, необходимое для точного определения твердости, сравнительно надежно достигается только при соблюдении определенных условий. При вдавливании шарика на разную глубину, т. е. с разной нагрузкой для одного и того же материала, не соблюдается закон подобия между получаемыми диаметрами отпечатка.

Наибольшие отклонения наблюдаются, если шарик вдавливается с малой нагрузкой и оставляет отпечаток небольшого диаметра или вдавливается с очень большой нагрузкой и оставляет отпечаток большого диаметра, приближающегося по величине к диаметру шарика. Поэтому твердость измеряют при постоянном соотношении между величиной нагрузки P и квадратом диаметра D^2 . Это соотношение различно для металлов разной твердости.

Определенное влияние оказывает также длительность выдержки металла под нагрузкой. Легкоплавкие металлы (свинец, цинк, баббиты), имеющие низкую температуру рекристаллизации, испытывают пластическую деформацию не только в момент вдавливания, но и в течение некоторого времени после приложения нагрузки. С увеличением нагрузки пластическая деформация этих металлов практически стабилизируется. Для металлов с высокими температурами плавления влияние продолжительности выдержки под нагрузкой незначительно, что позволяет применять более короткие выдержки (10–30 с). Условия испытаний твердости по Бринеллю нормируются по ГОСТу.

Таблица 1.1. – Условия испытаний металлов на твердость по Бринеллю

Металлы	Твердость, НВ	Толщина образца, мм	Соотношение между Р и D	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, кг	Выдержка под нагрузкой, с
Черные	140–450	6–3	$P=30 \cdot D^2$	10	30	10
		4–2		5	75	10
		>2		2,5	187,5	10
	<140	>2	$P=10 \cdot D^2$	10	30	10
		6		5	25	10
		>3		2,5	62,5	–
Цветные	>130	6–3	$P=30 D^2$	10	30	30
		4–2		5	75	30
		> 2		2,5	187,5	30
	35–130	9–3	$P=10 \cdot D^2$	10	10	30
		6–3		5	25	30
		2–3		2,5	62,5	30
	8–35	>6	$P=2,5 \cdot D^2$	10	25	60
		6–3		5	62,5	60
		>3		2,5	15,6	60

Между пределом прочности σ_B (МПа) и числом твердости НВ различных металлов существует следующая зависимость:

$$\sigma_B = K \cdot \text{НВ}, \quad (1.2)$$

где K – безразмерный коэффициент, зависящий от вида испытываемого материала.

Для сталей с твердостью НВ:

$$120–175 \quad K = 0,34;$$

$$175–450 \quad K = 0,35.$$

Для меди, латуни, бронзы:

$$\text{отожженная} \quad K = 0,55;$$

$$\text{наклепанная} \quad K = 0,44.$$

Для алюминия и алюминиевых сплавов с твердостью НВ:

$$20–45 \quad K = 0,33–0,36.$$

Измерение твердости вдавливанием стального шарика не является универсальным способом. Этот способ не позволяет:

- испытывать материалы с твердостью более 450 НВ;

- измерять твердость тонкого поверхностного слоя (толщиной менее 1–2 мм), так как стальной шарик продавливает этот слой и проникает на большую глубину. Толщина измеряемого слоя (или образца) должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка.

Метод требует вычисления твердости по приведенной выше формуле.

Достоинства:

- 1) простота измерения;
- 2) твердость определяется в реальных единицах.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучите устройство твердомера, подготовьте образцы к испытанию.
2. По таблице 1.1 выберите диаметр шарика, величину нагрузки и время выдержки под нагрузкой.
3. Проведите испытание (не менее 3-х измерений каждого образца). По окончании испытания измерьте диаметры отпечатков в двух взаимоперпендикулярных направлениях микроскопом МПБ-2 (рисунки 1.4, 1.5).
4. Полученные данные занесите в протокол испытаний на твердость по Бринеллю.
5. Для каждого диаметра отпечатка найдите соответствующее значение твердости НВ по таблице 1.3 и занесите в протокол испытаний. Из 3-х значений твердости найдите среднее значение и сравните его с вычисленным по формуле (1.1).
6. Рассчитайте предел прочности σ_B по формуле (1.2).

Протокол испытаний на твердость по Бринеллю

Марка стали	Толщина образца, мм	Диаметр шарика, мм	Время выдержки, с	Нагрузка, кг	Диаметр отпечатка, мм			Твердость, НВ			Среднее значение НВ	Предел прочности σ_B
					1	2	3	1	2	3		

2 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ВДАВЛИВАНИЕМ КОНУСА ИЛИ ШАРИКА МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Принципиальное отличие измерения твердости по способу Роквелла от измерения по способу Бринелля состоит в том, что твердость определяют по глубине отпечатка, получаемого при вдавливании алмазного конуса или стального шарика, а не по площади отпечатка.

По методу Роквелла твердость металлов определяют вдавливанием в испытываемый образец стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм или алмазного конуса с углом у вершины 120° под действием

двух последовательно прилагаемых нагрузок: предварительной $P_0 = 100 \text{ Н}$ и общей P , равной сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок.

Твердость измеряют на приборе (рисунок 1.6), в нижней части неподвижной станины которого установлен столик 9. В верхней части станины укреплены индикаторы 5, масляный регулятор 6 и шток 7, в котором устанавливается наконечник с алмазным конусом, имеющим угол при вершине 120° , или со стальным шариком диаметром 1,59 мм. Индикатор 5 представляет собой циферблат, на котором нанесены две шкалы (черная и красная) и имеются две стрелки – большая (указатель твердости), вращающаяся по шкале, и маленькая для контроля величины предварительного нагружения, сообщаемого вращением маховика 10.

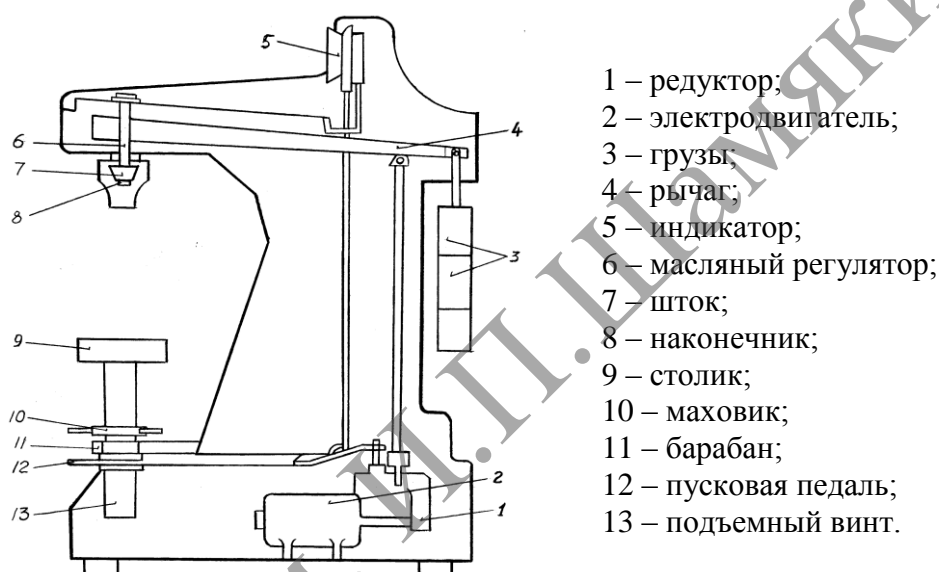
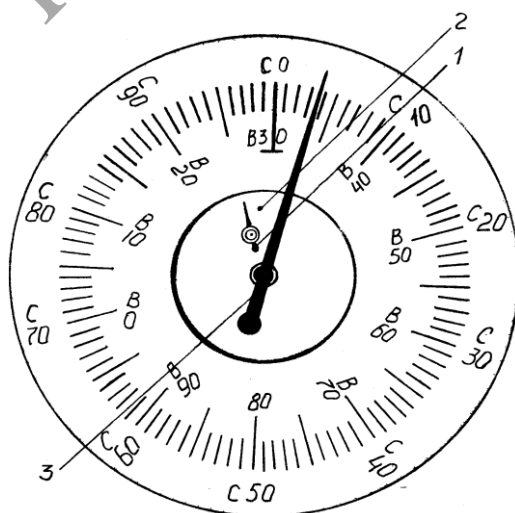


Рисунок 1.6. – Схема твердомера типа ТК-2М



1 – малая стрелка; 2 – красная точка; 3 – большая стрелка

Рисунок 1.7. – Циферблат твердомера ТК-2М

Твердость на приборе Роквелла можно измерять:

- алмазным конусом с общей нагрузкой 150 кг; в этом случае значение твердости характеризуется цифрой, указываемой стрелкой на черной шкале (шкале С) циферблата (рисунок 1.7), и обозначается HRC. Например, 65 HRC означает, что твердость материала составляет 65 единиц по Роквеллу по шкале С при нагрузке 150 кг;
- алмазным конусом с общей нагрузкой 60 кг; в этом случае значение твердости также характеризуется цифрой, указываемой стрелкой на черной шкале циферблата А, и обозначается HRA;
- стальным шариком с общей нагрузкой 100 кг; в этом случае значение твердости характеризуется цифрой, указываемой стрелкой по красной шкале В циферблата, и обозначается HRB.

Измерение алмазным конусом с нагрузкой 150 кг (HRC) проводят:

- для закаленной или низко отпускающей стали с твердостью более 450 НВ, т.е. в условиях, когда вдавливание стального шарика (по Бринеллю или Роквеллу по шкале В) в твердый материал может вызвать деформацию шарика и искажение результатов;
- для материалов средней твердости (более 230 НВ) как более быстрый способ определения, оставляющий, кроме того, меньший след на измеряемой поверхности, чем при испытании по Бринеллю;
- для определения твердости тонких поверхностных слоев с толщиной не менее 0,5 мм (например, цементированного слоя).

Измерения алмазным конусом с нагрузкой 60 кг (HRA) применяют для очень твердых металлов (более 70 HRC), например твердых сплавов, когда вдавливание алмазного конуса с большей нагрузкой может вызвать выкрашивание алмаза, а также для исследования твердых поверхностных слоев (0,3–0,5 мм) или тонких образцов (пластинок). Стальным шариком с нагрузкой 100 кг твердость определяют для мягкой (отожженной) стали или отожженных цветных сплавов в деталях или образцах толщиной 0,8–2 мм, т.е. в условиях, когда измерение по Бринеллю, выполняемое шариком большого диаметра, может вызвать смятие образца.

Таблица 1.2. – Условия испытания металлов на твердость по Роквеллу

Примерная твердость по Бринеллю	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Нагрузка, Н	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые пределы шкалы
600...2400	В	стальной шарик	1000	HRB	25...100
2400...9900	С	алмазный конус	1500	HRC	20...67
3900...9000	А	алмазный конус	600	HRA	70...90

По сравнению с методом Бринелля метод Роквелла более универсален, так как позволяет испытывать металлы любой твердости, включая твердые сплавы. Кроме того, он применим для определения твердости сравнительно тонких образцов (толщиной до 0,4 мм). К достоинствам метода следует отнести и то, что индикаторный прибор позволяет определять числа твердости непосредственно по шкале, без дополнительных расчетов. Однако метод Роквелла имеет ряд недостатков, среди которых в первую очередь следует указать его условность, невозможность повторной проверки полученных результатов, отсутствие единой шкалы твердости.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовьте образцы к испытаниям (испытанная поверхность должна быть тщательно отшлифована).

2. В зависимости от твердости испытываемого образца выберите по таблице 1.2 шкалу твердости, нагрузку и вид наконечника.

3. Установите испытываемый образец на столик. Вращением маховика по часовой стрелке поднимайте столик с образцом до тех пор, пока маленькая стрелка индикатора не установится напротив красной точки (рисунок 1.6). Это означает, что на образец действует предварительная нагрузка. Большая стрелка при этом должна быть установлена на нулевое деление выбранной шкалы. Допускается погрешность ± 5 делений. Если положение большой стрелки не совпадает с нулевым делением, то, поворачивая барабан 11, поверните циферблат индикаторного прибора до совмещения стрелки с нулевым делением выбранной шкалы.

4. Плавным нажатием руки на пусковую педаль 12 включите в работу привод механизма нагружения, сообщив наконечнику основную нагрузку. При этом большая стрелка сначала перемещается по циферблату против часовой стрелки, а затем по часовой стрелке. Цифра, которую после этого укажет на шкале большая стрелка, представляет собой твердость по Роквеллу.

5. Проведите испытания каждого образца не менее 3-х раз. Результаты испытаний занесите в протокол, рассчитайте среднее значение твердости. Число твердости по Роквеллу переведите в число твердости по Бринеллю по таблице 1.4 и запишите в протокол испытаний.

Протокол испытаний на твердость по Роквеллу

Марка стали	Толщина образца, мм	Шкала	Нагрузка, кг	Тип наконечника	Твердость, НВ				Твердость, НВ	Прочность стали, σ_b
					1	2	3	ср.		

Таблица 1.3. – Таблица для определения чисел твердости НВ
(по ГОСТ 9012–59)

Диаметр отпечатка d_{10} или $2 \cdot d_5$ или $4 \cdot d_{2,5}$	Число твердости по Бринеллю при нагрузке P кг, равной			Диаметр отпечатка d_{10} или $2 \cdot d_5$ или $4 \cdot d_{2,5}$	Число твердости по Бринеллю при нагрузке P кг, равной		
	$30 \cdot D^2$	$10 \cdot D^2$	$2,5 \cdot D^2$		$30 \cdot D^2$	$10 \cdot D^2$	$2,5 \cdot D^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
2,89	448	–	–	3,80	255	84,9	21,2
2,90	444	–	–	3,82	252	84,0	21,0
2,92	438	–	–	3,84	249	83,0	20,8
2,94	432	–	–	3,86	246	82,1	20,5
2,96	426	–	–	3,88	244	81,3	20,3
2,98	420	–	35,0	3,90	241	80,4	20,1
3,00	415	–	34,6	3,92	239	79,6	19,9
3,02	409	–	34,1	3,94	236	78,7	19,7
3,04	404	–	33,7	3,96	234	77,9	19,5
3,06	398	–	33,2	3,98	231	77,1	19,3
3,08	393	–	32,7	4,00	229	76,3	19,1
3,10	388	129	32,3	4,02	226	75,5	18,9
3,12	383	128	31,9	4,04	224	74,7	18,7
3,14	378	126	31,5	4,06	222	73,9	18,5
3,16	373	124	31,1	4,08	219	73,2	18,3
3,18	368	123	30,7	4,10	217	72,4	18,1
3,20	363	121	30,3	4,12	215	71,7	17,9
3,22	359	120	29,9	4,14	213	71,0	17,7
3,24	354	118	29,5	4,16	211	70,2	17,6
3,26	350	117	29,2	4,18	209	69,5	17,4
3,28	345	115	28,8	4,20	207	68,8	17,2
3,30	341	114	28,4	4,22	204	68,2	17,0
3,32	337	112	28,1	4,24	202	67,5	16,9
3,34	333	111	27,7	4,26	200	66,8	16,7
3,36	329	110	27,4	4,28	198	66,2	16,5
3,38	325	108	27,1	4,30	197	65,5	16,4
3,40	321	107	26,7	4,32	195	64,9	16,2
3,42	317	106	26,4	4,34	193	64,2	16,1
3,44	313	104	26,1	4,36	191	63,6	15,9
3,46	309	103	25,8	4,38	189	63,0	15,8
3,48	306	102	25,5	4,40	187	62,4	15,6
3,50	302	101	25,2	4,42	185	61,8	15,5
3,52	298	99,5	24,9	4,44	184	61,2	15,3
3,54	295	98,3	24,6	4,46	182	60,6	15,2
3,56	292	97,2	24,3	4,48	180	60,1	15,0
3,58	288	96,1	24,0	4,50	179	59,5	14,9
3,60	285	95,0	23,7	4,52	177	59,0	14,7
3,62	282	93,9	23,5	4,54	175	58,4	14,6

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
3,64	278	92,8	23,2	4,56	174	57,9	14,5
3,66	275	91,8	22,9	4,58	172	57,3	14,3
3,68	272	90,7	22,7	4,60	170	56,8	14,2
3,70	269	89,7	22,4	4,62	169	56,3	14,1
3,72	266	88,7	22,2	5,30	126	41,9	10,5
3,74	263	87,7	21,9	5,32	125	41,5	10,4
3,76	260	86,8	21,7	5,34	124	41,2	10,3
3,78	257	85,8	21,5	5,36	123	40,9	10,2
4,64	167	55,8	13,9	5,38	122	40,5	10,1
4,66	166	55,3	13,8	5,40	121	40,2	10,1
4,68	164	54,8	13,7	5,42	120	39,9	9,97
4,70	163	54,3	13,6	5,44	119	39,6	9,90
4,72	161	53,8	13,4	5,46	118	39,2	9,82
4,74	160	53,3	13,3	5,48	117	38,9	9,73
4,76	158	52,8	13,2	5,50	116	38,6	9,66
4,78	157	52,3	13,1	6,52	115	38,3	9,58
4,80	156	51,9	13,0	5,54	114	38,0	9,50
4,82	154	51,4	12,9	5,56	113	37,7	9,43
4,84	153	51,0	12,8	5,58	112	37,4	9,35
4,86	152	50,5	12,6	5,60	111	37,1	9,27
4,88	150	50,1	12,5	5,62	110	36,8	9,20
4,90	149	49,6	12,4	5,64	110	36,5	9,14
4,92	148	49,2	12,3	5,66	109	36,3	9,07
4,94	146	48,8	12,2	5,68	108	36,0	9,00
4,96	145	48,4	12,1	5,70	107	35,7	8,93
4,98	144	47,9	12,0	5,72	106	35,4	8,86
5,00	143	47,5	11,9	5,74	105	35,1	8,79
5,02	141	47,1	11,8	5,76	105	34,9	8,73
5,04	140	46,7	11,7	5,78	104	34,6	8,66
5,06	139	46,3	11,6	5,80	103	34,3	8,59
5,08	138	45,9	11,5	5,82	102	34,1	8,53
5,10	137	45,5	11,4	5,84	101	33,8	8,46
5,12	135	45,1	11,3	5,86	101	33,6	8,40
5,14	134	44,8	11,2	5,88	99,9	33,3	8,33
5,16	133	44,4	11,1	5,90	99,2	33,1	8,26
5,18	132	44,0	11,0	5,92	98,4	32,8	8,20
5,20	131	43,7	10,9	5,94	97,7	32,6	8,14
5,22	130	43,3	10,8	5,56	96,9	32,3	8,08
5,24	129	42,9	10,7	5,98	96,2	32,1	8,02
5,26	128	42,6	10,6	6,00	95,5	31,8	7,96
5,28	127	42,2	10,6				

Таблица 1.4. – Соотношение чисел твердости, определенных различными методами

Диаметр отпечатка, мм	При испытании вдавливанием				
	стального шарика 10/3000 (на приборе НВ типа Бринелля)	алмазного конуса или стального шарика (на приборе типа Роквелла) при различных нагрузках			алмазной пирамиды (на приборе типа Виккерса) НV
		150 кг (конус) HRC	60 кг (конус) HRA	100 кг (шарик) HRB	
1	2	3	4	5	6
2,20	780	72	84	–	1124
2,25	745	70	83	–	1116
2,30	712	68	82	–	1022
2,35	682	66	81	–	941
2,40	653	64	80	–	868
2,45	627	62	79	–	804
2,50	601	60	78	–	746
2,55	578	58	78	–	694
2,60	555	56	77	–	650
2,65	534	54	76	–	606
2,70	514	52	75	–	587
2,75	495	50	74	–	551
2,80	477	48	74	–	534
2,85	461	46	73	–	502
2,90	444	46	73	–	474
2,95	429	45	72	–	460
3,00	415	43	72	–	435
3,05	401	42	71	–	423
3,10	388	41	71	–	401
3,15	375	40	70	–	390
3,20	363	39	70	–	380
3,25	352	38	69	–	361
3,30	341	36	68	–	344
3,35	331	35	67	–	334
3,40	321	33	67	–	320
3,45	311	32	66	–	311
3,50	302	31	66	–	303
3,55	293	30	65	–	292
3,60	285	29	65	–	285
3,65	277	28	64	–	278
3,70	269	27	64	–	270
3,75	269	26	63	–	261
3,80	255	25	63	–	255
3,85	248	24	62	–	249
3,90	241	23	62	102	240
3,95	235	21	61	101	235
4,00	229	20	61	100	228
4,05	223	19	60	99	222
4,10	217	17	60	98	217

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6
4,15	212	15	59	97	213
4,20	207	14	59	95	203
4,25	201	13	58	94	201
4,30	197	12	58	93	197
4,35	192	11	57	92	192
4,40	187	9	57	92	186
4,45	183	8	56	90	183
4,50	179	7	56	90	178
4,55	174	6	55	89	174
4,60	170	4	55	88	171
4,65	167	3	54	87	166
4,70	163	2	53	86	162
4,75	159	1	53	85	159
4,80	156	0	52	84	155
4,85	152	–	–	83	152
4,90	149	–	–	82	149
4,95	146	–	–	81	148
5,00	143	–	–	80	143
5,05	140	–	–	79	140
5,10	140	–	–	78	138
5,15	134	–	–	77	134
5,20	131	–	–	76	131
5,25	128	–	–	75	129
5,30	126	–	–	74	127
5,35	123	–	–	73	123
5,40	121	–	–	72	121
5,45	118	–	–	71	118
5,50	116	–	–	70	116
5,55	114	–	–	68	115
5,60	111	–	–	67	113
5,65	109	–	–	66	110
5,70	107	–	–	65	109
5,75	105	–	–	64	108

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель эксперимента.
3. Приборы и принадлежности.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Схемы приборов.
6. Протоколы испытаний.
7. Расчетные данные.
8. Вывод по результатам эксперимента.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое конструктивная прочность и какие параметры используются для ее оценки?
2. Что такое твердость?
3. Какую нагрузку следует принять при испытании твердости стали, медного и алюминиевого сплава по методу Бринелля?
4. Какие существуют способы измерения твердости металлов и сплавов и их сущность?
5. Какова размерность твердости, определяемой способом Бринелля?
6. Как связано число твердости НВ с временным сопротивлением σ_B ?
7. Каким способом надо измерять твердость листовой мягкой стали толщиной 1 мм?
8. Определите, на каком приборе и по какой шкале следует измерять твердость сплавов системы Cu-Zn.
9. Охарактеризуйте достоинства и недостатки методов измерения твердости по Бринеллю и по Роквеллу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Metallurgy, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 НАБЛЮДЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ БИОЛОГИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА ЗА ПРОЦЕССОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРЕНАСЫЩЕННОГО РАСТВОРА СОЛИ

Цель работы: изучение устройства микроскопа «Биолам» и наблюдение с его помощью за процессом кристаллизации перенасыщенного раствора соли; изучение характера кристаллов, образующихся из раствора соли в различные периоды кристаллизации.

Приборы и принадлежности: микроскоп «Биолам», спиртовки, предметные стекла, пипетки, химические стаканчики, перенасыщенные растворы солей.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Металлы – кристаллические тела, атомы которых расположены в геометрически правильном порядке, образуя кристаллы в отличие от аморфных тел (например, смолы), атомы которых расположены неупорядоченно.

Располагаясь в металлах в строгом порядке, атомы в плоскости образуют атомную сетку, а в пространстве – атомно-кристаллическую решетку.

Типы кристаллических решеток у различных металлов различны. Наиболее часто встречаются решетки: кубическая объемно-центрированная, кубическая гранецентрированная и гексагональная плотноупакованная.

В различных плоскостях кристаллической решетки атомы расположены с различной плотностью, поэтому многие свойства кристаллов в различных направлениях различны. Такое явление называется анизотропией. Все кристаллы анизотропны. В отличие от кристаллов аморфные тела (например, смола) в различных направлениях имеют в основном одинаковую плотность атомов и, следовательно, одинаковые свойства, т. е. они изотропны.

Переход металла из жидкого или парообразного состояния в твердое с образованием кристаллической структуры называется первичной кристаллизацией.

Образование новых кристаллов в твердом кристаллическом веществе называется вторичной кристаллизацией.

Процесс кристаллизации, как установил в 1878 году великий русский ученый Д. К. Чернов, состоит из двух одновременно идущих процессов: зарождение мельчайших частиц кристаллов (зародышей или центров кристаллизации) и роста кристаллов из этих центров (рисунок 2.1). Зародыши, возникающие в процессе кристаллизации, могут быть различной величины. Минимальный размер зародыша, способного к росту

при данных температурных условиях, называется критическим размером зародыша, а сам зародыш критическим или равновесным.

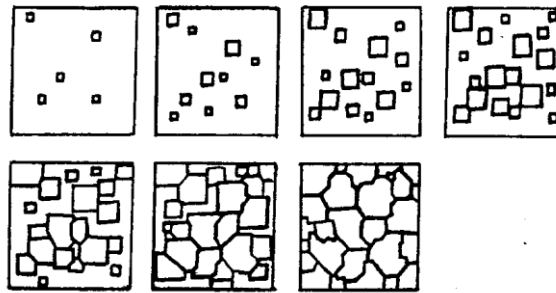
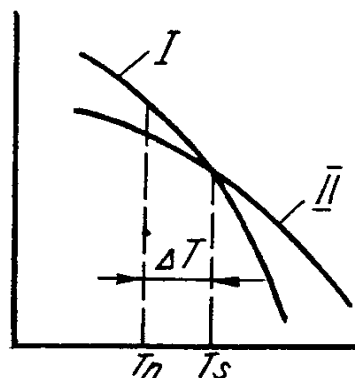


Рисунок 2.1. – Схема кристаллизации металла

Кристаллы могут зарождаться самопроизвольно (гомогенная кристаллизация) или расти на имеющихся готовых центрах кристаллизации (гетерогенная кристаллизация).

Кристаллизация протекает вследствие перехода к более устойчивому состоянию с меньшей свободной энергией. Свободная энергия жидкого и твердого состояний уменьшается с повышением температуры (рисунок 2.2). При температуре T_S свободная энергия металла в твердом и жидком состоянии одинакова: при этой температуре металл в твердом состоянии может находиться в равновесии с жидким металлом. Температура T_S называется равновесной или теоретической температурой кристаллизации.

Процесс кристаллизации развивается, когда возникает разность свободных энергий, т.е. когда свободная энергия твердого металла меньше, чем жидкого.



I – жидкое состояние,
II – твердое состояние

Рисунок 2.2. – Схема изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний металла в зависимости от температуры

Как видно из рисунка 2.2, это возможно только тогда, когда жидкость охлаждена ниже точки T_S , например, до температуры T_n , называемой фактической температурой кристаллизации. Разность температур $\Delta T = T_S - T_n$ называется степенью переохлаждения.

Как было сказано выше, процесс кристаллизации состоит из двух процессов: зарождения центров (зародышей) и роста кристаллов.

Рост кристаллов заключается в том, что к их зародышам присоединяются все новые атомы жидкого металла. Сначала кристаллы растут свободно, сохраняя правильную геометрическую форму, но это происходит только до момента встречи растущих кристаллов. В месте соприкосновения кристаллов рост отдельных их граней прекращается, и развиваются не все, а только некоторые грани кристаллов. В результате кристаллы не имеют правильной геометрической формы. Такие кристаллы называют кристаллитами или зернами. Величина зерна зависит от числа центров кристаллизации (ч.ц.) и скорости роста кристаллов (с.к.). Чем больше центров кристаллизации, тем больше кристаллов образуется в данном объеме, и кристаллы (зерна) получаются мельче. На образование центров кристаллизации влияет степень переохлаждения. Чем больше степень переохлаждения ΔT металла, тем больше возникает в нем центров кристаллизации (рисунок 2.3).

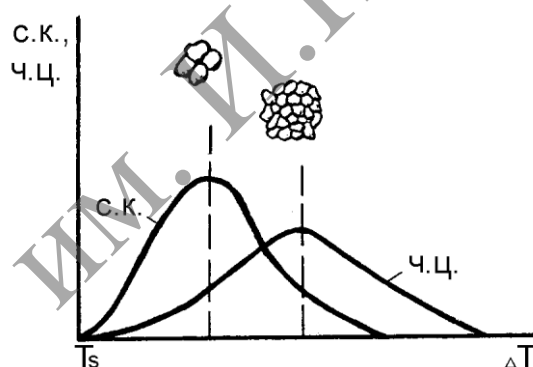


Рисунок 2.3. – Зависимость скорости роста кристаллов (с.к.) и скорости зарождения центров кристаллизации (ч.ц.) от степени переохлаждения ΔT

Размер зерна металла в большой степени влияет на его механические свойства. Эти свойства (особенно вязкость и пластичность) выше, если металл имеет мелкозернистое строение.

Самопроизвольное образование зародышей может происходить только в жидком высокочистом металле при больших степенях переохлаждения. Чаще источником образования зародышей являются всевозможные твердые частицы (неметаллические включения, оксиды и т. д.), которые всегда присутствуют в расплаве. Если частицы примеси имеют одинаковую кристаллическую решетку с решеткой затвердевающего металла и параметры сопрягающихся решеток примеси и кристаллизующегося

вещества примерно одинаковы, то они играют роль готовых центров кристаллизации.

Чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем мельче получается зерно. Такое образование зародышей называется гетерогенным.

Модифицирование – использование специально вводимых в жидкий металл примесей (модификаторов) для получения мелкого зерна. Эти примеси, практически не изменяя химического состава сплава, вызывают при кристаллизации измельчение зерна и в итоге улучшение механических свойств.

Кристаллы, образующиеся в процессе затвердевания металла, могут иметь различную форму в зависимости от скорости охлаждения, характера и количества примесей. Чаще в процессе кристаллизации образуются разветвленные (древовидные) кристаллы, получившие название дендритов (рисунок 2.4).

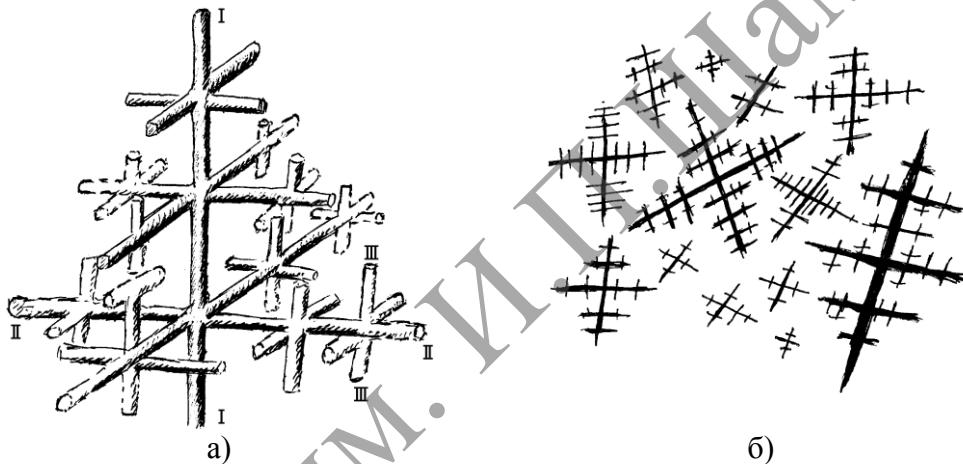


Рисунок 2.4. – Схема дендритного кристалла (а) и роста дендритов (б)

Дендритная кристаллизация характеризуется тем, что рост зародышей происходит с неравномерной скоростью. После образования зародышей их развитие идет главным образом в тех направлениях решетки, которые имеют наибольшую плотность упаковки атомов. В этих направлениях образуются длинные ветви будущего кристалла – так называемые оси первого порядка (I на рисунок 2.4 а). В дальнейшем от осей первого порядка под определенными углами начинают расти новые оси, которые называют осями второго порядка (II), от осей второго порядка растут оси третьего порядка (III) и т. д. В конечном счете, образуются кристаллы в форме дендритов (рисунок 2.4 б).

Процесс кристаллизации можно рассмотреть на примере пересыщенных растворов солей, например, хлорида аммония, бихромата калия и др. В процессе кристаллизации горячего раствора соли, как и при затвердевании металлического слитка, наблюдаются три

структурные зоны (рисунок 2.5). Зона 1 состоит из мелких зародышей правильной формы, образующихся у краев капли. Зона 2 характеризуется образованием крупных столбчатых кристаллов. Зона 3 имеет беспорядочно ориентированную и ясно выраженную форму дендритов.

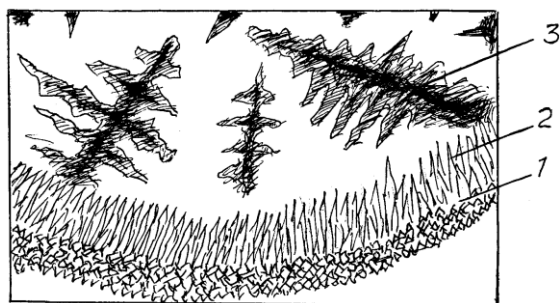


Рисунок 2.5. – Строение затвердевшей капли раствора соли

Для исследования прозрачных препаратов в проходящем свете применяются биологические микроскопы серии «Биолам» (рисунок 2.6).

- 1 – основание;
- 2 – стойка;
- 3 – держатель;
- 4 – окуляр;
- 5 – объектив;
- 6 – предметный столик;
- 7 – зеркало;
- 8 – винт грубой фокусировки;
- 9 – винт точной фокусировки;
- 10 – винт фокусировки подсветки;
- 11 – линзы фокусировки подсветки.

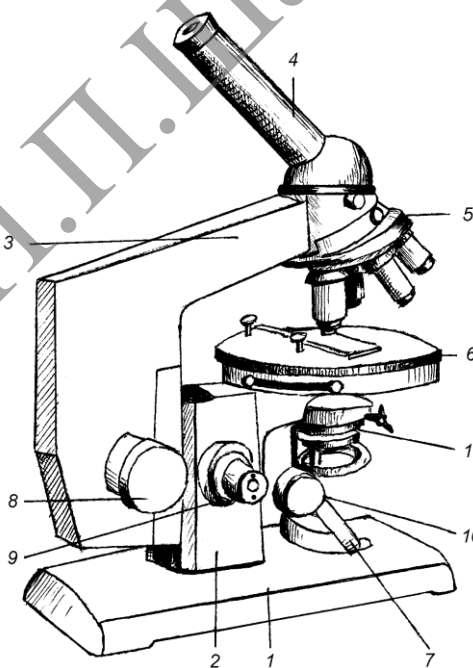


Рисунок 2.6. – Общий вид микроскопа «Биолам»

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зеркало 7 микроскопа направьте в сторону естественного или искусственного света. Вращением зеркала 7, глядя в окуляр 4, добейтесь нормального прохождения световых лучей.

2. На плоское стекло при помощи пипетки нанесите каплю горячего пересыщенного раствора соли и поместите его на предметный столик 6.

3. Поднимая (но не опуская) тубус и держатель 3, вращением винта 8 произведите грубую настройку на фокус.

4. Произведите точную настройку на фокус вращением микрометрического винта 9.

5. Наблюдайте в окуляр 4 за процессом кристаллизации раствора соли и зарисуйте образующиеся с течением времени кристаллы соли.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель эксперимента.
3. Приборы и принадлежности.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Схемы приборов.
6. Рисунки кристаллов.
7. Вывод по результатам эксперимента.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение кристаллизации и перечислите ее виды.
2. Какие процессы происходят при кристаллизации?
3. Какие существуют типы кристаллических решеток?
4. Что называется зародышем?
5. Что называется критическим размером зародыша?
6. Дайте определение анизотропии.
7. Какими способами на практике можно влиять на величину зерна кристаллизующегося металла?
8. Какие зоны имеются в структуре типичного металлического слитка?
9. В чем отличие гомогенной и гетерогенной кристаллизации?
10. Какое условие необходимо для протекания процесса кристаллизации?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В. С. Чередниченко. – М.: Омега – Л., 2006. – С. 714–718.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

Цель работы: изучение диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов, анализ превращений, происходящих в сплавах при охлаждении и нагреве, определение фазового и структурного состояния сплавов в зависимости от их состава и температуры.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Важнейшими материалами в современном машиностроении являются железоуглеродистые сплавы: техническое железо, стали и чугуны. Основа для изучения процессов формирования их структуры – диаграмма состояния системы.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение всех превращений, протекающих в сплавах в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Превращения в сплавах при нагреве и охлаждении зависят от того, какие фазы при этом образуются.

Фазой называется однородная часть системы, ограниченная поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяется скачкообразно.

Системой называется совокупность фаз, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (температура, давление). Так, например, однородная жидкость или расплав любого металла представляет собой однородную систему, а жидкий сплав и находящиеся в нем кристаллы – двухфазную систему.

Компонентами называют вещества, образующие систему, взятые в наименьшем количестве.

Структура сплава определяет его свойства. Важно знать, какие фазы и структуры формируются в сплавах в зависимости от их состава и температуры. Необходимо уметь управлять процессом структурообразования для обеспечения эксплуатационных свойств сплавов.

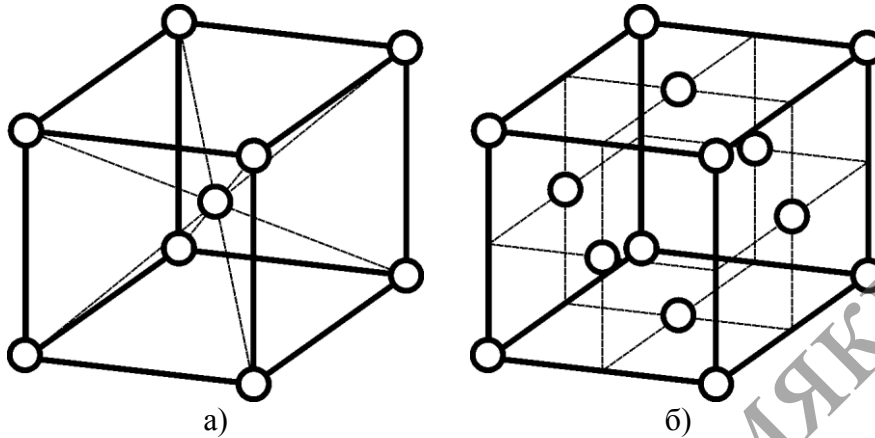
Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод, который может находиться в сплавах в химически связанном состоянии в виде цементита – Fe_3C (Ц) или в свободном состоянии в виде графита (Г).

В зависимости от этого структурообразование железоуглеродистых сплавов при их охлаждении из жидкого состояния рассматривается по диаграмме метастабильного равновесия Fe- Fe_3C или по диаграмме стабильного равновесия Fe-Г.

Температура 1539 °С соответствует точке плавления железа.

В зависимости от температуры железо имеет различное кристаллическое строение. Выше 1392 °С и ниже 911 °С железо

существует в форме α -Fe, кристаллическая решетка которого – объемно центрированная кубическая (ОЦК). Между $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо существует в форме γ -Fe с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой (рисунок 3.1).



а) объемно–центрированная кубическая (ОЦК),
б) гранецентрированная кубическая (ГЦК)

Рисунок 3.1. – Типы кристаллических решеток

Железо α в зависимости от температуры может находиться в различных магнитных состояниях. При температуре выше $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ α -Fe и γ -Fe – парамагнетик, ниже $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ – ферромагнетик. Температура $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка Кюри) является температурой перехода α -Fe из парамагнитного состояния в ферромагнитное при охлаждении железа и наоборот – при нагреве.

Температуры равновесного состояния двух или нескольких фаз называют критическими. Их обозначают буквой А с соответствующим индексом (порядковый номер температуры возрастает с ее увеличением). Для железа: $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ – A_2 ; $910\text{ }^{\circ}\text{C}$ – A_3 (γ -Fe \leftrightarrow α -Fe); $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ – A_4 (α -Fe \leftrightarrow γ -Fe).

Цементит содержит 6,67 % углерода, кристаллическая структура его описывается ромбической элементарной решеткой, образованной атомами углерода. Цементит тверд и хрупок, прочность его на растяжение очень мала. Температура плавления $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цементит – фаза метастабильная (временно устойчивая), слабо ферромагнитная. Время устойчивости цементита изменяется с повышением температуры: при низких температурах он существует бесконечно долго, при температурах, превышающих $950\text{ }^{\circ}\text{C}$, за несколько часов распадается на железо и графит. На этом явлении основан отжиг белого чугуна на ковкий.

Графит – одна из двух (алмаз, графит) кристаллических модификаций углерода. Структура графита слоистая. В слоях атомы

углерода расположены по вершинам правильных шестиугольников. Графит имеет очень низкую прочность, плохо проводит теплоту и электричество в направлениях, перпендикулярных к слоям. Под действием сравнительно небольших внешних усилий он легко расслаивается. Температура плавления графита 3850 °С.

Своеобразное строение графита придает ему ряд ценных свойств: жаропрочность, высокие тепло- и электропроводность, малый коэффициент трения, склонность к расслаиванию и др. Этими свойствами объясняется применение графита при изготовлении сопел реактивных двигателей и деталей ракет, электротехнических и антифрикционных изделий, смазочных веществ, красок.

При повышенных скоростях охлаждения сплавов в результате ускоренного процесса кристаллизации обычно образуется цементит. Образование графита наблюдается только в высокоуглеродистых сплавах в случае их медленного охлаждения или при определенных изотермических выдержках. В сплавах с пониженным содержанием углерода образование графита маловероятно.

В системе Fe-Fe₃C – возможны жидкая, (Ж) фаза, представляющая собой жидкий раствор железа и углерода и три твердые – феррит, аустенит и цементит (карбид железа).

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α-Fe с ОЦК решеткой.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ-Fe с ГЦК решеткой.

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом Fe₃C.

Кроме того, к структурным составляющим относятся механические смеси – перлит и ледебурит.

Перлит (П) – механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,83 % углерода. Образуется при перекристаллизации (распаде) аустенита при $t = 723$ °С. Этот распад называется эвтектоидным, а перлит – эвтектоидом. Перлит обладает высокой прочностью, твердостью и повышает механические свойства сплава. Структура перлита – чередующиеся пластинки феррита и перлита.

Ледебурит (Л) – механическая смесь аустенита и цементита – образуется при кристаллизации сплава с 4,3 % углерода при $t = 1147$ °С. При температурах ниже 727 °С аустенит в ледебурите превращается в перлит, и после охлаждения ледебурит представляет собой смесь перлита с цементитом. Ледебурит – эвтектика. Он тверд. Имеет сотовое или пластинчатое строение и содержится во всех белых чугунах.

На диаграмме (рисунок 3.2) область первичной кристаллизации находится между линиями ликвидус ABCD и солидус АНЕСF.

Линия ABC определяет температуру кристаллизации аустенита из жидкости; линия CD – температуру начала кристаллизации первичного цементита из жидкости; линия EC соответствует кристаллизации эвтектики – ледебурита; PSK – эвтектоидному превращению аустенита в феррит и цементит. Точка А на диаграмме системы железо-цементит соответствует температуре плавления чистого железа (1539 °С), D – температуре плавления цементита (1250 °С), N и G – температурам аллотропических превращений железа. Точки H и P определяют предельное содержание углерода в высокотемпературном и низкотемпературном ферритах. E – предельное содержание углерода в аустените. Остальные точки характеризуют эвтектические (C, F), эвтектоидные (S, K) превращения.

Сплавы, содержащие менее 0,02 % углерода, называются техническим железом, от 0,02 до 2,14 % – сталями, более 2,14 % – чугунами. Стали, содержащие 0,02–0,8 % углерода, называются доэвтектоидными, 0,8 % – эвтектоидными, 0,8–2,14 % углерода – заэвтектоидными. Чугуны, содержащие 2,14–4,3 % углерода, – доэвтектические, более 4,3 % – заэвтектические, 4,3 %, – эвтектические.

Эвтектическим превращением называют процесс одновременной кристаллизации из расплава нескольких твердых фаз при постоянной температуре.

Эвтектоидным превращением называется процесс одновременной кристаллизации из твердой фазы нескольких твердых фаз при постоянной температуре.

О фазовых превращениях, происходящих в сплавах, можно судить по кривым их охлаждения (t_f) или нагревания (t_c).

В качестве примера рассмотрим процесс структурообразования в охлаждаемой стали с 0,4 % C (рисунок 3.2). Выше точки t_1 сталь находится в жидком состоянии и непрерывно охлаждается. В интервале t_1 – t_2 из жидкой фазы, состав которой изменяется по ликвидусу АВ, выделяются кристаллы феррита. На основании правила фаз

$$C = K + 1 - \Phi, \quad (3.1)$$

где C – число степеней свободы системы (или вариантность);

K – число компонентов, образующих систему, т. е. минимальное число химических элементов, необходимых для образования любой системы (в нашем случае K = 2: железо и углерод);

Φ – число фаз, находящихся в равновесии (может быть определено в любой точке диаграммы).

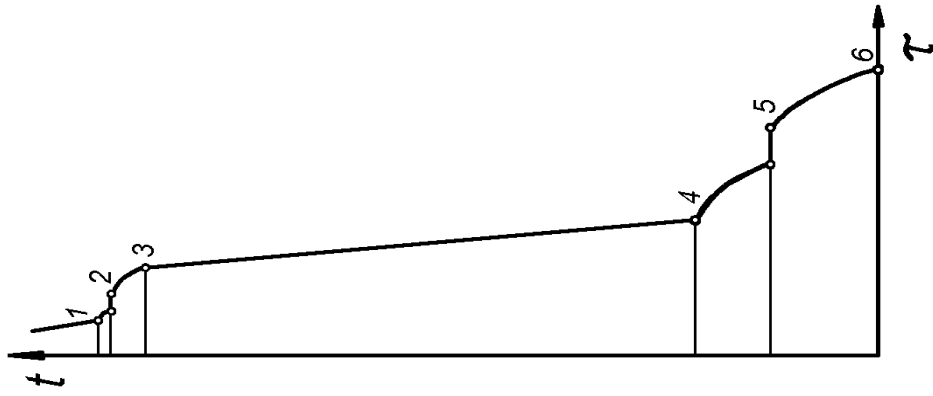
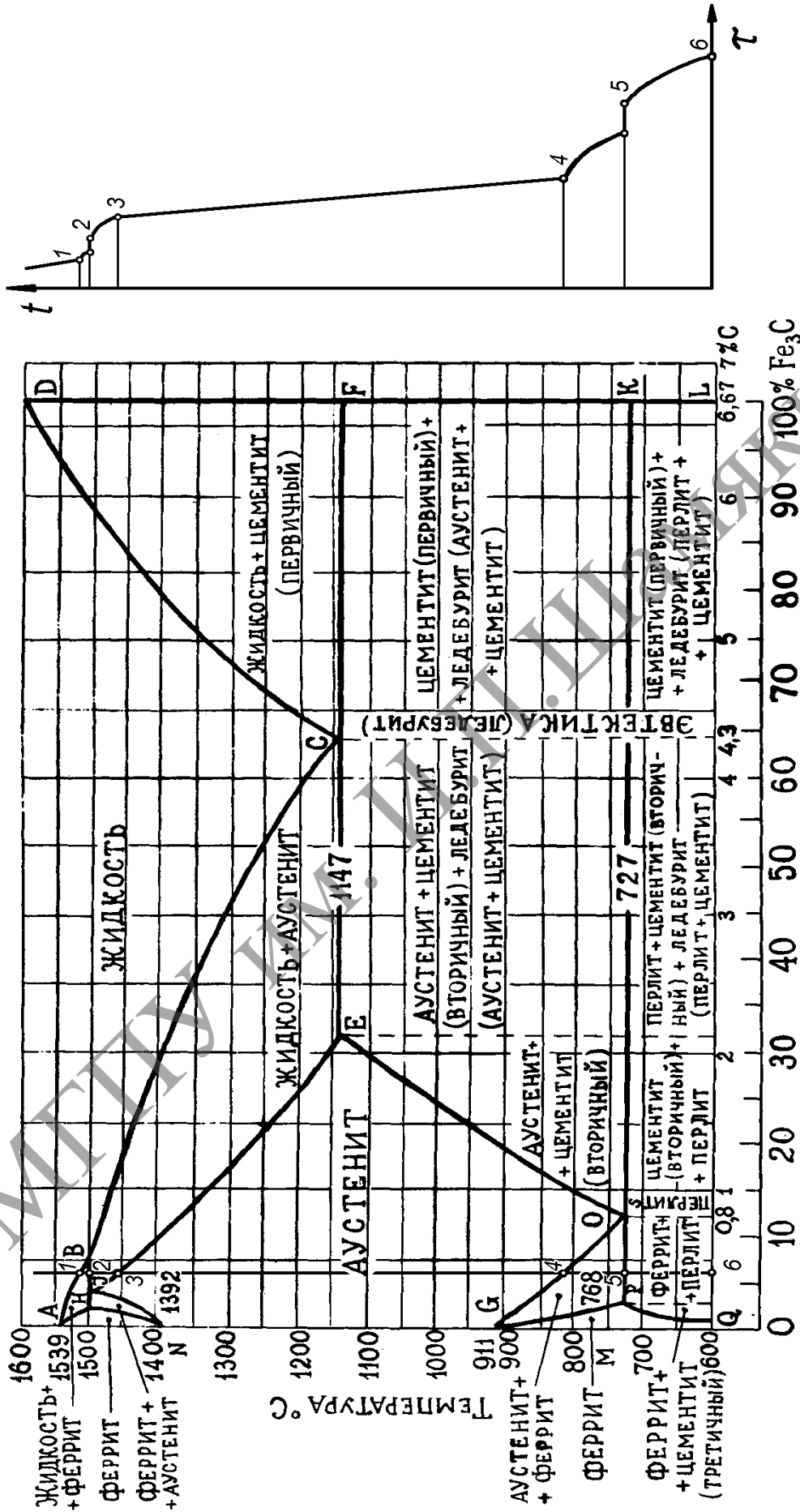


Рисунок 3.2. – Диаграмма состояния сплава железо-углерод

Определяем число степеней свободы в интервале t_1-t_2 .

$C = 2 + 1 - 2 = 1$ (система моновариантна, т. е. одновариантна).

$t \neq \text{const}$, т. е. при кристаллизации выделяется теплота, на участке t_1-t_2 охлаждение замедляется.

При температуре t_2 происходит трехфазное превращение.

$C = 2 + 1 + 3 = 0$ (система нонвариантна, т. е. безвариантна). Такое равновесие может существовать только при постоянной температуре, это означает, что превращение начинается и заканчивается при одной постоянной температуре.

Избыточная жидкость кристаллизуется при непрерывном охлаждении в интервале t_2-t_3 с образованием аустенита.

$C = 2 + 1 - 2 = 1$, $t \neq \text{const}$.

В интервале t_3-t_4 закристаллизовавшийся сплав, имеющий структуру аустенита, непрерывно охлаждается.

$C = 2 + 1 - 1 = 2$, $t \neq \text{const}$ (система бивариантна).

При температурах t_4-t_5 происходит полиморфное превращение, ГЦК перестраивается в ОЦК решетку, т. е. аустенит, состав которого изменяется по линии GS превращается в феррит. По мере превращения массовая доля аустенита уменьшается, образующаяся решетка феррита (ОЦК) при данных температурах энергетически более выгодна, чем аустенита (ГЦК), и при перестройке выделяется теплота, поэтому сплав на участке t_3-t_4 охлаждается замедленно.

$C = 2 + 1 - 2 = 1$, $t \neq \text{const}$ – система моновариантна.

При t_5 происходит трехфазное эвтектоидное превращение.

$C = 2 + 1 - 3 = 0$, $t = \text{const}$ – система нонвариантна. На кривой охлаждения при t_5 образуется площадка. При этом из аустенита, не превращенного в феррит, образуется перлит ($\Phi + \Pi$).

В процессе дальнейшего охлаждения сплава из феррита выделяется ЦШ , наслаивающийся на цементите перлитном. Структура охлаждающей стали при температурах $t_5 - \Phi + \Pi$.

Диаграмма состояния сплава позволяет количественно оценить состав любой фазы при любой температуре. Для этого используют правило концентрации.

Для определения состава фаз, находящихся в равновесии при любой температуре, лежащей между линиями ликвидус и солидус, нужно через данный температурный уровень t_2 провести линию, параллельную оси концентрации до пересечения с линиями ликвидус и солидус (рисунок 3.3).

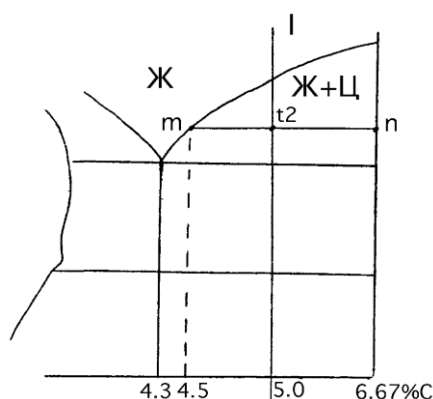


Рисунок 3.3. – Схема для определения состава фаз

Линия mn , определяющая состав находящихся в равновесии фаз, называется конода.

Соотношение фаз при кристаллизации в системе устанавливается с помощью правила отрезков: массовые соотношения твердой и жидкой фаз в сплаве пропорциональны отношению отрезков, примыкающих к линиям ликвидус и солидус.

Рассмотрим методику определения соотношения фаз в сплаве I при заданной температуре t_2 на примере (рисунок 3.3). Количественное соотношение фаз в сплаве I по правилу отрезков определим по соотношению отрезков mt_2 и t_2n . Так, содержание твердой фазы (в нашем примере – цементита) в сплаве:

$$\text{Ц} = \frac{m \cdot t_2}{m \cdot n} \cdot 100 \% \quad (3.2)$$

Содержание жидкой фазы в сплаве:

$$\text{Ж} = \frac{t_2 \cdot n}{m \cdot n} \cdot 100 \% \quad (3.3)$$

Для приведенного примера

$$m \cdot n = 6,67 \% - 4,5 \% = 2,17 \%;$$

$$m \cdot t_2 = 5,0 \% - 4,5 \% = 0,5 \%;$$

$$t_2 \cdot n = 6,67 \% - 5 \% = 1,67 \%.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= \frac{m \cdot t_2}{m \cdot n} \cdot 100 \% = \frac{0,5 \%}{2,17 \%} \cdot 100 \% = 23 \%; \\ \text{Ж} &= \frac{t_2 \cdot n}{m \cdot n} \cdot 100 \% = \frac{1,67 \%}{2,17 \%} \cdot 100 \% = 77 \%. \end{aligned}$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Вычертите диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов, обозначив буквами ее линии, указав значения температур и содержание углерода.
2. Опишите фазы и структурные составляющие сплавов, указать их в областях диаграммы.
3. Постройте и проанализируйте с применением правила фаз кривую охлаждения (нагрева) сплава, заданного преподавателем, а также кривую охлаждения сплава с содержанием углерода 0,4 %.
4. Определите составы фаз и структурных составляющих, их массовые доли в исследуемом сплаве при температурах, заданных преподавателем.
5. Напишите отчет о работе в соответствии с указанными выше пунктами заданий.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель эксперимента.
3. Приборы и принадлежности.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.
6. Кривые охлаждения сплавов в соответствии с полученным заданием. Составы фаз сплавов.
7. Вывод по результатам эксперимента.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова необходимость построения диаграмм состояния сплавов?
2. В чем различие механизмов эвтектического и эвтектоидного превращений?
3. Какие фазы образуются в системе Fe-Fe₃C?
4. Как структурный и фазовый состав стали и чугуна зависит от содержания углерода и температуры?
5. Постройте кривые охлаждения для доэвтектоидной и заэвтектоидной стали, а также для доэвтектоидного чугуна.
6. Чем можно объяснить большую растворимость углерода в γ -железе по сравнению с α -железом?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Metallurgy, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – 640 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомление с методикой проведения макроструктурного анализа; получение практических навыков изготовления макрошлифов, изучение поверхностей деталей, изломов, макрошлифов, выявление макродефектов, неоднородности, причин разрушения металла; приобретение навыков зарисовки макроструктур.

Приборы, материалы и принадлежности: образцы с неравномерным распределением в них серы и фосфора; образцы с дефектами, нарушающими сплошность металла; шлифовальная шкурка различных номеров зернистости, вытяжной шкаф, водяная баня, фарфоровые ванны, лупа, пинцеты, фильтровальная бумага, этиловый спирт, реактивы для выявления макроструктуры.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Макроструктурный анализ – это метод исследования металлов и сплавов, выполняемый невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 крат) с помощью лупы или специального микроскопа.

Существует три основных способа изучения макроструктуры:

1. Осмотр поверхности готового изделия, а при необходимости поверхности можно отшлифовать и протравить. В этом случае изделие не разрушается и после контроля идет в эксплуатацию.
2. Изучение специально приготовленных макрошлифов.
3. Изучение излома образца.

Макроанализ позволяет оценить качество материала, выявить наличие в нем макродефектов, характер его предшествующей обработки (литье, обработка давлением, резанием, сварка, наплавка, термическая и химико-термическая обработка и др.), структурную и химическую неоднородность, волокнистость, причины и характер разрушения.

ОСМОТР ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

При осмотре поверхности отливки или детали возможно обнаружение следующих основных дефектов:

1. Газовые раковины – пустоты, расположенные на поверхности или внутри отливки. Форма раковины сферическая или округленная. Причина их образования может быть связана с большим содержанием газов вследствие:

- а) плохого качества исходных материалов;
- б) пониженной газопроницаемости или повышенной влажности формовочных и стержневых материалов;
- в) недостаточной вентиляции форм и стержней;
- г) низкой температуры заливаемого сплава;

- д) чрезмерно быстрого заполнения форм;
- е) неправильной конструкции отливки и др.

2. Песчаные раковины – закрытые или открытые раковины, полностью или частично заполненные формовочным материалом. Причинами их образования могут быть:

- а) недостаточная прочность формовочной и стержневой смеси;
- б) применение неисправных моделей;
- в) слабая или неравномерная набивка формы или стержней;
- г) местное разрушение и засорение форм при сборке;
- д) нетехнологичность конструкции отливки и др.

3. Пригар – поверхность отливки шероховатая и связана с пригоранием формовочной земли к стенкам отливки из-за очень высокой температуры заливаемого металла.

4. Пористость или рыхлость – крупнозернистое и неплотное строение сплава с наличием межкристаллических пустот. Причинами брака могут быть:

- а) неправильная конструкция отливки;
- б) недостаточное питание отливки жидким металлом в процессе затвердевания;
- в) чрезмерно высокая температура заливки и др.

5. Трещины – сквозные или несквозные разрывы в стенках отливок или деталей. Горячие трещины в отливках имеют «рваные», а холодные – ровные и гладкие края.

Причинами трещин в отливках могут быть:

- а) неправильная конструкция отливки с резким переходом от толстых к тонким сечениям;
- б) острые углы в отливках;
- в) чрезмерная плотность набивки;
- г) неправильный состав формовочных и стержневых смесей;
- д) неправильный режим заливки и др.

Причинами трещин в стальных поковках и заготовках могут быть:

- а) большое загрязнение слитка неметаллическими включениями;
- б) наличие литейных дефектов;
- в) чрезмерные обжатия по сечению и др.

Трещины в термически обработанных деталях возникают из-за высоких напряжений термического или структурного характера, возникающих вследствие:

- а) неправильного температурного режима термической обработки;
- б) неправильного выбора охлаждающей среды;
- в) нетехнологичной конструкции деталей и др.

Шлифовочные трещины в виде сетки на поверхности детали возникают в результате больших растягивающих напряжений при неправильных режимах шлифования. Такие трещины выявляются

после шлифования и травления поверхности. В качестве травителя можно использовать 10–15%-ный спиртовой или водный раствор HNO_3 .

Трещины в сварных швах возникают из-за больших внутренних растягивающих напряжений при охлаждении расплавленного металла в результате:

- а) неправильного режима сварки;
- б) насыщения шва водородом из окружающего воздуха и при использовании влажных электродных покрытий, флюсов;
- в) плохой свариваемости металлов (для получения работоспособного сварного соединения необходимо применять сложные технологические приемы: подогрев, отжиг и т. п.).

ИЗУЧЕНИЕ МАКРОШЛИФОВ

Макрошлифом (темплетом) называется образец, вырезанный в определенном месте детали и имеющий плоскую шлифованную поверхность, которая в зависимости от цели исследования протравливается специальными травителями (таблица 4.1).

Таблица 4.1. – Реактивы, используемые при травлении макрошлифов, и особенности травления

Сплавы	Реактив			Особенности травления
	№	назначение	состав	
1	2	3	4	5
Для глубокого травления				
Углеродистые и низколегированные стали и чугуны	1	Выявление ликвации, дефектов, дендритности, неоднородности, волокнистости	10 мл серной кислоты, 90 мл воды	Температура 20 либо 70 °С, длительность – несколько часов
	2	Выявление ликвации, дефектов, волокнистости, макроструктуры сварных соединений	50 мл соляной кислоты, 50 мл воды	Температура 20 либо 60–70 °С, длительность – 1–60 минут
	3	Выявление общей макроструктуры, дефектов	7,5 мл серной кислоты, 10 г хромового ангидрида, 80 мл воды	Температура 50–70 °С, длительность – не менее 10 минут
Высоколегированные и коррозионно-стойкие стали	4	Выявление общей макроструктуры дефектов, ликвации, волокнистости, дендритности	10 мл серной кислоты, 50 мл соляной кислоты, 40 мл воды	Кипящий раствор, длительность – 10–60 минут

Продолжение таблицы 4.1

Коррозионно-стойкие хромоникелевые стали	5	Оценка склонности к межкристаллитной коррозии	10 мл серной кислоты, 3 г сернокислой меди, 87 мл воды	Погружение предварительно нагретой до 625 °С стали в кипящий реактив, длительность – 72 часа
Для поверхностного травления				
Различные стали и чугуны	6	Выявление ликвации серы, фосфора и углерода, полосчатости деформированной стали, грубой зернистости, поверхностных дефектов	8 г хлористого аммиака меди, 100 мл воды (реактив Гейна)	Температура 20 °С, длительность – 0,5–5 минут. Выпавшую медь удаляют ватой под струей воды
	7	Выявление ликвации серы	5 мл серной кислоты, 100 мл воды (реактив Баумана)	Нефиксированную фотобумагу смачивают реактивом, прижимают эмульсией к макрошлифу на 1–10 мин, промывают, фиксируют, снова промывают и высушивают
Различные стали и чугуны	8	Выявление ликвации фосфора	3 мл соляной кислоты, 0,2 г хлористой меди 1–3 г хлорного железа, 0,1 г хлористого олова, 100 мл этилового спирта, 100 мл воды (реактив Обергоффера)	Температура 20°С, образец полированный
	9	Выявление образования оксидов	1,5 мл соляной кислоты, 100 мл воды; 2,2 г красной кровяной соли, 100 мл воды	Желатиновую бумагу или фиксированную фотобумагу пропитывают реактивом 1, приблизительно на 5 минут прижимают к макрошлифу, затем проявляют реактивом 2

Для изучения строения металла слитков, отливок, катаных и кованных заготовок, а также готовых деталей образцы вырезают в направлении, перпендикулярном продольной оси. При изучении строения сварочного шва образцы вырезают в продольном направлении.

Контролируемую поверхность образцов торцуют, строгают и шлифуют. Шлифование ведут до полного уничтожения рисок, оставшихся после торцовки. Когда на шлифе останутся риски только от шлифовальной бумаги, шлифование прерывают и продолжают обработку поверхности на бумаге с более мелким зерном, каждый раз изменяя направление рабочих движений на 90° .

На макрошлифах стали и чугуна выявляются и изучаются следующие основные дефекты: усадочная раковина, пористость, неметаллические включения, волосовины, дендритная и зональная ликвации.

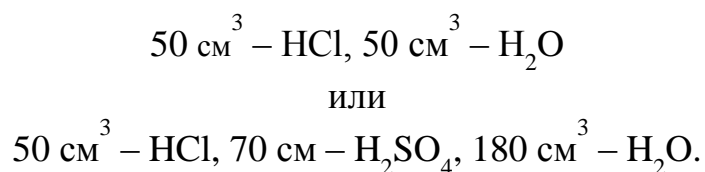
Волосовины – еле заметные тонко очерченные поверхностные и внутренние трещины, возникающие в результате присутствия в металле газовых пузырей и неметаллических включений, которые после прокатки и волочения имеют вид тонких трещин.

Ликвацией называется химическая неоднородность состава сплава по сечению или объему слитка. Стали более склонны к ликвации, чем чугуны, т. к. обладают меньшей жидкотекучестью и большей усадкой. Ликвация возникает при затвердении слитка вследствие уменьшения растворимости железа при его переходе из жидкого состояния в твердое. Различают дендритную и зональную ликвации.

Дендритная ликвация – неоднородность в пределах одного кристалла (дендрита). Наибольшей склонностью к дендритной ликвации обладает сера, фосфор, углерод, т. к. в сталях температура кристаллизации их соединений значительно отличается от температуры кристаллизации железа. Условием образования дендритной ликвации является и неравномерность кристаллизации, т. е. кристаллизация при большой скорости охлаждения слитка.

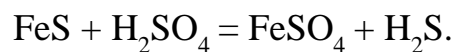
Зональная ликвация – неоднородность состава сплава в различных частях слитка при недостаточном перемешивании сплава и медленном охлаждении слитка. Чем крупнее отливка, тем медленнее она охлаждается и тем больше развивается зональная ликвация. Ликвационные включения концентрируются в толстых частях отливки. Поэтому при конструировании необходимо предусматривать равномерную толщину стенок литых деталей.

Пористость, раковины, волосовины можно наблюдать, протравив макрошлиф реактивами:

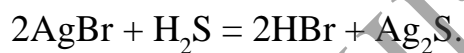


Травление проводится в течение 20–30 минут при температуре, близкой к кипению.

Качественно оценить ликвацию серы в стали можно методом Баумана. Принцип метода заключается в следующем: обычную неотфиксированную фотобумагу при дневном свете пропитывают в течение 8–10 минут 5%-ным раствором серной кислоты, после чего лишнюю кислоту с фотобумаги удаляют фильтровальной бумагой. Потом фотобумагу прижимают эмульсионным слоем приблизительно на 2 минуты к предварительно отшлифованному, промытому и обезжиренному образцу. Прикладывать фотобумагу необходимо плотно, чтобы не осталось воздуха между бумагой и образцом. В результате реакции сернистого железа металла с серной кислотой фотобумага образует сероводород:



Сероводород реагирует с бромистым серебром фотоэмульсии и образует на бумаге сернистое серебро темного цвета:



Фотобумага снимается со шлифа, промывается водой, фиксируется 6–10 минут в 10%-ном растворе гипосульфита, после чего снова промывается водой и просушивается. По распределению темных пятен на фотобумаге можно судить об однородности слитка. Если темные пятна распределены неравномерно, то в слитке есть ликвация серы.

Для выявления ликвации фосфора в сплавах на основе железа применяют следующий реактив: 85 г – CuCl_2 , 53 г – NH_4Cl , 1000 мл – H_2O .

При травлении шлифа происходит обменная реакция: железо уходит в раствор, а медь осаждается на шлифе. На участках, содержащих большое количество фосфора, осаждается меньше меди, и эти участки травятся сильнее. После травления шлиф промывают под струей воды, смывая медь ватным тампоном. Участки со скоплением фосфора имеют более темный цвет, чем остальной металл.

На макрошлифе также исследуется литая структура стали. Для этого образец травят в реактиве, содержащем 250 мл HCl , 35 мл H_2SO_4 и 100 мл H_2O .

Травление проводят 30–60 минут при температуре 70–90 °С. После травления шлиф промывают водой. Этот же реактив применяют для определения расположения волокон в заготовке или изделии. Деталь, у которой волокна повторяют ее конфигурацию, имеет лучшие механические свойства (рисунок 4.1 а), чем деталь, у которой волокна перерезаны (рисунок 4.1 б).

Для определения глубины поверхностного слоя, образованного после цементации или закалки, образец травят 50%-ным раствором HCl

при 80 °С в течение 3 минут, а затем промывают водой. После травления цементированный или закаленный слой имеет более темную окраску.

Исследование микрошлифов сварных швов позволяет определить качество сварки, надежность сварного шва, макроструктуру наплавленного металла. Для травления может использоваться реактив, состоящий из 50%-ной соляной кислоты и 50 % воды. Травление проводится в течение 15–45 минут при температуре 60–70 °С.

В сварных швах наблюдаются следующие дефекты: непровар, пережог, пористость, трещины.

Пережог образуется при непрерывном режиме сварки и сопровождается окислением основного и наплавленного металла.

Пористость характеризуется наличием газовых пузырей в сварном шве.

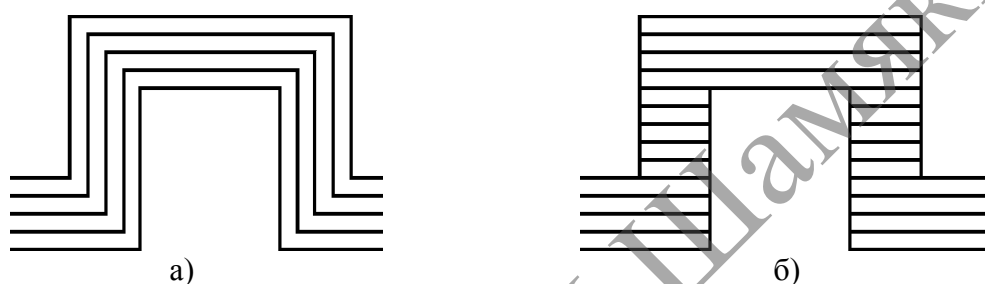


Рисунок 4.1. – Микроструктура ковanej (а) и вырезанной (б) детали

Непроваром называется отсутствие соединения между основным и наплавленным металлом. Причиной может быть недостаточная температура разогрева основного металла или загрязнение поверхности свариваемых деталей.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ МЕТАЛЛА

Практическая цель исследования изломов деталей – это установление причин разрушения металла и выявление особенностей строения металла.

Изломом называется поверхность, по которой произошло разрушение образца или детали. Изломы делятся на хрупкие, вязкие и смешанные. Хрупкий излом имеет характерное кристаллическое строение и блеск; вязкий излом – волокнистое строение и матовый оттенок; при смешанном изломе наблюдаются участки хрупкого и вязкого разрушения.

Хрупкие изломы делятся на транскристаллические (разрушение по объему зерна) и интеркристаллические (межзеренное разрушение). Различают хрупкие крупнокристаллические и мелкокристаллические изломы с соответственно крупными и мелкими фасетками на поверхности излома.

В зависимости от способности отражать свет хрупкий излом может быть светлым (например, у сталей и белых чугунов), серым (у серых чугунов) и темным у ферритных ковких, отожженных высокопрочных чугунов. По виду металла в изломе можно обнаружить некоторые дефекты

сплава. Так, например, светлые округлые пятна в изломе стали говорят о наличии грубых пор, появление которых обусловлено присутствием пузырьков воздуха или водорода (флокенов) в расплаве.

Сильно перегретый при деформации или термической обработке металл имеет нафталинистый излом. Нафталинистый излом – хрупкий, крупнозернистый, с блеском, напоминающим блеск чешуек нафталина. Наблюдается чаще всего у быстрорежущей стали и некоторых цветных сплавов.

Если в стали наблюдается хрупкий шиферный излом, то, следовательно, либо при кристаллизации металла по границам зерен произошло отложение неметаллических включений, легко деформирующихся при горячей обработке, либо в структуре присутствуют разнородные по пластическим свойствам участки металла. Шиферный излом получил название по аналогии с изломом шифера и выявляется в кованой и катаной стали после термической обработки.

Усталостный излом состоит из двух основных зон. Одна из них соответствует участку развития усталостной трещины и имеет характерный (иногда блестящий) вид. На поверхности этой зоны часто видны концентрические контуры фронта распределения трещины, которые сходятся в очаге разрушения. Вторая зона – зона долома – возникает в результате быстрого окончательного разрушения. Она может иметь либо хрупкое, либо вязкое, либо смешанное строение в зависимости от условий испытания или работы детали.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с методикой проведения макроструктурного анализа.
2. Изучите коллекцию макродефектов. Зарисуйте дефекты.
3. Изучите коллекцию изломов. Зарисуйте.
4. Определите распределение серы методом Баумана (описание см. в теоретической части).
5. Определите распределение фосфора в полученном образце (описание см. в теоретической части).
6. Сделайте вывод.

Примечание: при выполнении работы следует соблюдать технику безопасности с реактивами.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткая характеристика дефектов.
4. Порядок выполнения работы.
5. Рисунки и отпечатки выявленных структур.
6. Пояснения к каждой рассмотренной макроструктуре.
7. Вывод по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой анализ называется макроструктурным?
2. Какими методами проводится макроанализ?
3. Какие дефекты можно обнаружить с помощью макроанализа?
4. Что такое ликвация?
5. Какие существуют типы ликвации и каковы причины их образования?
6. Что можно сказать о металле по его излому?
7. Какие известны типы изломов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Metallurgy, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высшая школа, 2001. – 640 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ

Цель работы: ознакомление с процессом приготовления микрошлифов; изучение устройства металлографического микроскопа и приобретение практических навыков работы на нем; проведение микроанализа сплавов и приобретение навыков зарисовки простейших микроструктур.

Приборы и принадлежности: металлографические микроскопы, наборы микрошлифов железа, сталей, циркуль, линейка, реактивы для травления микрошлифов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Микроскопический метод исследования металлов и сплавов (микроанализ) изучает структуру (строение) металла при помощи микроскопа на специально приготовленных образцах.

Строение металлов, изучаемое при микроанализе, называется микроструктурой.

Микроанализ дает возможность определить структуру металлов до и после деформации, различных видов термической и химико-термической обработки, а также позволяет установить форму и размер структурных составляющих, имеющих включения и микродефектов.

Для микроскопического анализа используются металлографические микроскопы, которые позволяют рассматривать предметы в отраженном свете. Металлографический микроскоп состоит из оптической системы, осветительного устройства и механической системы. В оптическую систему входят объективы, окуляр, иллюминатор, зеркало, призма и т. п.

Оптическая схема микроскопа ММУ-3 показана на рисунке 5.1. При наблюдении световые лучи от источника света 1 проходят через коллектор 2, теплофильтр 3, осветительную линзу 4, диафрагму 5, отражаются от плоскопараллельной полупрозрачной пластинки 6 и направляются через объектив 7 на объект 8. Лучи отражаются от поверхности объекта, который совместно с линзой 9 проецирует изображения объекта в фокальную плоскость окуляров 10. Светофильтр 16 повышает контрастность исследуемого объекта.

Рассмотрим последовательность проведения микроскопического анализа.

При проведении микроанализа образец следует установить исследуемой поверхностью вверх на предметный столик 1 (рисунок 5.2), который с помощью винтов 2 и 3 может двигаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Затем хомутик 6 нужно опустить по колонке 4 и закрепить его. Далее поворотом рукоятки 5 отвернуть

стопорный винт, корпус с тубусом опустить до упора в хомутик 6, стопорный винт зажать. Винтами 7 и 8 добиваются четкого изображения микроструктуры.

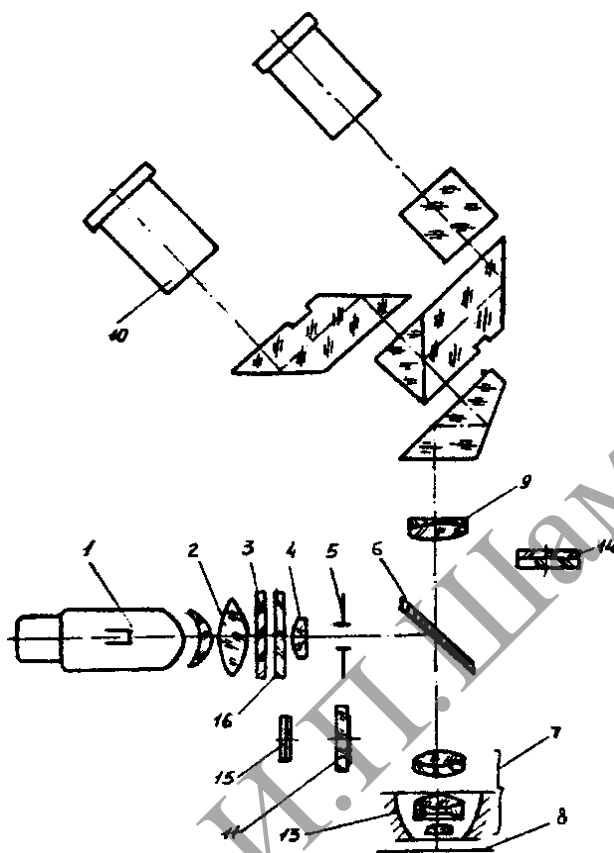


Рисунок 5.1. – Оптическая схема микроскопа ММУ-3

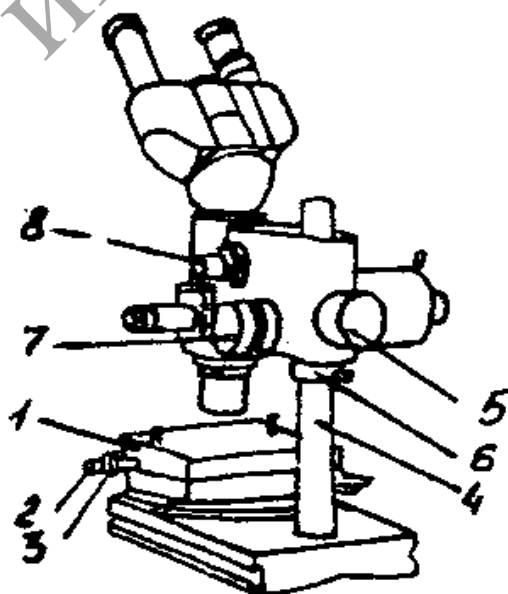


Рисунок 5.2. – Общий вид микроскопа ММУ-3

Вращая винты 2 или 3, можно перемещать рассматриваемый объект в желаемом направлении.

Микроскоп ММУ-3 позволяет получить увеличение от 80 до 476 раз.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ

Приготовление микрошлифа состоит в вырезании образца, шлифовании и полировании до зеркального блеска поверхности, выбранной для исследования. Последнее является необходимым условием получения правильной картины микроструктуры.

Подготовку поверхности, шлифование и полирование образцов ведут с помощью абразивных материалов и инструментов. Шлифование начинают на шкурке с крупным зерном с постепенным переходом к шкуркам с микронной зернистостью. При переходе от одного номера зернистости к другому необходимо очищать образец от абразива и менять направление шлифования на 90° . Не следует делать резкого перехода с грубой шлифовки на мелкую, т. к. в результате этого часто создается ложное представление, что шлиф хорошо приготовлен. На самом деле происходит лишь сглаживание вершин гребней, возникающих после черного шлифования, и заполнение впадин сошлифованным металлом и абразивом.

При исследовании поверхности металла под микроскопом непосредственно после полирования можно обнаружить на общем светлом фоне темные или серые точки и линии, которые могут быть как неметаллическими включениями (оксиды, шлаки, сульфиды, графит и др.), так и неустраняемыми полировкой дефектами поверхности образца (раковины, микротрещины, следы обработки).

Для выявления полной картины микроструктуры металла образец подвергают травлению, которое позволяет определить число, размеры, форму, взаимное расположение и количественное соотношение фаз и структурных составляющих.

ТРАВЛЕНИЕ ШЛИФОВ

Травление заключается во взаимодействии металла на поверхности микрошлифа с химически активными растворами солей, щелочей, кислот в воде или спирте. Если нужна высокая скорость травления и контрастность изображения, в качестве растворителя применяют воду, а если нужна большая четкость для выявления мелких деталей микроструктуры и уменьшения их окисления при травлении и сушке, – спирт.

При травлении реактив взаимодействует с различными участками поверхности микрошлифа неодинаково, что приводит к разной степени их травимости.

Например, даже в однофазном сплаве зерна имеют различную кристаллографическую ориентировку, и поэтому на поверхности шлифа они будут срезаны по разным кристаллографическим плоскостям, которые тоже травятся неодинаково. В случае многофазных сплавов степень травимости будет еще более различна.

Более интенсивно протравливаются границы зерен металла, а также зерна, имеющие двухфазную структуру, или зерна с меньшей твердостью.

Световые лучи, направленные на микрошлиф, отразятся под разными углами (рисунок 5.3). В результате более глубоко протравленные участки поверхности выглядят на общем фоне темнее.

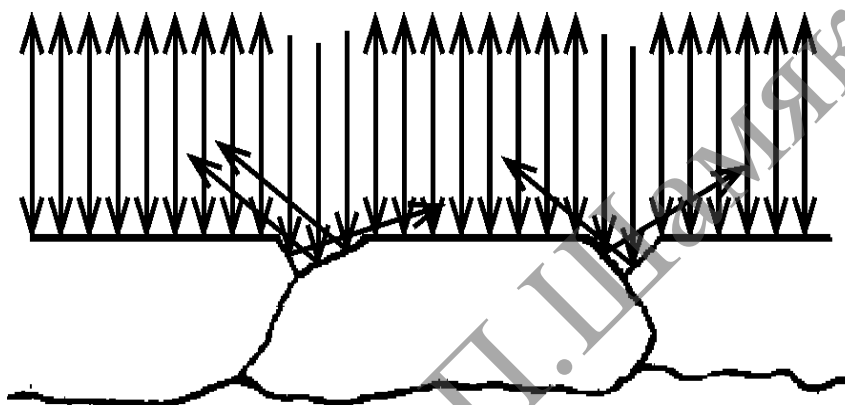


Рисунок 5.3. – Схема отражения световых лучей от поверхности микрошлифа

При травлении шлифов применяют множество самых различных реактивов. Для выявления структуры сталей и чугунов широко используется травитель 2–4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом или метиловом спирте. Травление производится хорошо смоченным ватным тампоном посредством легкого втирания.

Время травления подбирают экспериментально. Качество травления проверяют под микроскопом при том же увеличении, при котором будет производиться дальнейшее изучение микрошлифа. Если поверхность шлифа, видимая под микроскопом, очень светлая, нет четкости контуров структуры, то шлиф недотравлен, и тогда производят повторное травление. Если же поверхность шлифа, видимая под микроскопом, темная, с широкими темными границами структурных составляющих, то шлиф перетравлен. В этом случае его переполнривывают и затем повторно травят. После травления шлиф промывают водой, а затем протирают спиртом и высушивают фильтровальной бумагой или струей теплого воздуха.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода от 0,02 % до 2,14 % называются сталями. Сплавы с содержанием углерода менее 0,02 % называются технически чистым железом.

Под равновесным состоянием сплава понимается такое состояние, когда все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой Fe-C, т.е. превращения произошли при отсутствии перенагрева или переохлаждения.

Структура углеродистых сплавов в равновесном состоянии зависит от содержания в ней углерода и может быть теоретически определена по диаграмме состояния Fe-C (рисунок 5.4).

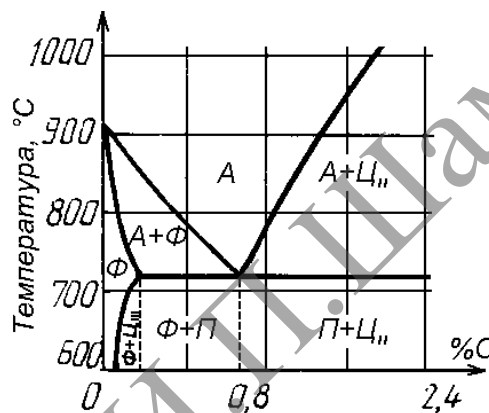


Рисунок 5.4. – Часть диаграммы состояния Fe-C

Структура сплавов с содержанием углерода до 0,01 % состоит из феррита, а в интервале концентраций от 0,01 % до 0,02 % из феррита и цементита третичного, располагающегося по границам зерен феррита. На микроструктуре зерна феррита и цементита имеют светлый цвет, и для выявления цементита, располагающегося по границам зерен феррита, применяют травление 3–4%-ным раствором пикриновой кислоты в этиловом спирте, окрашивающим цементит в темный цвет.

Феррит представляет собой твердый раствор углерода в α -железе, обладает ферромагнитными свойствами и является сравнительно мягкой (80–100НВ) структурной составляющей с высокими пластичными свойствами ($\sigma_B = 245$ МПа, $\delta = 50$ %; $\psi = 80$ %).

Цементит, представляющий из себя химическое соединение железа с углеродом, имеет высокую твердость (более 300НВ), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность.

По структуре углеродистые стали различаются на доэвтектоидные – содержащие углерода до 0,8 % – структура феррит и перлит; эвтектоидные – содержащие углерода 0,8 % – структура перлит;

заэвтектоидные – содержащие углерода от 0,8 % до 2,14 % – структура перлит и цементит.

Как видно из диаграммы (рисунок 5.4), в равновесном состоянии в структуре углеродистых сталей типичной структурной составляющей является перлит, представляющий из себя эвтектоидную смесь феррита и цементита. В зависимости от режима отжига перлит имеет пластинчатое или зернистое строение.

Пластинчатым перлитом называют эвтектоидную смесь, в которой в кристаллах феррита равномерно распределены чаще всего слегка изогнутые, параллельно расположенные кристаллы цементита пластинчатой формы. При больших увеличениях (в 500–1000 раз) при рассмотрении в оптический микроскоп пластинчатое строение различимо всегда (рисунок 5.5, а и б). При меньших увеличениях пластинчатое строение различимо только при достаточной толщине, а если перлит тонкопластинчатый, то зерна перлита при рассмотрении в микроскоп имеют однородный темный цвет.

Зернистым перлитом называют эвтектоидную смесь, в которой в кристаллах феррита равномерно распределены округлые (глобулярные) кристаллы цементита.

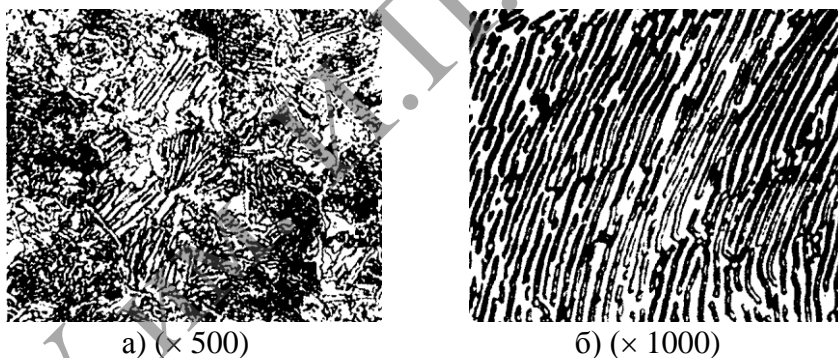


Рисунок 5.5. – Эвтектоидная сталь с 0,8 % С – перлит, травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты

Механические свойства перлита зависят от размера (в случае пластинчатого перлита от толщины) кристалла цементита, возрастая с увеличением дисперсности строения, а также от формы кристалла цементита. Перлит пластинчатый характеризуется более высокой твердостью и прочностью.

В доэвтектоидных сталях количественное соотношение между перлитом и ферритом зависит от содержания в стали углерода. С увеличением содержания углерода пропорционально увеличивается содержание перлитной составляющей. Поэтому, считая, что феррит практически углерода не содержит, а наличие в структуре 100 % перлита соответствует 0,8 % углерода, можно по соотношению площадей,

занимаемых в исследуемой структуре перлитом и ферритом, определить содержание углерода в любой доэвтектоидной стали (рисунок 5.6).

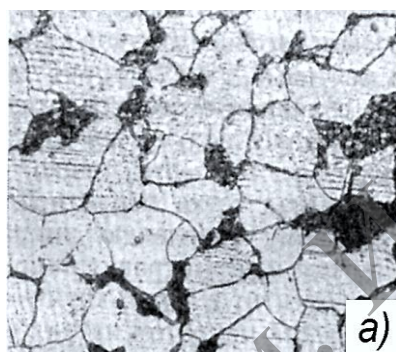
Например, если в исследуемой стали на микроструктуре перлит занимает 40 % площади (рисунок 5.6 б), то содержание углерода определим, решая простую пропорцию:

$$\begin{aligned} 0,8 \% \text{ C} &- 100 \% \text{ перлита;} \\ X \% \text{ C} &- 40 \% \text{ перлита.} \end{aligned}$$

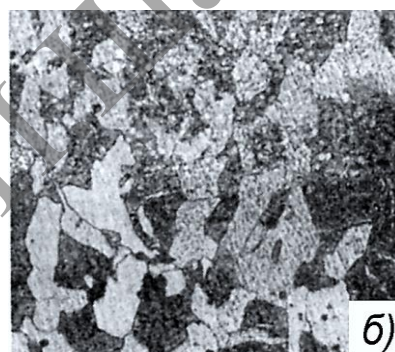
Тогда

$$X = \frac{0,8 \cdot 40}{100} = 0,32 \%.$$

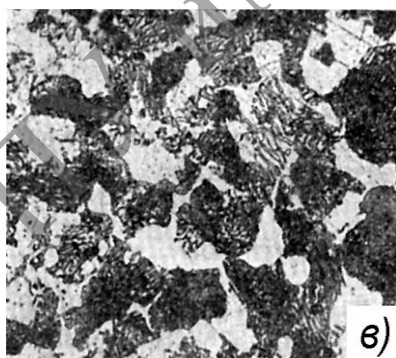
Зная процентное содержание углерода, можно определить марку стали. Найти таким же путем содержание углерода в заэвтектоидной стали очень трудно, т.к. узнать точное содержание цементита в стали невозможно.



а – 20 % перлита



б – 40 % перлита



в – 70 % перлита

Рисунок 5.6. – Доэвтектоидные стали ($\times 500$) – феррит и перлит

В заэвтектоидной стали, как указывалось выше, структура состоит из перлита и цементита вторичного, который тоже располагается в виде сетки равномерной толщины вокруг зерен перлита (рисунок 5.7). Отличить сетку перлита от сетки цементита можно с помощью травления микрошлифа щелочным раствором пикрата натрия, окрашивающим цементит в темный цвет.



Рисунок 5.7. – Заэвтектоидная сталь с 1,2 % С (× 500) – перлит и цементит; травление 4%-ным раствором азотной кислоты

Структура стали характеризует ее свойства, а следовательно, и область применения.

Доэвтектоидные стали, содержащие углерода до 0,5 %, являются конструкционными сталями, применяемыми для изготовления большой номенклатуры деталей машиностроения. Стали, содержащие углерода от 0,5 % до 0,7 %, используются большей частью как пружинные, а стали, содержащие углерода более 0,7 %, используются в основном как инструментальные.

МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Стали по химическому составу подразделяются на углеродистые и легированные. Углеродистые стали различаются по назначению: 1) конструкционные, 2) инструментальные.

1. Конструкционные углеродистые стали различают обыкновенного качества и качественные.

Стали обыкновенного качества содержат до 0,07 % фосфора, 0,06 % серы, 0,06...0,49 % углерода, являются конструкционными, в равновесном состоянии имеют ферритно-перлитную структуру. В зависимости от назначения они подразделяются на три группы:

А – поставляемые по механическим свойствам (Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6) для изготовления изделий, не подвергающихся горячей обработке;

Б – поставляемые по химическому составу (БСт0, БСт1...БСт6) для изготовления изделий, подвергающихся горячей обработке;

В – поставляемые по механическим свойствам и химическому составу (ВСт1, ВСт2...ВСт5) для изготовления сварных конструкций.

Буквы Ст в марке означают «сталь обыкновенного качества», цифры – условный номер марки в зависимости от нормируемых показателей. Чем больше условный номер стали, тем больше содержание углерода и перлита в ней, и тем выше ее прочность. Буквы кп, пс, сп,

стоящие за цифрой, указывают степень раскисления стали (кипящая, полуспокойная, спокойная). Из спокойных сталей наиболее полно удален кислород.

Стали обыкновенного качества являются сталями общего назначения и используются для изготовления проката различных профилей и листовой стали, применяемых для производства заклепок, болтов, шайб, кровельного железа и другой продукции.

Стали качественные конструкционные содержат не более 0,035 % фосфора, не более 0,04 % серы, 0,05...0,6 % углерода и выпускаются следующих марок: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25 и т. д. Двухзначные числа в марке показывают содержание углерода в сотых долях процента.

Стали 05кп, 08кп, 08, 10 идут на изготовление деталей сложной конфигурации методом холодной штамповки. Из сталей 15кп, 15, 20 изготавливают болты, гайки, винты, пальцы, валки, оси, крюки, шпильки и другие детали неответственного назначения. Часто детали из этих сталей работают в условиях, при которых изнашиваются их поверхности, и поэтому подвергаются поверхностному упрочнению цементацией или цианированием.

К углеродистым сталям, используемым для изготовления деталей с высокими прочностью и вязкостью сердцевины (оси, валики, винты, шайбы, втулки, коленчатые валы, тяги, шатуны и др.), относятся стали 30, 35, 40, 45. Из сталей 65, 70, 75, 80, 85 с большим содержанием углерода изготавливают детали, работающие в условиях трения и вибрационных нагрузок.

2. Углеродистые инструментальные стали выпускаются качественными (У7, У8, У8Г, У9...У13, содержание серы не превышает 0,03 %, фосфора – 0,035 %) или высококачественными (У7А, ... У13А, содержание серы не превышает 0,02 %, фосфора – 0,03 %). В марке буква У означает инструментальная сталь, буква А в конце марки – высококачественная, цифра показывает содержание углерода в десятых долях процента.

Наиболее пластичные из названных сталей (доэвтектоидная ферритно-перлитная У7, эвтектоидные У8, У8А) идут на производство молотков, стамесок, долот, зубил, штампов и прочего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок. Из сталей У10, У11, У11А изготавливают резцы, сверла, метчики, фрезы, плитки и прочий мерительный и режущий инструмент для резания мягких материалов, из сталей У12, У13, У13А – твердый, работающий без ударных нагрузок инструмент (напильники, рашпили, бритвы).

Легированной называется сталь, в которую для придания ей определенных механических, технологических или специальных свойств введены легирующие элементы. Основными легирующими

элементами в стали являются Cr – X, Ni – H, Mn – Г, Si – С, Mo – М, W – В, V – Ф, Ti – Т, Co – К, Al – Ю, В – Р и др. (буква после тире соответствует обозначению элемента в марке стали).

В сталь может вводиться один или несколько легирующих элементов. Если содержание легирующего элемента превышает 1–1,5 %, то в марке оно указывается цифрой (массовая доля в процентах), стоящей после соответствующей буквы. Цифры в начале марки обозначают содержание углерода в сотых долях процента для конструкционных сталей, в десятых – для инструментальных.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с устройством и работой микроскопа и зарисуйте оптическую схему.
2. Ознакомьтесь с техникой изготовления микрошлифа.
3. Получите у преподавателя коллекцию микрошлифов.
4. Изучите микроструктуры сталей, сравнивая фотографии микроструктур сталей с микроструктурой, увиденной через микроскоп.
5. Зарисуйте каждую микроструктуру в квадратах (60×60) или кругах (Ø60).
6. Укажите на зарисованной микроструктуре фазы и структурные составляющие.
7. Определите концентрацию углерода в доэвтектоидной стали.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы. ●
2. Краткая характеристика сталей.
3. Порядок выполнения работы.
4. Схема микроскопа.
5. Зарисованные микроструктуры рассмотренных сталей.
6. Выводы к работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основан принцип действия металлографических оптических микроскопов?
2. Поясните устройство микроскопа и ход лучей в его оптической схеме.
3. Как изготовить микрошлиф?
4. В чем состоит назначение травителя и какой травитель использовался в данной работе?
5. Как различаются углеродистые стали по структуре?
6. Что такое феррит, перлит, цементит, каковы их свойства и от чего эти свойства зависят?

7. Как маркируются углеродистые стали?
8. Как маркируются легированные стали?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – 640 с.

МГТУ им. И.П.Шамякина

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

Цель работы: изучение микроструктуры чугунов с различной формой графитного зерна и различной металлической основой.

Приборы и принадлежности: металлографический микроскоп, наборы микрошлифов чугунов, циркуль, линейка, реактивы для травления микрошлифов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % углерода. В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплаве, различают белый, серый, ковкий и высокопрочный чугуны.

Белым называется чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Свое название он получил по цвету излома. Кристаллизация белого чугуна происходит в соответствии с метастабильной диаграммой Fe-Fe₃C (рисунок 6.1).



Рисунок 6.1. – Часть диаграммы состояния Fe-C

При температуре 1147 °C белые чугуны претерпевают эвтектическое превращение, заключающееся в одновременной кристаллизации из жидкости, содержащей 4,3 % углерода, аустенита с 2,14 % C и цементита. Образующаяся смесь называется ледебуритом.

При температуре 727 °C в сплаве протекает эвтектоидное превращение, при котором аустенит распадается на эвтектоидную смесь, называемую перлитом. Эвтектоидное превращение претерпевает аустенит, находящийся как в структурно-свободном состоянии, так и входящий

в состав ледебурита. Следовательно, ниже температуры 727 °С ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита.

Согласно диаграмме Fe-Fe₃C, по структуре белые чугуны подразделяются на доэвтектические, содержащие углерода от 2,14 до 4,3 %, эвтектические – с 4,3 % углерода и заэвтектические, содержащие от 4,3 % до 6,67 % С.

Структура белого доэвтектического чугуна при комнатной температуре состоит из ледебурита, перлита и цементита вторичного (рисунок 6.2). Цементит вторичный выделился из аустенита вследствие уменьшения растворимости углерода в нем с 2,14 до 0,8 % с понижением температуры от 1147 °С до 727 °С. Ледебуритная составляющая представляет собой светлые цементитные поля с равномерно расположенными на них темными перлитными участками. Перлит образует темные зерна; вторичный цементит частично проявляется в виде светлых выделений по границам перлитных зерен, а частично сливается с цементитом ледебурита. Относительное количество ледебурита и перлита в структуре чугуна зависит от содержания в нем углерода. Чем больше в чугуне углерода, тем меньше в структуре свободного перлита и больше ледебурита.



Рисунок 6.2. – Доэвтектический белый чугун (×500) – перлит и ледебурит

Структура белого эвтектического чугуна состоит только из ледебурита (рисунок 6.3).



Рисунок 6.3. – Эвтектический белый чугун (×500) – ледебурит

Структура белого заэвтектического чугуна состоит из крупных продолговатых кристаллов первичного цементита, выделившегося из жидкости, в ледебуритной основе (рисунок 6.4). Относительное

количество ледебурита в структуре зависит от содержания в чугуне углерода. Чем больше в сплаве углерода, тем больше кристаллов цементита первичного.

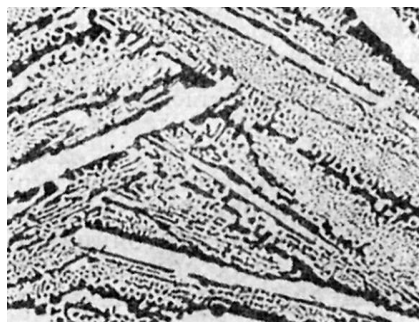
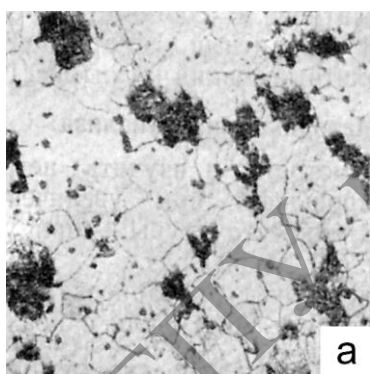


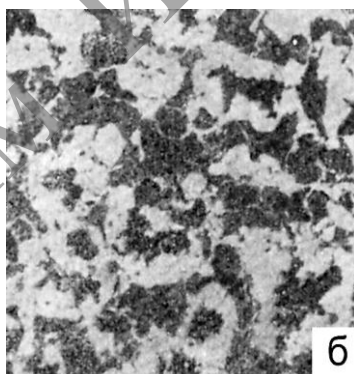
Рисунок 6.4. – Заэвтектический белый чугун ($\times 500$) – цементит первичный и ледеburит

Из-за присутствия в белых чугунах цементита они очень тверды и хрупки и имеют ограниченное применение как конструкционный материал. Белый заэвтектический чугун идет в переплавку, а доэвтектический подвергается специальной термической обработке, в результате которой за счет распада цементита на графит хлопьевидной формы и аустенит чугун приобретает высокую прочность и удовлетворительную пластичность.

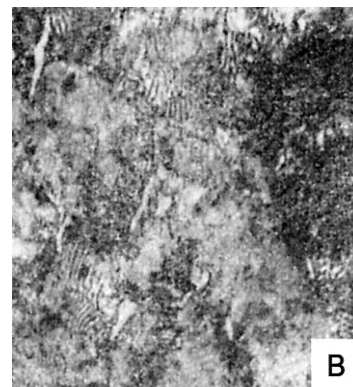
Чугун с хлопьевидной формой графита называется ковким (рисунок 6.5).



а – феррит и углерод отжига ($\times 200$)



б – феррит + перлит + углерод отжига ($\times 200$)



в – перлит и углерод отжига ($\times 300$)

Рисунок 6.5. – Ковкий чугун, травление 4%-ным раствором HNO_3

Исходная структура доэвтектического чугуна состоит из перлита, ледебурита и цементита вторичного. При нагреве чугуна до температуры $950\text{--}1050\text{ }^\circ\text{C}$ в сплаве протекает эвтектоидное превращение, состоящее в превращении перлита в аустенит, а также происходит растворение цементита вторичного в аустените. Во время длительной выдержки при указанных температурах цементит, являясь метастабильной фазой, распадается на аустенит и хлопьевидный графит (рисунок 6.6).

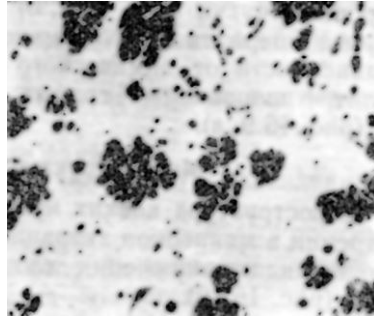


Рисунок 6.6. – Ковкий чугун ($\times 100$) – включения хлопьевидного графита (углерод отжига); шлиф не травлен

Отжиг белого чугуна на ковкий обычно ведут по графику, показанному на рисунке 6.7.

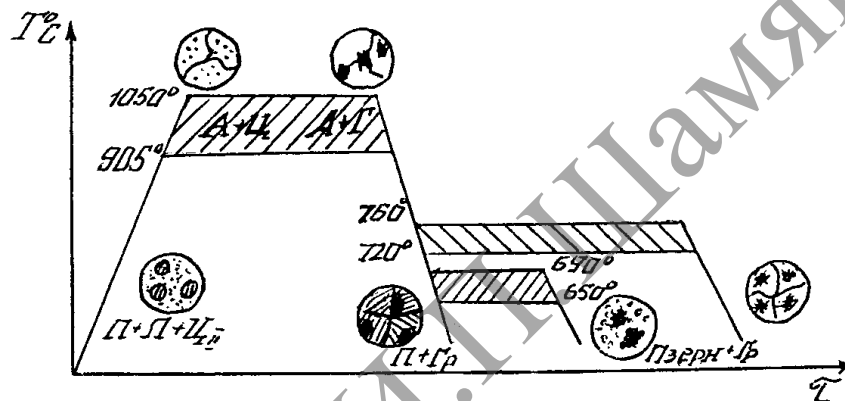


Рисунок 6.7. – Режимы отжига белого чугуна

Структура металлической основы – матрицы чугуна – зависит от режима охлаждения. Если после завершения графитизации провести охлаждение сразу до низких (комнатных) температур, то структура чугуна будет состоять из перлита и графита. Такой чугун называется перлитным ковким чугуном.

Отжигу на перлитный чугун подвергается чугун с содержанием углерода 3,2–3,6%. В этом случае для выгорания некоторого количества углерода отжиг проводят в окислительной среде – отливки упаковывают в ящики с железной рудой.

Если в температурном интервале 760–720 °С отливки охлаждать очень медленно (3–5 °С в час), то происходит распад аустенита на феррит и графит, который наслаивается на уже имеющиеся хлопья. Медленное охлаждение можно заменить изотермической выдержкой при температуре 760–720 °С, в результате которой происходит распад цементита перлита на феррит и графит. Такой режим отжига применяется чаще и называется графитизацией или второй стадией отжига.

Структура чугуна после двухстадийного отжига состоит из феррита и графита, а чугун называется ферритным ковким чугуном.

Отжигу на ферритный ковкий чугун подвергаются чугуны, содержащие 2,7–2,9 % углерода. Если вторую стадию отжига сократить, то часть цементита перлитного не распадается, и структура чугуна будет состоять из перлита, феррита и графита, а такой чугун называется феррито-перлитным ковким чугуном. Чем короче вторая стадия отжига, тем больше в структуре содержится перлита.

Ферритный ковкий чугун характеризуется большей пластичностью, но меньшей прочностью, чем перлитный ковкий чугун. Для повышения пластичности перлитного чугуна с сохранением высокой прочности его подвергают сфероидизирующему (неполному) отжигу. Чтобы предотвратить распад аустенита на феррит и графит, чугуны, подвергающиеся сфероидизирующему отжигу, должны иметь повышенное содержание марганца (до 0,9–1,0 %) либо содержать небольшие добавки хрома или никеля.

Ковкий чугун со структурой зернистого перлита обладает большой прочностью (400–600 МПа), сравнительно хорошей пластичностью ($d = 10,0\text{--}4,0\%$), хорошей обрабатываемостью, повышенными антифрикционными свойствами и более высокой, чем у серого и ферритного ковкого чугуна, коррозионной стойкостью.

Ковкие чугуны маркируются следующим образом:

- ферритные или ферритно-перлитные – КЧ30–6; КЧ33–8; КЧ35–10; КЧ37–12.
- перлитные – КЧ 45–7; КЧ 50–5; КЧ 55–4; КЧ 60–3; КЧ 65–3, где буквы КЧ указывают на то, что это ковкий чугун; цифры до тире – временное сопротивление разрыву в кгс/мм²; цифры после тире – относительное удлинение в %.

Из ковкого чугуна изготавливаются детали, работающие:

- при низких статических и динамических нагрузках – головки, хомутики, гайки, клапаны, фланцы, муфты и др.;
- при средних статических и динамических нагрузках – башмаки, вилки, скобы, коробки, коромысла и др.;
- при высоких динамических и статических нагрузках, материал которых по условиям работы и технологии изготовления должен обладать повышенной прочностью и высокой пластичностью, – картеры редукторов, пальцы, ступицы, крючки и др.;
- в тяжелых условиях износа с одновременной достаточной прочностью и вязкостью – муфты, звездочки и звенья приводных цепей, буксы, тормозные колодки, храповики, коленчатые валы и др.

Все указанные детали изготавливаются из ковкого чугуна с толщиной стенок не более 30–40 мм, т. к. при большей толщине стенки в результате замедленного охлаждения в ходе первичной кристаллизации возможно выделение пластинчатого графита.

Чугуны, у которых графит имеет пластинчатую форму, называются серыми чугунами (рисунок 6.8).

Факторами, обуславливающими получение при кристаллизации графита пластинчатой формы, являются очень малая скорость охлаждения и наличие примесей, способствующих графитизации. Наиболее сильное влияние на графитизацию оказывает кремний, содержащийся в обычных чугунах в количестве от 0,8 до 3 %. Кристаллизации графита пластинчатой формы также способствуют микродобавки алюминия, кальция, цезия.

Чугуны, содержащие перечисленные выше микродобавки, называются модифицированными.

Степень графитизации определяет характер металлической основы серого чугуна. В зависимости от того, какая часть углерода содержится в чугуне в связанном состоянии, различают ферритные, ферритно-перлитные и перлитные чугуны (рисунки 6.9, 6.10).

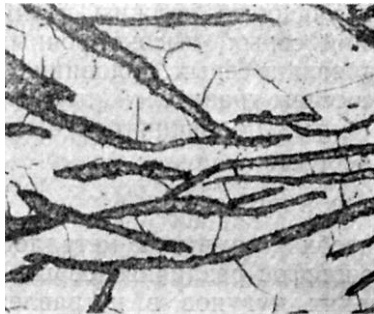


Рисунок 6.8. – Ферритный серый чугун (×500) – феррит и пластинчатый графит



Рисунок 6.9. – Ферритно-перлитный серый чугун (×500) – феррит + перлит + пластинчатый графит

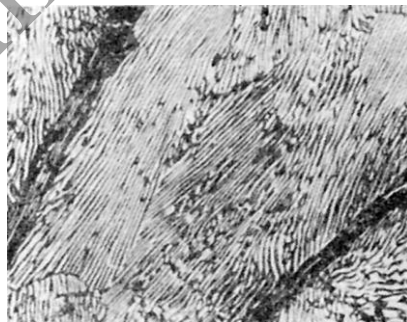


Рисунок 6.10. – Перлитный серый чугун (×500) – перлит и пластинчатый графит

Твердость и прочность чугуна повышается с увеличением в металлической основе перлитной составляющей. Но определяющее влияние на свойства чугуна оказывают все-таки пластины графита. Чем меньше графитные пластины и чем больше они изолированы друг от друга, тем выше прочностные свойства при одной и той же металлической основе.

Форму, величину и расположение включений исследуют на непротравленном шлифе.

В серых чугунах встречается также структурная составляющая, называемая фосфидной эвтектикой. Наличие ее обусловлено присутствием в чугуне фосфора. Фосфидная эвтектика увеличивает жидкотекучесть, а также повышает прочность и износостойкость чугунов.

Серые чугуны маркируются следующим образом: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ40; СЧ45.

Буквы СЧ обозначают «серый чугун», цифры показывают предел прочности на растяжение кгс/мм^2 .

Из ферритных серых чугунов изготавливаются малоответственные литые детали: патрубки, пробки, фланцы, плиты и т. д., а также детали, испытывающие низкие динамические нагрузки и работающие в условиях сухого трения и трения со смазкой: блок цилиндров двигателя, головка блока, седла клапанов, картеры, корпуса, ступицы, маховики, крышки, стойки, плиты, диски сцепления и др.

Из ферритно-перлитных и перлитных чугунов изготавливают детали, испытывающие средние и высокие динамические нагрузки: блоки цилиндров, головки и гильзы, корпуса, картеры, крышки, станины и стойки различных станков, шестерни, звездочки, храповики и др.

При выборе марки чугуна для изготовления детали необходимо учитывать толщину стенки.

Чугун с шаровидной формой графитного зерна называется высокопрочным. Структура металлической основы у высокопрочного чугуна такая же, как у серого чугуна. Шаровидная форма графитного зерна значительно меньше ослабляет металлическую основу, чем пластинчатая форма, поэтому высокопрочный чугун по своим механическим свойствам превосходит чугун серый. Высокопрочный чугун получают модифицированием жидкого чугуна магнием (в количестве 0,1–0,2 % к весу металла) или церием.

Высокопрочные чугуны маркируются следующим образом: ВЧ38–13; ВЧ42–12; ВЧ50–2; ВЧ60–2.

Буквы ВЧ обозначают «высокопрочный чугун», цифры до знака тире показывают «временное сопротивление» разрыву в кгс/мм^2 , а цифры после знака тире – «относительное удлинение» в %.

Из высокопрочных чугунов изготавливают валы автомобильных и тракторных двигателей, картеры, крышки цилиндров, кронштейны, шестерни, звездочки, тормозные диски, прокатные валки и другие детали, к которым предъявляются высокие требования по механическим свойствам. Из высокопрочного чугуна можно изготовить детали практически с любой толщиной стенки (рисунки 6.11, 6.12).

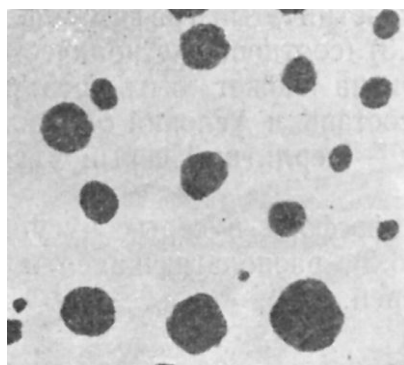
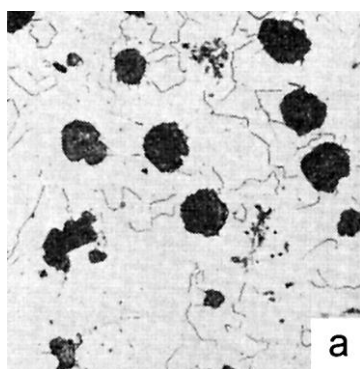
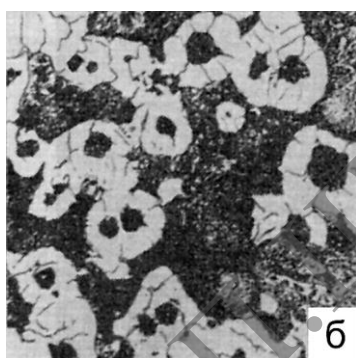


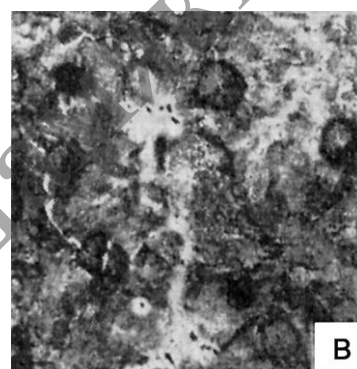
Рисунок 6.11. – Высокопрочный чугун (×100) – включения шаровидного графита, шлиф не травлен



а – феррит и шаровидный графит;



б – феррит + перлит + шаровидный графит;



в – перлит и шаровидный графит

Рисунок 6.12. – Высокопрочный чугун, травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты (×100)

Для изготовления отливок прокатных валков, вагонных колес и др. применяют отбеленный чугун, представляющий собой серый чугун с тонким поверхностным слоем белого чугуна.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучите теоретические положения о типах чугунов, их структуре и свойствах.
2. Получите у преподавателя коллекцию микрошлифов чугуна.
3. Изучите форму графитного зерна в протравленных шлифах.
4. Протравите микрошлифы.
5. Изучите микроструктуры протравленных шлифов.
6. Зарисуйте микроструктуры.
7. Сравнивая зарисованные микроструктуры с фотографиями микроструктур, укажите наименование чугуна, а также фазы и структурные составляющие.
8. Сделайте выводы по работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Краткая характеристика чугунов.
3. Порядок выполнения работы.
4. Зарисованные микроструктуры чугунов.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой чугун называется белым?
2. Какова структура у белого чугуна?
3. Какими свойствами обладают белые чугуны и какова область их применения?
4. Какой чугун называется серым? Как маркируются серые чугуны?
5. Какими свойствами обладают серые чугуны и какова область их применения?
6. Какой чугун называется ковким?
7. Как получают ковкий чугун? Как маркируются ковкие чугуны?
5. Какими свойствами обладают ковкие чугуны и какова область их применения?
6. Какой чугун называется высокопрочным?
7. Как получают высокопрочный чугун? Как маркируются высокопрочные чугуны?
8. Какими свойствами обладают высокопрочные чугуны и какова область их применения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006.– С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – 640 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИНСТРУМЕНТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Цель работы: научиться обоснованно выбирать сплав и его термообработку, при использовании которых в наибольшей степени обеспечиваются надежность инструментов в условиях эксплуатации, указанных в каждой отдельной задаче.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Инструментальные стали, как имеющие высокие показатели твердости, износостойкости и прочности, используют для режущих инструментов, штампов холодного и горячего деформирования измерительных инструментов различных размеров и форм. Для характеристики и выбора этих сталей надо учитывать прежде всего главное свойство этих сталей – теплостойкость, поскольку рабочая кромка инструментов в зависимости от условий эксплуатации может нагреться до 500–700 °С у режущих инструментов и до 800 °С у штампов. Стали для резания и горячего деформирования должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т. е. обладать теплостойкостью (красностойкостью). Это свойство создается специальным легированием и термической обработкой. В связи с этим различают стали:

1. Нетеплостойкие, сохраняющие высокую твердость (> 60 HRC) при нагреве не выше 190–225 °С и используемые для резания мягких материалов с небольшой скоростью, а также для деформирования в холодном состоянии. Это заэвтектоидные и близкие к эвтектоидным углеродистые и легированные стали (с относительно невысоким содержанием легирующих элементов). Карбидная фаза их – цементит, коагулирующий при сравнительно низких температурах.

2. Полутеплостойкие, преимущественно штамповые, рабочая кромка которых нагревается до 400–500 °С. Это стали, близкие к эвтектоидным, легированные хромом и дополнительно вольфрамом, молибденом и ванадием. Карбидные фазы – легированный цементит и карбиды хрома, коагулирующие при более высоком нагреве, а также ледебуритные стали (12% Cr).

3. Теплостойкие – для резания с повышенной скоростью – нагрев рабочей кромки до 500–650 °С (быстрорежущие стали); для деформирования материалов при повышенном нагреве до 600–800 °С (штамповые стали). Основная карбидная фаза – карбид вольфрама (молибдена),

а у менее теплостойких штамповых сталей – карбид хрома. Теплостойкие стали сохраняют высокую твердость: 60–62 HRC после нагрева до 600–650 °С у быстрорежущих и 45–52 HRC после нагрева до 650–700 °С у штамповых.

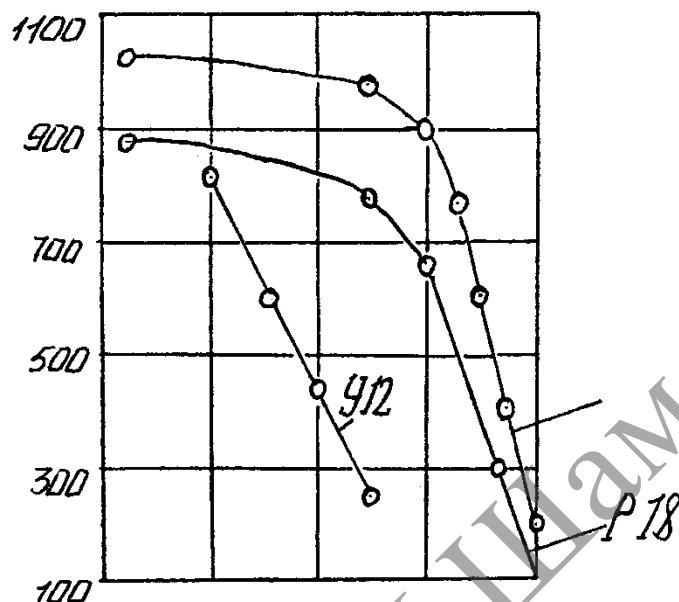


Рисунок 7.1. – Твердость инструментальных сталей при нагреве

Твердость и вязкость инструментальных сталей зависит от содержания углерода (рисунок 7.1). Поэтому перечисленные стали различают:

а) повышенной твердости; содержат больше углерода, получают более высокую твердость (60–68 HRC) и используются в основном для металлорежущих инструментов и штампов холодного деформирования;

б) повышенной вязкости; содержат меньше углерода, имеют сравнительно невысокую твердость и используются для инструментов, воспринимающих динамические нагрузки: деревообрабатывающих штампов холодной высадки и чеканки, а также штампов горячего деформирования.

Марки и область применения наиболее характерных инструментальных сталей приведены в таблице 7.1.

Быстрорежущие стали маркируются буквой Р (режущие); цифра, следующая за буквой Р, указывает содержание (в %) вольфрама – главного легирующего элемента быстрорежущих сталей. Для остальных инструментальных сталей сохраняется следующее обозначение: если в марке легированных инструментальных сталей перед буквой нет цифры, которая должна указывать содержание углерода, то углерода содержится до 1 %.

Таблица 7.1. – Стали инструментальные

Марка стали	Химический состав, %									Назначение
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Co		
1. Нетеплостойкие стали										
Высокой твердости										
У10А, У10	max	1,04	0,30	0,35	0,20					Штампы высадочные и вытяжные, напильники, метчики для резания мягких материалов
	min	0,95	0,15	0,15	–					
У11А, У11	max	1,14	0,35	0,35	0,20					То же
	min	1,05	0,15	0,15	–					
У12А, У12	max	1,24	0,35	0,35	0,20					То же
	min	1,15	0,15	0,15	–					
У13А, У13	max	1,35	0,35	0,35	0,20					То же
	min	1,25	0,15	0,15	–					
13Х	max	1,40	0,60	0,35	0,70					Напильники, бритвы
	min	1,25	0,30	0,15	0,40					
Х (ШХ15)	max	1,10	0,40	0,35	1,65					Напильники, штампы вытяжные
	min	0,95	0,15	0,15	1,30					
ХВСГ	max	1,05	0,90	1,00	1,10	0,80		0,15		Круглые плашки
	min	0,95	0,60	0,65	0,60	0,50		0,05		
9ХФ	max	0,90	0,60	0,35	0,70			0,30		Пилы по дереву
	min	0,80	0,30	0,15	0,40			0,15		
7ХГ2ВМ	max	0,76	2,30	0,40	1,80	0,90	0,80	0,25		Штампы вырубные сложной формы и крупные
	min	0,68	1,80	0,20	1,50	0,50	0,50	0,10		
Повышенной вязкости										
У7, У7А	max	0,74	0,40	0,35	0,20					Инструменты для обработки древесины
	min	0,65	0,20	0,15	–					
7ХФ	max	0,73	0,60	0,35	0,70			0,30		То же
	min	0,63	0,30	0,15	0,40			0,15		
6ХС	max	0,70	0,40	1,00	1,30					Ножи для обработки дерева
	min	0,60	0,15	0,60	1,00					
2. Полутеплостойкие стали										
Высокой твердости										
Х12М	max	1,65	0,40	0,35	12,5		0,60	0,30		Штампы вырубные, вытяжные, матрицы пресс
	min	1,45	0,15	0,15	11,0		0,40	0,15		
Повышенной вязкости										
5ХНМ	max	0,60	0,80	0,35	0,80		0,30		1,80	Крупные молотковые штампы
	min	0,50	0,50	0,15	0,50		0,15		1,40	
3. Теплостойкие стали										
Высокой твердости (быстрорежущие) и умеренной теплостойкости										
Р12	max	0,90	0,40	0,50	3,60	13,0	1,00	1,90		Протяжки, фрезы, сверла
	min	0,80	–	–	3,10	12,0		1,50		
Р6М5	max	0,88	0,40	0,50	4,40	6,50	5,50	2,10		Метчики, протяжки, фрезы
	min	0,80	–	–	3,80	5,50	5,00	1,70		
Р18	max	0,80	0,40	0,50	0,50	18,5	1,00	1,40		Метчики, резьбовые фрезы шлифуемые
	min	0,70	–	–	–	17,0		1,00		

Продолжение таблицы 7.1

Марка стали		Химический состав, %								Назначение
		C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Co	
Повышенной теплостойкости										
P12Ф3 (ЭП597)	max	1,05	0,40	0,50	4,30	13,0	1,00	3,00		Развертки, протяжки, зенкеры для обработки конструкционной стали.
	min	0,95	–	–	3,80	12,0	0,50	2,50		
P13Ф4К5 (ЭП600)	max	1,40	0,40	0,50	4,30	14,0	1,00	3,80	6,00	Для резания жаропрочных нержавеющей сталей
	min	1,25	–	–	3,80	12,5	0,50	3,20	5,00	
P9M4K8	max	1,10	0,50	0,40	3,60	9,60	4,30	2,58	8,50	То же и для резания конструкционной стали с твердостью 35–45 HRC
	min	1,00	–	–	3,00	8,50	3,80	2,10	7,50	
Высокой теплостойкости										
B11M7K23	max	0,15	0,50	0,40		12,0	8,00	0,80	24,0	Для резания титановых и жаропрочных сплавов
	min	0,05	–	–	0,50	10,5	7,50	0,40	22,5	
4. Теплостойкие стали повышенной вязкости										
Умеренной теплостойкости										
4X5MФC	max	0,40	0,40	1,20	5,50		1,50	0,50		Штампы, формы для литья под давлением
	min	0,32	0,15	0,80	4,50		1,20	0,30		
4X5B2ФC	max	0,45	0,40	1,20	5,50	2,20		0,90		То же
	min	0,35	0,15	0,80	4,50	1,60		0,60		
4X4BMФC	max	0,44	0,50	1,00	4,00	1,20	1,50	0,90		То же
	min	0,37	0,20	0,60	3,20	0,80	1,20	0,60		
Повышенной теплостойкости										
45XB3MФC (ДИ23)	max	0,52	0,60	0,60	3,20	3,60	1,10	1,80		Пуансоны прошивные и выдавливания
	min	0,45	0,30	0,50	2,50	3,00	0,80	1,50		
Высокой теплостойкости										
2X8B8M2K8	max	0,30	0,40	0,80	8,00	8,50	2,30	0,50	8,50	Пуансоны выдавливания, кольца накатки для деформирования при 650–750 МПа
	min	0,22	0,15	0,40	7,00	7,50	1,80	0,20	7,50	

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**Задание 1**

Выбрать сталь для червячных фрез, обрабатывающих конструкционные стали твердостью 220–240 НВ. Объяснить причины, по которым для этого назначения нецелесообразно использовать углеродистую инструментальную сталь У12 с высокой твердостью (63–64 HRC). Рекомендовать режим термической обработки фрез из выбранной быстрорежущей стали, приняв, что фрезы изготовлены из проката диаметром 40 мм.

Задание 2

Инструменты из быстрорежущих сталей имеют недостаточную стойкость при резании с повышенной скоростью ($> 80\text{--}100$ м/мин). Выбрать марку инструментальных сплавов, пригодных для резания с высокой скоростью сталей и чугунов. Указать состав, структуру и свойства выбранных сплавов и сопоставить их с аналогичными свойствами быстрорежущих сталей. Объяснить причины, по которым для обработки стали следует выбрать сплав иного состава, чем для обработки чугуна.

Задание 3

В распоряжении завода имеются быстрорежущие стали двух марок: вольфрамомолибденовая Р6М5 и кобальтовая Р9М4К8. Объяснить различие в основных свойствах этих сталей и рекомендовать оптимальное назначение каждой из них. Указать термическую обработку этих сталей и их структуру и свойства в готовых инструментах диаметром 20 и 60 мм.

Задание 4

Цех выполняет токарную обработку чугунных и стальных деталей с большой скоростью резания. Выбрать сплавы для резцов, обеспечивающих высокую производительность обработки стали и чугуна. Привести химический состав, структуру, твердость, прочность, теплостойкость и способ изготовления этих сплавов, а также сравнить их с аналогичными характеристиками быстрорежущей стали.

Задание 5

Машиностроительный завод изготавливает детали при различных условиях резания: резцами с большой скоростью резания обрабатывается легированная сталь, твердостью 300–350 НВ; резбовыми фрезами с умеренной скоростью – стали твердостью 200–220 НВ; плашками, диаметром 60 мм, с небольшой скоростью нарезается резьба на стали, с твердостью 120–140 НВ. Подобрать марку сплава (стали) для каждого из этих инструментов, обосновать сделанный выбор и сравнить микроструктуру и основные свойства выбранных материалов.

Задание 6

Выбрать марку легированной инструментальной стали для изготовления круглых плашек, обрабатывающих мягкую низкоуглеродистую сталь. Указать режим термической обработки и способы защиты от обезуглероживания и окисления при нагреве для закалки. Сравнить химический состав, микроструктуру, основные свойства и область применения выбранной и быстрорежущей стали.

Задание 7

Измерительные инструменты (калибры, измерительные плитки) должны обладать не только высокой твердостью и хорошим сопротивлением износу, но и не должны изменять своих размеров с течением времени. Между тем, изделия после закалки и низкого отпуска иногда обнаруживают незначительные изменения размеров во время

эксплуатации, недопустимые, однако, для измерительных инструментов большой точности. Указать причины, вызывающие эти измерения (старение), а также привести марку стали и режим термической обработки измерительных инструментов, значительно уменьшающих эффект старения.

Задание 8

Многие измерительные инструменты (формы, шаблоны, линейки, штангенциркули) изготавливают из листовой стали; они должны обладать высокой износостойкостью в рабочих кромках. Привести режим обработки, обеспечивающей получение этих свойств, если инструменты изготавливают большими партиями из сталей 15 и 20.

Задание 9

Выбрать марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сминаться в процессе работы: поэтому оно должно иметь твердость в пределах 50–55 HRC на высоту не более 30–40 мм; остальная часть топора не подвергается закалке и имеет более низкую твердость. Указать химический состав стали, режим термической обработки, обеспечивающий получение твердости в пределах 50–55 HRC, а также способ закалки, позволяющий получить эту твердость только в лезвии топора.

Задание 10

Выбрать марку стали для изготовления продольных пил по дереву и указать режим термической обработки, микроструктуру и твердость готовой пилы. Режим термической обработки выбирается таким образом, чтобы предупредить деформацию пилы при закалке и при отпуске, а также обеспечить получение в стали высоких упругих свойств после отпуска (пила должна «пружинить»).

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Задание. Стойкость сверл и фрез, изготовленных из быстрорежущих сталей умеренной теплостойкости марок P12 и P6M5 и обрабатывающих конструкционные стали твердостью 180–200 HB, была удовлетворительной. Однако стойкость этих сверл резко снизилась при обработке жаропрочной аустенитной стали.

Рекомендовать быстрорежущую сталь повышенной теплостойкости, пригодную для производительного резания жаропрочных сталей, указать ее марку и химический состав, термическую обработку и микроструктуру в готовом инструменте. Сопоставить теплостойкость сталей P12, P6M5 и выбранной стали.

РЕШЕНИЕ

Режущие инструменты для производительного резания изготавливают из быстрорежущих сталей, так как эти стали сохраняют мартенситную структуру и высокую твердость при повышенном нагреве (500–650 °C),

возникающем в режущей кромке. Однако стойкость инструментов из быстрорежущих сталей, подвергающихся оптимальной термической обработке, определяется не только их химическим составом, структурой и режимом резания, но также сильно зависит от свойств обрабатываемого материала.

При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с получаемыми при резании обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до 220–250 НВ). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов понижена. Вследствие этого тепло, выделяющееся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью, в основном же воспринимается режущей кромкой инструмента. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно возрастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемыми, мало пригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости, сохраняющие высокую твердость (58 HRC) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615–620 °С. Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые. Кобальт способствует выделению при отпуске наряду с карбидами также частиц интерметаллидов, более стойких против коагуляции, и затрудняет процессы диффузии при нагреве режущей кромки. Кобальтовые стали сохраняют твердость 58 HRC после более высокого нагрева: до 640–645 °С. Кроме того, кобальт заметно (на 30–40 %) повышает теплопроводность быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуры режущей кромки благодаря лучшему отводу тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют более высокую твердость (до 68 HRC у стали P9M4K8). Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые стали марок P12Ф4K5 или P9M4K8.

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей. Инструменты закаливают при очень высоких температурах – 1240–1250 °С для сталей P12Ф4K5 и 1230 °С для стали P9M4K8, что необходимо для растворения большего количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами: вольфрамом, молибденом, ванадием и хромом. Еще более высокий нагрев, дополнительно усиливающий перевод карбидов в раствор, недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость.

Структура стали после закалки: мартенсит, остаточный аустенит и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость – 60–62 HRC.

После закалки инструменты отпускают при 550–560 °С (3 раза по 60 мин). Отпуск вызывает выделение дисперсных карбидов и интерметаллидов из мартенсита (дисперсионное твердение), что повышает твердость до 66–69 HRC, превращает мягкую составляющую – остаточный аустенит в мартенсит, снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

После отпуска инструменты шлифуют и подвергают карбонитрации в жидкой ванне состава: 80 % KCN и 20 % K₂CO₃, при 550–560 °С с выдержкой от 5 до 30 мин в зависимости от вида размера инструмента. Твердость слоя карбонитрации на глубину 0,02–0,05 мм достигает 69–70 HRC; заметно (на 50 °С) возрастает теплостойкость. При нагреве для карбонитрации снимаются также напряжения, вызванные шлифованием. Карбонитрация повышает стойкость инструментов в 2–4 раза. После карбонитрации целесообразно проведение оксидирования при 140 °С в щелочном растворе или при 300 °С в расплаве щелочей. Оксидирование придает инструментам черный цвет и несколько лучшую стойкость против воздушной коррозии.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Наименование работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Содержание задания.
4. Решение задания по образцу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы критерии выбора сталей для изготовления режущих инструментов?
2. Каков, по вашему мнению, механизм изнашивания режущих кромок инструмента для обработки металлов и сплавов?
3. Как указывается в марке быстрорежущей стали содержание легирующих элементов?
4. Какой легирующий элемент определяет высокую износостойкость быстрорежущих сталей?
5. Почему целесообразна многостадийная, а не одностадийная термическая обработка режущего инструмента?
6. Каким образом замедляют процессы старения сталей, используемых для изготовления измерительного инструмента?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. Материаловедение и технология металлов / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – 640 с.

МГТУ им. И.П.Шамякина

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ (ЗАКАЛКА И ОТПУСК)

Цель работы: ознакомление с термической обработкой конструкционной и инструментальной сталей; изучение влияния закалки и отпуска на механические свойства стали.

Оборудование, материалы и инструменты: муфельные печи с термоэлектрическими термометрами, сосуды (ванночки) с охлаждающей жидкостью – водой и минеральным маслом, твердомеры ТШ-2М и ТК-2М, образцы сталей, штангенциркуль, наждачная бумага, щипцы для закладки образцов в печь и выемки их из печи.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Термической обработкой стали называется технологический процесс, состоящий из нагрева стали до определенной температуры, выдержки и последующего охлаждения с заданной скоростью. При термической обработке получают необходимые свойства стали, изменяя ее структуру без изменения состава. Основные виды термической обработки – отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжигом стали называют термическую обработку, при которой доэвтектоидную сталь нагревают на 30–50 °С (рисунок 8.1) выше критической точки A_3 , заэвтектоидную – выше A_1 , и после выдержки дают медленное охлаждение вместе с печью. При этом получают наиболее равновесные структуры: феррит с перлитом, перлит или перлит с цементитом. Основное назначение отжига – перекристаллизация зерна стали, снижение твердости и снятие внутренних напряжений.

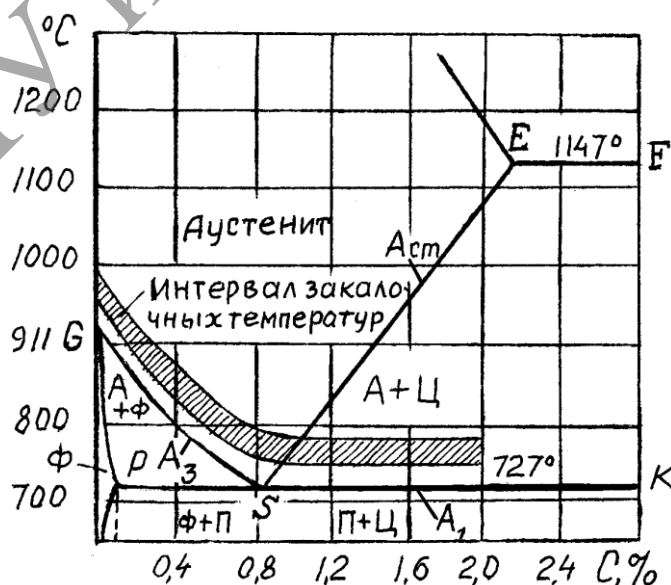


Рисунок 8.1. – Левый угол диаграммы железо-цементит

Нормализацией стали называют нагрев доэвтектоидных сталей выше критической точки A_3 , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей – выше критической точки A_{CT} на 30–50 °С с непродолжительной выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. После нормализации углеродистые стали имеют более мелкодисперсную структуру, так как распад аустенита происходит при больших степенях переохлаждения. Цель нормализации – перекристаллизация зерна стали, снятие внутренних напряжений, подготовка стали к дальнейшей пластической деформации, механической или термической обработке. Нормализация – дешевый и простой вид термической обработки для сталей, содержащих менее 0,5–0,6 % С; при подготовке таких сталей при обработке резанием можно заменять отжигом.

Закалкой называется термообработка, заключающаяся в нагреве доэвтектоидных сталей выше критической точки A_3 , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей выше критической точки A_1 на 30–50 °С, выдержке при данной температуре и последующем быстром охлаждении со скоростью, больше критической (минимальная скорость охлаждения, обеспечивающая превращение переохлажденного аустенита в мартенсит). При скорости охлаждения, больше критической, углерод не успевает выделиться из кристаллической решетки (в соответствии с ее перестройкой из γ -железа в α -железо), в результате получается однофазный перенасыщенный твердый раствор углерода в α -железе, который получил название мартенсит. Закалка не является окончательной операцией термической обработки. Чтобы уменьшить хрупкость и напряжения, вызванные закалкой, и получить требуемые механические свойства, сталь после закалки обязательно подвергают отпуску. В зависимости от температуры нагрева стали различают полную и неполную закалку.

Выбор температуры закалки. Температуру нагрева для закалки углеродистых сталей определяют по диаграмме интервалов закалочных температур (рисунок 8.1).

Полная закалка – нагрев стали на 30–50 °С выше критической точки A_3 с последующим охлаждением со скоростью, больше критической. Структура стали при этом состоит из мелкоигльчатого мартенсита, а в сталях с содержанием углерода более 0,6 %, кроме мартенситных, имеется небольшое количество остаточного аустенита. Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. При нагреве доэвтектоидных сталей между линиями A_1 и A_3 получается структура, состоящая из аустенита и феррита, поэтому после закалки структура стали состоит из мартенсита и феррита. Такая закалка называется неполной. Наличие феррита ведет к снижению твердости закаленной стали и не вызывает заметного увеличения ударной вязкости. Подобный технологический процесс термической обработки – брак в производстве.

Перегрев стали, т. е. нагрев ее до температур, превышающих температуры критической точки A_3 на 150–200 °С, вызывает рост зерна аустенита, что увеличивает склонность стали к появлению деформации и образованию трещин при закалке. Структура такой стали состоит из крупногальчатого мартенсита и обладает пониженной ударной вязкостью.

Однако для многих высоколегированных сталей температура нагрева под закалку значительно превышает критические точки A_1 и A_3 (на 150–250 °С), что необходимо для перевода в твердый раствор специальных карбидов и получения требуемой легированности аустенита. Это повышение температуры не ведет к заметному росту зерна, так как нерастворенные частицы карбидов тормозят рост зерна аустенита.

Неполная закалка применяется для заэвтектоидных сталей и состоит из нагрева на 30–50 °С выше критической точки A_1 , последующей выдержки и охлаждения со скоростью, больше критической. Структура заэвтектоидной стали после неполной закалки состоит из мартенсита, вторичного цементита и остаточного аустенита. Цементит обладает высокой твердостью и не снижает твердости закаленной стали; аустенит, наоборот, мягче мартенсита и снижает общую твердость. Закалка заэвтектоидных сталей выше критической точки A_{CT} ведет к получению крупногальчатого мартенсита с большим количеством остаточного аустенита. Такая структура создает в стали повышенные внутренние напряжения, ведет к короблению, появлению трещин и понижению ударной вязкости.

Общее время нагрева под закалку, равное времени нагрева и времени выдержки при температуре закалки, определяется по таблице 8.1.

Таблица 8.1. – Ориентировочное время нагрева образца под закалку в лабораторных электрических печах

Температура нагрева, °С	Время нагрева образца различного сечения, с		
	круглого	квадратного	прямоугольного
600	100...200	160...180	220...240
700	80...90	120...130	170...180
800	50...60	80...90	110...120
900	40...45	60...65	85...90
1000	20...25	30...35	50...55

Охлаждение при закалке должно обеспечить получение структуры мартенсита в пределах заданного сечения изделия (определенную прокаливаемость) и не должно вызывать закалочных дефектов: трещин, деформаций, коробления.

Обычно для охлаждения применяется вода с температурой 20 °С и ниже. Орошение изделия водой под давлением или использование слабо подсоленной воды действует более резко.

Вода как охлаждающая среда имеет существенные недостатки. Высокая скорость охлаждения в области температур мартенситного превращения нередко приводит к образованию закалочных дефектов. Наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью отличаются холодные 8–12%-ные водные растворы NaCl и NaOH, которые хорошо зарекомендовали себя на практике.

Масло как закалочная среда характеризуется небольшой скоростью охлаждения в мартенситном интервале температур, что уменьшает возникновение закалочных дефектов. К недостаткам следует отнести повышенную воспламеняемость (температура вспышки 165–300 °С), недостаточную стабильность и низкую охлаждающую способность в области температур перлитного превращения, а также повышенную стоимость.

В зависимости от марки стали, формы и размеров деталей, а также технических требований применяют следующие виды закалки:

- в одном охладителе (непрерывная закалка),
- прерывистую (в двух средах),
- ступенчатую,
- изотермическую,
- закалку с самоотпуском.

Чтобы снять внутренние напряжения, сохранив при этом достаточную твердость, и повысить пластичность, изделие подвергают отпуску.

Отпуском называется нагрев закаленной стали до температуры ниже критической точки A_{c1} , выдержка при этой температуре с последующим охлаждением (обычно на воздухе). Отпуск является окончательной термической обработкой, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства.

Закаленная на мартенсит сталь, имея высокую твердость, характеризуется низкими ударной вязкостью, пластичностью и пределом упругости, высокими внутренними напряжениями и поэтому мало пригодна для использования.

При отпуске изменяются структура закаленной стали (как результат диффузионных процессов) и ее свойства: повышается ударная вязкость, предел упругости, пластичность, снижаются внутренне напряжения и твердость. Отпущенная сталь по сравнению с неотпущенной менее напряжена и хрупка. Температуру отпуска выбирают исходя из требуемой прочности конкретной детали.

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный.

При низкотемпературном отпуске закаленную сталь нагревают до 150–250 °С. Структура закаленной стали до отпуска состоит из тетрагонального мартенсита и остаточного аустенита, причем остаточный

аустенит характерен для высокоуглеродистых сталей. В процессе низкого отпуска атомы углерода диффундируют из решетки тетрагонального мартенсита и образуют высокодисперсный карбид железа. Концентрация углерода в решетке мартенсита постепенно снижается, что приводит к снижению тетрагональности мартенсита. При этом образуется отпущенный мартенсит, представляющий собой совокупность пересыщенного твердого раствора углерода в α -железе и высокодисперсного, не отделившегося от него, карбида железа. Такая структура обеспечивает почти ту же твердость и износостойкость, как и после закалки, но при этом снижаются остаточные напряжения, повышается ударная вязкость и пластичность.

Низкотемпературному отпуску подвергают режущий измерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали, претерпевшие поверхностную закалку, цементацию, цианирование или нитроцементацию.

При среднетемпературном отпуске закаленную сталь нагревают до 350–500 °С. В указанном интервале температур завершается диффузионное превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит, карбиды полностью обособляются от решетки мартенсита, укрепляется карбидно-ферритная смесь и наблюдается дальнейшее снижение твердости. Завершается диффузия углерода из мартенсита, и уменьшаются остаточные напряжения. Структура среднеотпущенной стали состоит из троостита отпуска, представляющего собой мелкодисперсную смесь феррита с цементитом. В результате среднетемпературного отпуска сталь приобретает повышенную прочность и упругость при твердости стали 40–50 HRC. Среднему отпуску подвергают пружины, рессоры, ударный инструмент – зубила, штампы и др.

При высокотемпературном отпуске закаленную сталь нагревают до 500–680 °С. Процесс сопровождается укрупнением и округлением цементитных частиц в ферритной основе. С укрупнением цементита понижаются твердость (до 25–30 HRC) и внутренние напряжения, а пластичность и ударная вязкость значительно возрастают. В результате высокого отпуска получается структура, называемая сорбитом отпуска. Высокому отпуску подвергают детали, испытывающие ударные и знакопеременные нагрузки: шатуны двигателей, полуоси, оси автомобилей и тракторов, болты, валы и многие другие детали. Закалку с последующим высоким отпуском часто называют улучшением стали.

Время выдержки при отпуске зависит от температуры отпуска и размера деталей. Оно должно быть достаточным для завершения процессов диффузии в закаленной стали. Время выдержки при отпуске особенно легированных сталей несколько больше времени выдержки при нагреве под закалку. При низких температурах выдержка больше, чем при высоких. Охлаждение углеродистых сталей после отпуска можно

проводить с любой скоростью, поскольку оно не вызывает в стали каких-либо дополнительных структурных превращений (температура нагрева ниже A_{C1} , ниже фазовых превращений). Однако чрезмерно быстрое охлаждение может вызвать образование термических напряжений (особенно в деталях сложной формы). Поэтому обычно охлаждение производят на воздухе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАКАЛКИ

1. Определите твердость образцов в исходном состоянии прибором ТШ-2М и произведите пересчет на твердость по шкале HRC.
2. Определите температуру закалки стали, пользуясь для этого нижней частью диаграммы железо-цементит (таблица 8.1).
3. Определите время нагрева образцов в печи (таблица 8.1).
4. Образцы конструкционной стали поместите в муфельную печь, нагретую до выбранной температуры, а образцы из инструментальной стали – в другую муфельную печь, нагретую до выбранной температуры.
5. Выдержите образцы в печах нужное время.
6. Образцы конструкционной стали выньте щипцами последовательно один за другим из печи и охладите один в воде, а другой – в масле. То же самое сделайте с образцами из инструментальной стали.
7. Измерьте твердость закаленных образцов на приборе Роквелла.
8. Полученные данные занесите в протокол испытаний.

Протокол термической обработки углеродистой стали. Закалка

Марка стали	Диаметр или толщина образца, мм	Твердость в исходном состоянии		Режим нагрева под закалку			Твердость образца после закалки, HRC	
		HB	HRC	Температура, °C	Продолжительность, с		в воде	в масле
					нагрева	выдержки		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое закалка?
2. С какой целью проводится закалка?
3. Что представляет собой мартенсит?
4. Каков механизм образования мартенсита?
5. Что такое критическая скорость закалки?

6. Как выбирается температура нагрева под закалку?
7. От чего зависит время нагрева образца под закалку?
8. Для чего назначается выдержка образца в печи при заданной температуре?
9. Как выбирается скорость охлаждения при закалке?
10. На диаграмме Fe-Fe₃C покажите температуры закалки доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей. Почему нагрев выполняют до этих температур?
11. Каким требованиям должны отвечать закалочные жидкости? Какие применяют жидкости для закалки, каковы их достоинства и недостатки?

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОТПУСКА

1. Изучите теоретические положения о влиянии вида отпуска на структуру и свойства стали.
2. Определите время выдержки образцов углеродистой стали из расчета 2-3 минуты на 1 мм диаметра или толщины изделия.
3. Проведите низкий отпуск. Замерьте твердость образцов на приборе Роквелла.
4. Проведите средний отпуск. Замерьте твердость образцов на приборе Роквелла.

Протокол термической обработки углеродистой стали. Отпуск

Марка стали	Содержание углерода, %	Режим отпуска		Твердость образца после отпуска		
		Температура, °C	Продолжительность, с		HRC	HB
			нагрева	выдержки		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое отпуск? Виды и его назначение?
2. Как влияет скорость охлаждения после отпуска на величину остаточных напряжений?
3. Какая окончательная структура после отпуска должна быть у стальных деталей машин типа валики, кронштейны и т. д.? Как получить такую структуру?
4. В чем различие структур сорбит отпуска, сорбит закалки, тростит отпуска, тростит закалки?
5. Что такое улучшение?

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткие теоретические сведения.
2. Часть диаграммы железо–цементит с указанием температур закалки стали.
3. Протоколы результатов испытаний.
4. Построенный график зависимости твердости от температуры отпуска.
5. Выводы о проделанной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Metallurgia, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – 640 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучение микроструктуры цветных сплавов.

Оборудование и материалы: металлографический микроскоп, шлифы, реактивы для травления шлифов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Все металлы и их сплавы, за исключением железа и его сплавов, относятся к цветным. Наибольшее значение имеют медь, алюминий, магний, цинк, свинец, олово, никель и их сплавы.

Сплавы меди. Латунь. Сплавы меди с цинком и небольшим количеством других элементов называются латунями. Сплавы, состоящие только из меди и цинка, называются простыми латунями. Сплавы меди с цинком образуют ряд фаз, представляющих собой твердые растворы или электронные соединения (рисунок 9.1). На диаграмме заштрихованные области относятся к латуням, которые редко или совсем не применяются как технические сплавы. Незаштрихованная область, охватывающая сплавы с содержанием цинка до 45 %, относится к практически применяемым латуням [1].

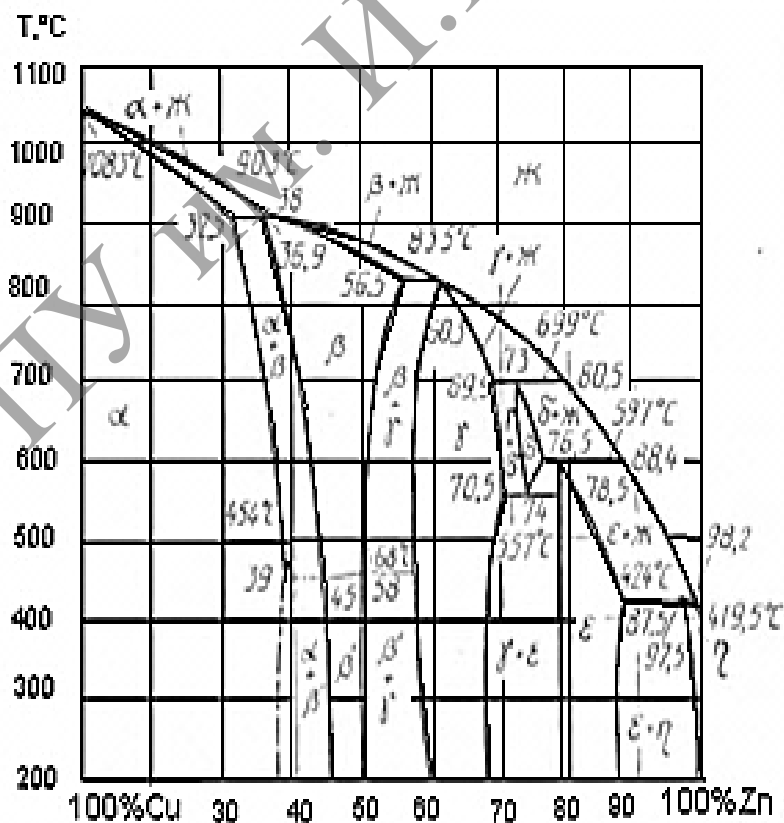


Рисунок 9.1. – Диаграмма состояния системы Cu-Zn

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Несмотря на то, что цинк был открыт только в XVI веке, латунь была известна уже древним римлянам. Они получали её, сплавляя медь с галмеем, то есть с цинковой рудой. Путём сплавления меди с металлическим цинком, латунь впервые была получена в Англии, этот метод 13 июля 1781 года запатентовал Джеймс Эмерсон (британский патент № 1297). В XIX веке в Западной Европе и России латунь использовали в качестве поддельного золота.

Во времена Августа в Риме латунь называлась «аурихалк», из которой чеканились сестерции и дупондии. Аурихалк получил название от цвета сплава, похожего на цвет золота [5].

Диаграмма состояния показывает, что при концентрациях до 39 % образуется α -фаза – твердый раствор замещения цинка в меди, имеющий решетку куба с центрированными гранями. С повышением температуры растворимость цинка в меди уменьшается.

β -фаза представляет собой твердый раствор на базе электронного соединения CuZn и имеет решетку центрированного куба. $\beta \rightarrow \beta'$ – фаза

распространяется на область сплавов, содержащих от 46 до 50 % Zn. CuZn может в себе растворять Cu и Zn. Это и означает, что β -раствор получается на базе соединения CuZn [1].

По структурному признаку практически применяемые латуни могут быть разделены на два типа.

Однофазные α -латуни, содержащие до 39 % Zn. Эти латуни обладают наибольшей пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состояниях, коррозионностойки; к α -латуням относятся медно-цинковые латуни марок: Л96, Л90, Л80, Л68. Структура их состоит из зерен α -раствора (рисунок 9.2).

Двухфазные $\alpha + \beta'$ -латуни, содержащие от 39 до 45 % Zn. Двухфазные латуни обладают пониженной пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, если они переведены в однофазное β -состояние. К двухфазным относятся латуни Л62 и Л59. Структура их при комнатной температуре состоит из светлых зерен α -раствора и темных включений β' -фазы (рисунок 9.3).



Рисунок 9.2. – Микроструктура однофазной латуни (30 % Zn). Травление солянокислым раствором хлорного железа; $\times 250$

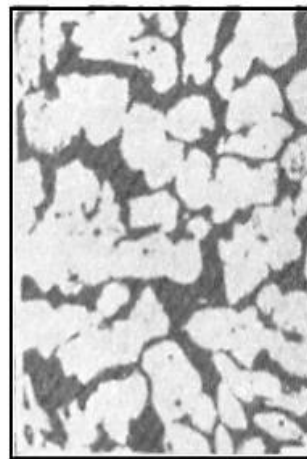


Рисунок 9.3. – Микроструктура двухфазной латуни (40 % Zn). Травление солянокислым раствором хлорного железа; $\times 250$

Для повышения механических, коррозионных и других свойств в латуни вводят легирующие элементы: кремний, марганец и алюминий, которые не образуют новых фаз, так как они находятся в растворе в α - и β -фазах. Для улучшения обрабатываемости резанием в двухфазные латуни вводят свинец [2].

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Традиционную оловянную бронзу человек научился выплавлять ещё в начале Бронзового века, и очень длительное время она широко использовалась; даже с приходом века железа бронза не утрачивала своей важности (в частности, вплоть до XIX века пушки изготавливались из пушечной бронзы) [6].

Название «бронза» происходит от итал. bronzo, которое, в свою очередь, вероятно, произошло либо от персидского слова «berenj», означающего «медь», либо от названия города Бриндизи, из которого этот материал доставлялся в Рим.

Плотность бронзы в зависимости от марки (и включения примесей) составляет 7800–8700 кг/м³; температура плавления 930–1140 °С.

α -фаза – это твердый раствор замещения олова в меди, имеющий кубическую гранецентрированную решетку; β -фаза – твердый раствор на базе электронного соединения Cu_3Sn , имеющий кубическую гранецентрированную решетку; γ -фаза – твердый раствор на базе химического соединения $Cu_{31}Sn_8$.

На диаграмме состояния в области сплавов, содержащих до 20 % Sn, сплошные линии характеризуют состояние, полученное при очень медленном охлаждении или отжиге отливки; пунктирные линии – состояние, полученное при более быстром охлаждении в условиях обычной отливки.

При медленном охлаждении структура оловянистых бронз, содержащих 4–6 % Sn, будет состоять из зерен раствора и участков механической смеси $\alpha + Cu_{31}Sn_8$ или $\alpha + Cu_3Sn$ (рисунок 9.5). Для того чтобы получить зерна однородного раствора в виде полиэдров, необходимо литую бронзу подвергнуть обработке давлением и отжигу. Бронзы, содержащие 7–10 % Sn, используются обычно для отливок.

Бронзы. Сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, кремнием, бериллием и другими элементами называются бронзами.

Оловянистые бронзы. Медь с оловом образует ряд фаз, представляющих собой твердый раствор. Часть диаграммы состояния Cu-Sn, представляющая наибольший интерес при изучении оловянистых бронз, приводится на рисунке 9.4:

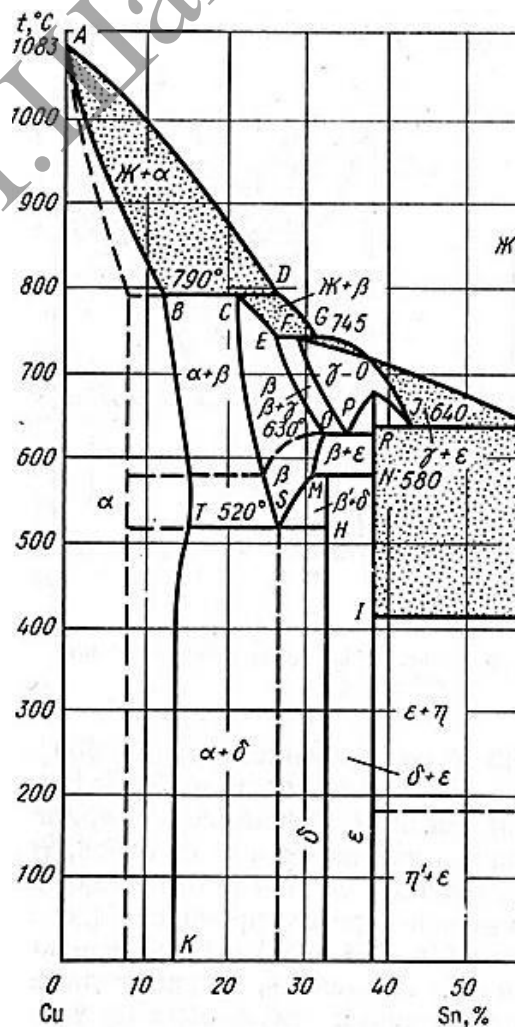


Рисунок 9.4. – Часть диаграммы состояния медь-олово



Рисунок 9.5. –
Микроструктура
однофазной оловянистой
бронзы (5 % Sn).
Травление хлористой меди
и аммония; x 250

Цинк, фосфор и никель, вводимые в оловянистую бронзу, улучшают ее свойства и увеличивают количество эвтектоида, но не образуют новых фаз, т. к. эти элементы находятся в твердом растворе. Свинец, вводимый в оловянистую бронзу и нерастворимый в меди, улучшает обрабатываемость резанием. Оловянистые бронзы применяются для изготовления зубчатых колес, подшипников и арматуры, работающей в воде или паре.

Алюминиевые бронзы. Часть диаграммы состояния практически используемых сплавов Cu-Al приводится на рисунке 9.6. Сплавы, содержащие до 9,8 % Al, при медленном охлаждении образуют α -фазу – однородный твердый раствор алюминия в меди, и, следовательно, являются однофазными (рисунок 9.7). При увеличенных скоростях

охлаждения в сплавах, содержащих до 7–10 % Al, не успевает произойти превращение $\beta \rightarrow \alpha$, и остающийся β -раствор при 537 °C распадается с образованием механической смеси (эвтектоида) $\alpha + \beta$. Эти сплавы хорошо деформируются в холодном и горячем состояниях.

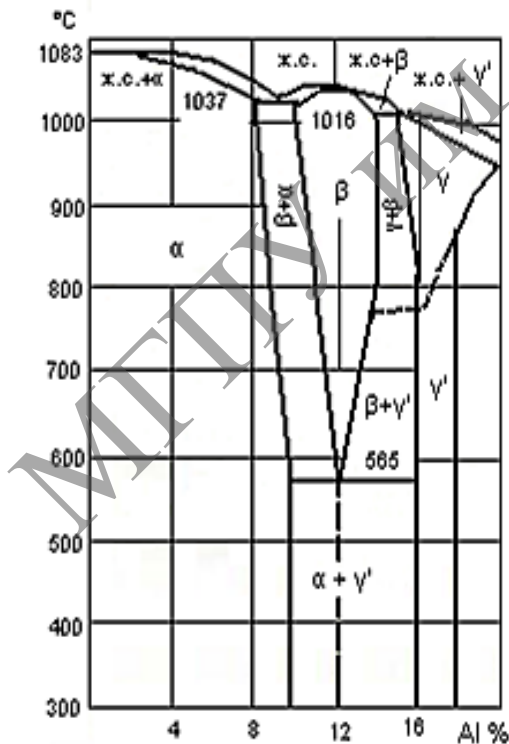


Рисунок 9.6. – Фрагмент диаграммы
сплавов Cu-Al

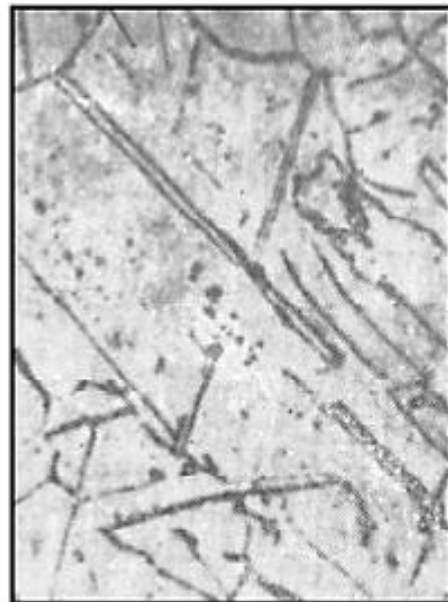


Рисунок 9.7. – Микроструктура
однофазной алюминиевой бронзы
(5 % Al). Травление солянокислым
раствором хлорного железа; x 250

Сплавы, содержащие 9,8–15,2 % Al, состоят из зерен α -раствора и участников эвтектоида $\alpha + \beta$ и являются двухфазными сплавами. После травления кристаллы α -раствора будут светлыми, а эвтектоид – темным (рисунок 9.8).

Двухфазные алюминиевые бронзы подвергаются термической обработке, закалке и отпуску. После закалки сплав приобретает структуру типа мартенсита, состоящую из игольчатых кристаллов β' -фазы (рисунок 9.9). После отпуска структура сплава будет состоять из тонкой механической смеси фаз.

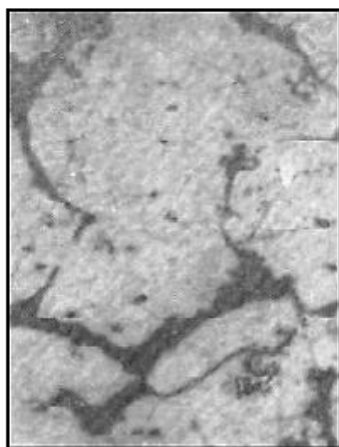


Рисунок 9.8. – Микроструктура двухфазной алюминиевой бронзы (10 % Al). Травление солянокислым раствором хлорного железа; $\times 250$



Рисунок 9.9. – Микроструктура закаленной алюминиевой бронзы (10,5 % Al); $\times 250$

Двухфазные алюминиевые бронзы обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью по сравнению с однофазными и применяются для тяжело нагруженных изделий [3].

Никель и марганец, вводимые в алюминиевую бронзу, не создают новых фаз, введение железа приводит к созданию богатой железом фазы.

Сплавы алюминия. Алюминий с медью, магнием, кремнием, цинком и другими элементами образует ряд технических сплавов, обладающих лучшими свойствами, чем чистый алюминий, и широко применяющихся в промышленности. Для упрощения алюминиевые сплавы изучают на основе двойных систем: Al-Cu, Al-Si, Al-Mg и др.

В этих системах сплавы разделяются на *деформируемые* и *литейные*.

К *деформируемым* относятся сплавы, состоящие в равновесном состоянии из твердого раствора с небольшим количеством других фаз или из одного твердого раствора и обладающие повышенной пластичностью.

Ряд компонентов, входящих в алюминиевые сплавы указанных выше систем, с алюминием образуют ограниченные твердые растворы переменной концентрации. С понижением температуры растворимость

компонента уменьшается, и из двойных твердых растворов выделяются кристаллы избыточной фазы. В системе Al-Cu такой избыточной фазой является CuAl_2 (рисунок 9.10), в системе Al-Si – кристаллы Si (рисунок 9.11), в системе Al-Mg – кристаллы Al_3Mg_2 .

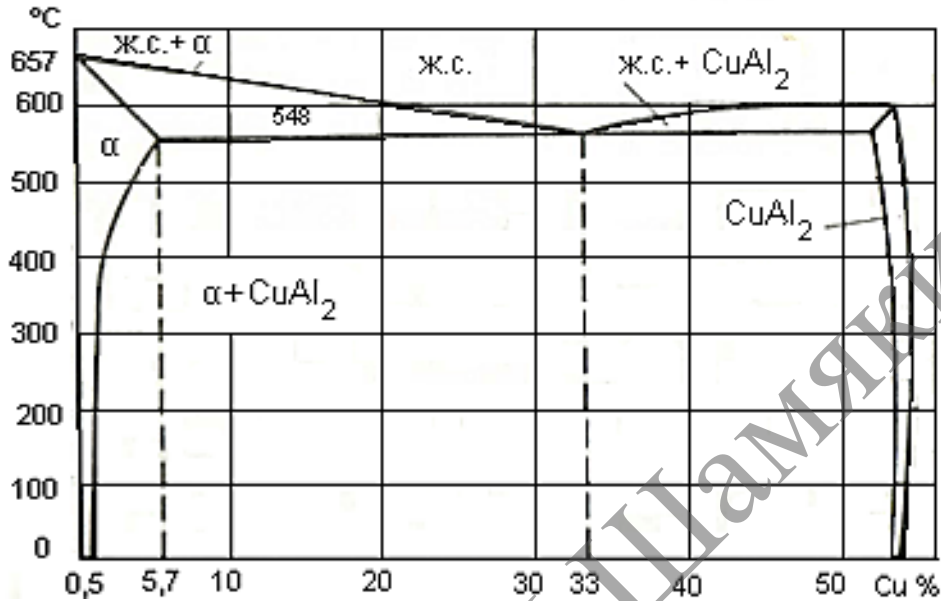


Рисунок 9.10. – Часть диаграммы состояния алюминий–медь

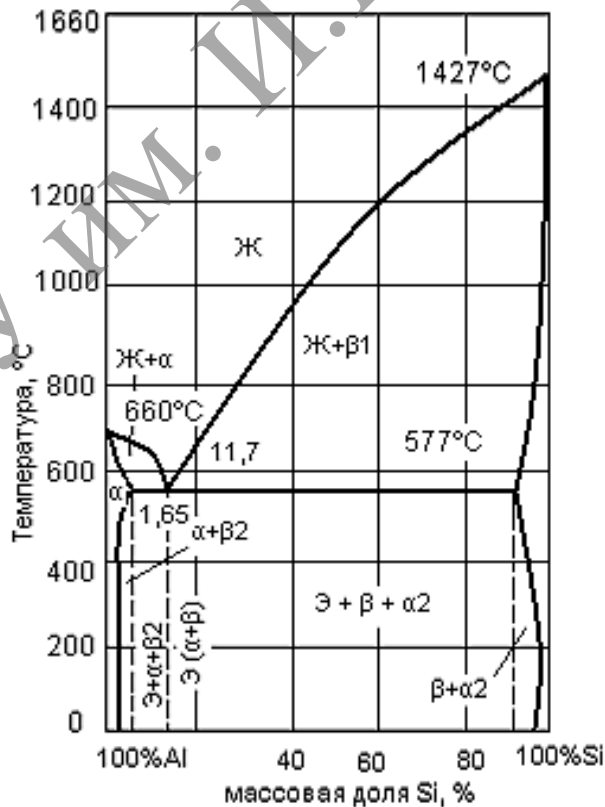


Рисунок 9.11. – Диаграмма состояния алюминий–кремний

Сплавы на основе Al-Cu представляют наиболее многочисленную группу и получили самое широкое распространение. В этой системе, в свою очередь, различают сплавы *деформируемые и литейные*. Из деформируемых нашли применение сплавы марок АК2, АК4, АК6, АК8 и дюралюмины марок Д1, Д6, Д16, Д18, ДЗП, обладающие высокой прочностью и достаточно высокой пластичностью. В состав дюралюминия входят следующие элементы: медь, магний, марганец и кремний, которые с алюминием и между собой образуют химические соединения, обладающие переменной растворимостью в алюминии.

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Фирменное название дюраль (Dural®) в русском языке стало по преимуществу разговорным и профессионально-жаргонным. Иногда встречаются также старая (основная до 1940-х) форма дуралюминий и англоязычные варианты дуралюмин, дюралюмин. Название происходит от немецкого города Дюрэн, нем. Düren, где в 1909 году было начато его промышленное производство [7]. Дюралюминий разработан германским инженером-металлургом Альфредом Вильмом (Alfred Wilm), сотрудником металлургического завода Dürener Metallwerke AG.

Дюралюмины подвергают отжигу, закалке и старению. В дюралюминии после медленного охлаждения будут присутствовать фазы: α -твердый раствор на базе алюминия (основа); химическое соединение Mg_2Si ; W-фаза и N-фаза (Cu_2AlFe) (рисунок 9.12).

После травления в NaOH или HF-W фаза – будет светло-серого цвета, а фаза N – в виде темных образований. Фазы – Mg_2Si и – W в структурных превращениях вызывают упрочнение сплава при термической обработке.

Термическая обработка дюралюминия состоит в закалке и естественном или искусственном старении. При нагреве фазы-упрочнители (Mg_2Si и W) растворяются в α -твердом растворе и структура сплава при этих температурах оказывается однофазной. Последующее быстрое охлаждение в воде позволяет зафиксировать этот пересыщенный однофазный твердый раствор (рисунок 9.13). В закаленном состоянии дюралюминий мягок, пластичен и легко деформируется.

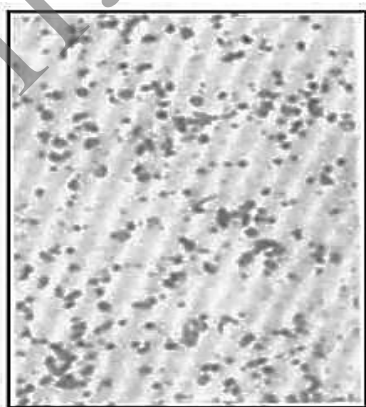


Рисунок 9.12. – Микроструктура отожженного дюралюминия; x 250. Травление раствором кислот

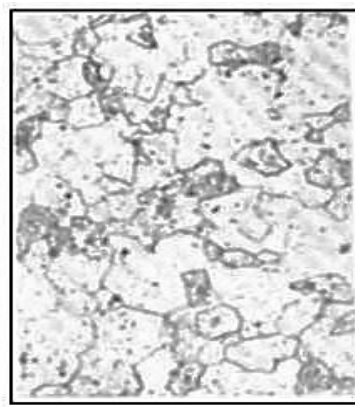


Рисунок 9.13. – Микроструктура закаленного дюралюминия; x 250. Травление раствором кислот

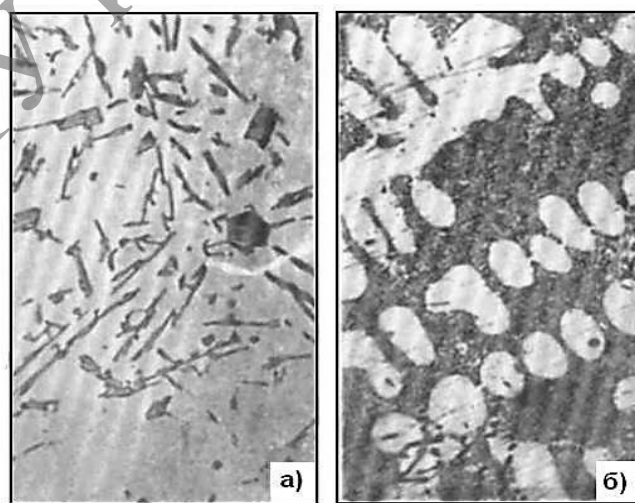
После закалки и естественного старения структура сплава остается такой же, как и после закалки, т.к. происшедшие в процессе старения структурные изменения не могут быть обнаружены в оптическом микроскопе.

Литейные сплавы на основе Al-Cu применяют следующих марок: АЛ1, АЛ7, АЛ12, В195. Эти сплавы подвергают термической обработке для повышения механических свойств [4].

Сплавы на основе Al-Si называются силуминами. Они содержат от 5 до 14 % Si, применяются в литом виде. Простые силумины, состоящие только из Al и Si, практически термической обработкой не упрочняются, несмотря на существование переменной растворимости Si в Al, т.к. Si растворяется в Al крайне незначительно (при 200 °С – 0,05 %, при 500 °С – 0,8 %). К таким сплавам относится силумин марки АЛ2.

Силумины, содержащие менее 10–12 % Si, обладают пониженными литейными свойствами и меньшей прочностью, поэтому их упрочняют введением меди и магния. Медь с алюминием образует ограниченный твердый раствор и химическое соединение CuAl_2 . Магний с медью также образует ограниченные твердые растворы, из которых выделяется упрочняющая фаза Mg_2Si . Эти сплавы называются специальными силуминами, и их можно успешно подвергать термической обработке. К ним относятся силумины марок АЛ4, АЛ5, АЛ9 и АЛ10.

Структура сплавов, содержащих до 11,3 % Si, состоит из кристаллов первичного α -твердого раствора кремния в алюминии и эвтектики алюминия и кремния (рисунок 9.14 а). Структура сплавов, содержащих более 11,3 % Si, будет состоять из первичных кристаллов кремния и эвтектики. Выделения кремния являются крупными, поэтому для измельчения их сплав модифицируют натрием (рисунок 9.14 б).



а – немодифицированного; б – модифицированного; х 250

Рисунок 9.14. – Микроструктура силумина (10 % Si)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выбрать реактив для травления шлифов и протравить их.
2. Настроить микроскоп на увеличение в 100 раз и установить исследуемый образец на предметный столик микроскопа.
3. Зарисовать видимую под микроскопом структуру, указать стрелками различные структурные составляющие (фазы) и написать увеличение. Перечислить структурные составляющие (или фазы), присутствующие в сплаве, и описать форму их выделения (зернистая, игольчатая форма, по границам зерен). Указать, к какой группе относится сплав – к однофазным или двухфазным.
4. Указать положение изучаемого сплава на диаграмме состояния.
5. Объяснить различия в свойствах латуней и бронз в зависимости от структуры этих сплавов.
6. Оформить отчет и сдать преподавателю на проверку.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткая характеристика сплавов меди и алюминия.
4. Диаграммы состояния медных и алюминиевых сплавов.
5. Микроструктуры сплавов меди и алюминия с указанием фаз и структурных составляющих.
6. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему чистые медь и алюминий не находят широкого применения как конструкционные материалы?
2. Какие виды сплавов на основе меди вы знаете? Назовите марки этих материалов.
3. Как влияет концентрация цинка на свойства латуней?
4. Какова структура двухфазной бронзы?
5. С использованием диаграммы состояния алюминий-медь объясните микроструктуру и процессы, протекающие при охлаждении и нагревании подобных сплавов.
6. Какие сплавы называются силуминами? Расскажите о видах силуминов и методах термической обработки.
7. Из каких микроструктурных составляющих состоит отожженный дюралюминий?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – С. 408–417.

2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : *Металлургия*, 1984. – С. 321–327.

3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : *Омега – Л.*, 2006. – С. 714–718.

4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : *Высш. школа*, 2001. – С. 180–204.

5. *Свободная энциклопедия «Википедия»* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Латунь>. – Дата доступа: 23.10.2019.

6. *Свободная энциклопедия «Википедия»* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Бронза>. – Дата доступа: 23.10.2019.

7. *Свободная энциклопедия «Википедия»* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Дюралюминий>. – Дата доступа: 23.10.2019.

МГТУ им. И.П.Шамшуркина

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ НА ОСНОВЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: научиться подбирать материал для изготовления деталей; виды и режим термической обработки для улучшения механических свойств; сравнивать механические свойства выбранного сплава с механическими свойствами стали.

Оборудование и материалы: учебные пособия, справочники, натуральные образцы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Медь – высокопластичный металл (δ – 50...60 %) с низким пределом прочности ($\sigma_{\text{в}} = 200...240$ МПа), который может быть повышен до 400–450 МПа за счет холодного деформирования. Пластичность при этом снижается до 2–5 %. Исходные значения свойств могут быть восстановлены отжигом при 600–700 °С. Дальнейшее повышение прочности меди достигается введением специальных добавок (например, 0,8–1 % кадмия) [1].

По способу изготовления деталей медные сплавы подразделяются на *деформируемые и литейные*. Из деформируемых изготавливают листы, ленты, трубы, полуфабрикаты различного профиля. Из литейных сплавов методом литья в формы получают фасонные детали и художественные изделия.

Медные сплавы обладают высокими механическими и технологическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии. Большая часть медных сплавов не подвергается упрочняющей термической обработке либо потому, что они однофазны, либо потому, что эффект упрочнения очень мал. Твердость и прочность медных сплавов могут быть повышены в 1,5–3 раза за счет наклепа, который при необходимости может быть снят частично или полностью отжигом (600–700 °С).

Медные сплавы подразделяются на *латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы*.

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

- Медь – один из первых металлов, широко освоенных человеком из-за сравнительной доступности для получения из руды и малой температуры плавления. Он входит в семью металлов, известных человеку с очень древних времён. Этот металл встречается в природе в самородном виде чаще, чем золото, серебро и железо.

Латинское название меди *Cuprum* (древн. *Aes cuprium*, *Aes cuprium*) произошло от названия острова Кипр.

У Страбона медь именуется халкосом, от названия города Халкиды на Эвбее. От этого слова произошли многие древнегреческие названия медных и бронзовых предметов, кузнечного ремесла, кузнечных изделий и литья. Второе латинское название меди *Aes* (санскр. *ayas*, готское *aiz*, герм. *erz*, англ. *ore*) означает руда или рудник.

Славянское **měďь* «медь» не имеет чёткой этимологии, возможно, исконное слово. В. И. Абаев предполагал происхождение слова от названия страны Мидия: **Мѣдь* из ир. *Māda* – через посредство греч. *Μηδία* [5].

Латуни подразделяются на однофазные (α -латуни) и двухфазные ($\alpha + \beta'$). Однофазные латуни характеризуются высокой пластичностью. β' -фаза очень хрупкая и твердая, поэтому двухфазные латуни имеют более высокую прочность и меньшую пластичность, чем однофазные.

Большинство латуней обрабатывается давлением. Особенно пластичны однофазные латуни. Они деформируются при низких и высоких температурах. Однако в интервале 300–700 °С существует зона хрупкости, поэтому при таких температурах латуни не деформируют.

Двухфазные латуни пластичны при нагреве выше температуры превращения, особенно выше 700 °С, когда их структура становится однофазной (β -фаза).

Для повышения механических свойств и химической стойкости латуней в них часто вводят легирующие элементы: алюминий, никель, марганец, кремний и т. д.

Олово, марганец и алюминий увеличивают прочность и коррозионную стойкость (так называемые «морские латуни»). Кремний повышает твердость и прочность, улучшает литейные свойства.

Основным видом термической обработки латуней является смягчающий отжиг перед пластическим деформированием при 600–700 °С с медленным охлаждением. Такая обработка способствует увеличению доли пластической α -фазы в структуре латуней. Если требуется повышение прочности и твердости латуней, увеличение доли β -фазы охлаждения с указанных температур следует вести ускоренно (воздух, вода). При охлаждении в воде от изделий отстает окалина, что улучшает их товарный вид.

Отрицательным свойством латуней, содержащих более 20 % Zn, и особенно более 30 % Zn, является их склонность к растрескиванию при вылеживании во влажной атмосфере и особенно в атмосфере, содержащей следы аммиака (так называемое «сезонное растрескивание»). Оно наблюдается в деформированных изделиях. Сущность такого явления заключается в предпочтительной коррозии по границам зерен. Для устранения этого явления после деформации латунь подвергают отжигу при 240–260 °С.

Принята следующая маркировка латуней. Латунный сплав обозначают буквой «Л», после чего следуют буквы основных элементов, образующих сплав. В марках деформируемых латуней первые две цифры после буквы «Л» указывают среднее содержание меди в процентах. Например, Л70 – латунь, содержащая 70 % Cu. В случае легированных деформируемых латуней указывают ещё буквы и цифры, обозначающие название и количество легирующего элемента, ЛАЖ60-1-1 означает латунь с 60 % Cu, легированную алюминием (А) в количестве 1 % и железом в количестве 1 %. Содержание Zn определяется по разности от 100 %. В литейных латунях среднее содержание компонентов сплава в процентах

ставится сразу после буквы, обозначающей его название. Например, латунь ЛЦ40Мц 1,5 содержит 40 % цинка (Ц) и 1,5 % марганца (Мц).

Сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием и др. элементами, среди которых цинк не является основной добавкой, называют *бронзами*.

Бронзы обладают хорошими литейными свойствами, некоторые бронзы имеют хорошую пластичность и хорошо обрабатываются давлением, резанием. Большинство бронз имеют хорошую коррозионную стойкость. Их широко используют как антифрикционные сплавы. Для улучшения свойств их подвергают термической обработке: отжигу, закалке и отпуску или пластическому деформированию с целью наклепа. Отжиг производится для снятия напряжений, устранения наклепа, получения однородной структуры; закалка от 700–750 °С без отпуска – для повышения пластичности, с отпуском – для повышения твердости и прочности бронзы.

Оловянистые бронзы содержат до 12 % олова, с повышением содержания которого увеличивается и прочность и твердость. Эти бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами. *По методу изготовления изделий бронзы подразделяются на литейные и деформируемые.*

Для улучшения обрабатываемости резанием, повышения износостойкости и плотности отливок в бронзы вводят свинец и цинк [2].

Алюминиевые бронзы (5–11 % Al) в настоящее время очень распространены, являются дешевыми заменителями оловянных бронз и даже превосходит их по ряду свойств: менее склонны к ликвации, обладают лучшей жидкотекучестью; характеризуются сравнительно высокими прочностными показателями, жаропрочностью, химической стойкостью. Из алюминиевых бронз изготавливают зубчатые колеса, сальники, детали турбин и др.

Кремниевые бронзы (1–3 % Si) применяют в качестве заменителей оловянистой бронзы. Эти бронзы имеют хорошие литейные свойства, обрабатываются резанием, деформируются в горячем состоянии. Обладают высокой упругостью, выносливостью. Их используют для деталей, работающих до 500 °С.

Бериллиевые бронзы (2–2,5 % Be).

Бериллий – дорогой и редкий металл, однако комплекс свойств этих бронз настолько высокий, что их производство экономически оправданно.

Бериллиевую БрБ2 используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран и других пружинящих деталей. Для этой бронзы характерны химическая стойкость, хорошая свариваемость, обрабатываемость режущим инструментом.

После термической обработки – закалки 780 °С в воде и старения при 300 °С 3 часа – сплав сильно упрочняется. Бронза БрБ2 приобретает σ_b до 1500 МПа при $\delta = 2\%$ и твердости НВ375 [4].

Бериллиевая бронза является искробезопасной, поэтому из нее делают электрические контакты и ударный инструмент для работы во взрывоопасных атмосферах.

Медно-никелевые сплавы маркируют буквами МН и цифрой, указывающей суммарное содержание Ni + Co.

К медно-никелевым сплавам относятся следующие [3]:

1) *мельхиоры* МН19 и МНЖМц30–0,8–1, однофазные сплавы из α -твердого раствора серебристого цвета ($\sigma_b = 350 - 400$ МПа). Обладает высокой коррозионной стойкостью в воздушной атмосфере, пресной и морской воде. Из мельхиора изготавливают конденсаторные трубы в судостроении, трубы термостатов, медицинский инструмент, изделия массового потребления;

2) *нейзильбер* МНЦ15-20 (Ni + Co = 15 %, Zn = 20 %) – однофазный сплав α , представляющий собой твердый раствор Ni + Zn + Co в меди, $\sigma_b = 500 - 700$ МПа. Обладает высокими коррозионными свойствами и упругостью, хорошей полируемостью. Применяется в электротехнике (плоские пружины, реле, проволока для термопар и реостатов), автомобилестроении (игольчатые клапаны карбюраторов). Из него изготавливают приборы точной механики, медицинский инструмент, художественные изделия и монеты;

3) *копель* МНМц43–0,5 и *константан* МНМц 40–1,5 идут на производство компенсационных проводов и термопар.

ЗАДАНИЕ №1

Червяк редуктора для уменьшения коэффициента трения часто изготавливают из стали, а венец колес – из сплава на медной основе. Указать марку и состав сплава для венца, колеса, обладающего высокими антифрикционными свойствами и пределом прочности не ниже 250 МПа.

Объяснить, как изменяются механические свойства сплава в зависимости от условий литья (в кокиль или землю). Указать для сравнения состав, термическую обработку, структуру и механические свойства стали для изготовления червяка редуктора диаметром 30 мм, если предел прочности должен быть не ниже 700 МПа.

ЗАДАНИЕ №2

Трубки в паросиловых установках должны быть стойкими против коррозии. Необходимо подобрать марку сплава на основе меди, пригодного для изготовления трубок и не содержащего дорогих элементов. Привести состав выбранного сплава. Указать способ приготовления трубок и сравнить механические свойства выбранного сплава, получаемого после окончательной обработки, с механическими свойствами стали, стойкой против коррозии в тех же средах.

ЗАДАНИЕ №3

В химическом машиностроении применяют специальные латуни для изготовления литьем коррозионностойких и тяжело нагруженных деталей. Необходимо выбрать марку медного сплава с пределом прочности не ниже 450 МПа, привести его состав, механические свойства, структуру и указать, в каких средах такой сплав является устойчивым. Сопоставить механические свойства латуни выбранного состава с аналогичными свойствами латуни ЛС59-1, указать область применения латуни ЛС59-1.

ЗАДАНИЕ №4

Необходимо изготовить зубчатые колеса из сплава, стойкого против действия воды и пара и обладающего небольшим коэффициентом трения. Объяснить, почему в таких условиях не применяют нержавеющей сталь, стойкую против коррозии в условиях воды и пара. Указать состав и структуру цветного сплава, не содержащего дорогих элементов и пригодного для изготовления подобных зубчатых колес.

ЗАДАНИЕ №5

Вкладыши коренных и шатунных подшипников двигателей внутреннего сгорания изготавливают, в том числе, из бронзы, отличающейся высокими антифрикционными свойствами и не содержащей особо дорогих элементов. Необходимо подобрать состав медного сплава и привести способ изготовления из него деталей, указать его строение и механические свойства, а также причины, по которым подобный сплав хорошо работает в условиях износа. Для сравнения привести состав и строение других антифрикционных сплавов, обладающих более низкими температурами плавления и применяемых для заливки подшипников.

ЗАДАНИЕ №6

Многие детали изготавливают из листа способом глубокой вытяжки. Необходимо выбрать состав медного сплава, обладающего высокой пластичностью и способностью принимать вытяжку, привести его состав и структуру. Указать режим и назначение термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки для повышения пластичности, а также механические свойства после вытяжки и после термической обработки. Привести состав стали, применяемой для глубокой вытяжки, и сопоставить механические свойства выбранного цветного сплава с аналогичными свойствами стали.

Пример выполнения задания

Многие изделия изготавливают из латуни вытяжкой из листа в холодном состоянии. Иногда в изделиях обнаруживаются трещины, возникающие без приложения внешних нагрузок (так называемое «сезонное растрескивание»).

Необходимо объяснить сущность этого явления и указать способы его предупреждения. Подобрать марку латуни, не подверженной сезонному растрескиванию, описать структуру, механические и технологические свойства α - и β -латуней.

РЕШЕНИЕ

Латуни в зависимости от содержания цинка и структуры можно разделить на три класса:

- 1) α -латуни до 39,5 %;
- 2) $\alpha + \beta'$ -латуни от 39,5 до 45,7 %;
- 3) β' -латуни от 45,7 до 51 %.

Увеличение содержания цинка изменяет структуру и свойства латуни. Увеличение содержания цинка до определенного предела повышает пластичность и прочность. Пластичность достигает максимальных значений при 30–32 % Zn, а прочность – 40 %. При дальнейшем содержании цинка прочность и пластичность снижаются. Это изменение свойств определяется свойствами соответствующих фаз, образующихся при введении цинка:

α -фаза представляет собой твердый раствор замещения, пластичность и твердость которой возрастает по мере увеличения содержания Zn;

β -фаза – твердый раствор на базе электронного соединения с объемно-центрированной кубической решеткой и упорядоченным расположением атомов.

Отличается повышенной хрупкостью и твердостью, поэтому образование β' -фазы снижает вязкость и повышает твердость.

Эти свойства фаз определяют технологический процесс изготовления изделий из различных сортов латуни, а также их назначение. Изделия из α -латуни изготавливают главным образом холодной или горячей деформацией, обработка резанием не дает достаточно чистой поверхности. Изделия из $\alpha + \beta'$ -латуни изготавливают горячей (прессование, штамповка) или холодной деформацией (но без вытяжки) или обработкой резанием. Изделия из α - или $\alpha + \beta'$ -латуней применяют в отожженном состоянии, поскольку термическая обработка (закалка и отпуск) не дает заметного эффекта.

Холодная деформация латуни создаёт в изделии остаточные напряжения. Они возникают и в результате местной холодной деформации (при изгибе деталей, чеканке, развальцовке).

При вылеживании или эксплуатации в латунных изделиях иногда возникают трещины. «Сезонное растрескивание» наблюдается главным образом в латунях с содержанием более 20 % Zn и отчетливо обнаруживается, например, в полых изделиях, прутках. «Сезонное растрескивание» усиливается в химически активных средах, особенно в парах аммиака, ртутных солей, ртути, мыльной воде.

Образование трещин является результатом совместного действия остаточных напряжений, созданных холодной деформацией (наиболее опасны растягивающие напряжения), и химически активных сред.

Для предохранения от сезонного растрескивания нужен отпуск с нагревом до 200–300 °С, это снимает большую часть остаточных напряжений и незначительно снижает прочность. В некоторых условиях не всегда возможно избежать сезонного растрескивания, в таких случаях применяют более дорогие, не склонные к сезонному растрескиванию латуни Л96 и Л90.

Механические свойства латуней и их состав: Л96 – 95–97% ост. Zn. Примеси Fe, Si ≤ 0,30 %, $\sigma_B = 35$ %;

Л90 – 89–90 Cu (ост. Zn). Примеси ≤ 0,30 %, $\sigma_B = 270$ МПа, $\sigma = 38$ %;

Л80 – 79–81 Cu (ост. Zn). Примеси ≤ 0,30 %, $\sigma_B = 280$ МПа, $\sigma = 45$ %.
 $\alpha + \beta'$ -латуни ЛС59-1 58-61Cu, 0,8–1,9 Р_в примеси 0,75 %, $\sigma_B = 350$ МПа, $\sigma = 30$ %.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получите задание у преподавателя.
2. Выберите состав материала в соответствии с полученным заданием, обладающего комплексом необходимых свойств, приведите его состав и структуру (таблицы 10.1–10.5). При необходимости укажите режим и назначение термической обработки. Опишите технологию изготовления деталей из выбранного материала.
3. При необходимости для сравнения приведите состав и строение других материалов, обладающих аналогичными или улучшенными свойствами. Опишите и сравните эти материалы.
4. Напишите отчет о работе в соответствии с указанными выше пунктами заданий.

Таблица 10.1. – Латуни: механические свойства, химический состав, назначение

Марка сплава	Химический состав, %					Механич. свойства		Назначение
	Cu	Al	Pb	Sn	др. эл–ты	σ_B , МПа	δ , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Простые латуни								
Пластичные однофазные, деформируемые в холодном и горячем состоянии								
Л-96	95–97	–	–	–	–	230	35	Трубки радиаторные, листы, ленты
Л-80	79–81	–	–	–	–	270	38	Трубки, ленты, проволока
Л-68	67–70	–	–	–	–	280	45	Листы, ленты для глубокой вытяжки

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Меньшей пластичностью (двухфазные), деформируемые в горячем состоянии и литейные								
ЛС59-1	57-60	–	0,8-1,9	–	–	350	30	Листы, трубы, литье (хорошая обрабатываемость резанием)
2. Сложные латуни стойкие против коррозии Обрабатываемые давлением (однофазные)								
ЛА77-2	76-79	1,75-2,5	–	–	–	750	8	Трубы в морском и общем машиностроении
ЛО70-1	69-71	–	–	1-1,5	–	670	4	Трубы подогревателей
Литейные (двухфазные)								
ЛА67-2,5	66-68	2-3	0,7	–	–	450	45	Отливки в морском и общем машиностроении
3. Сложные латуни повышенной прочности и стойкие против коррозии Обрабатываемые давлением (однофазные)								
ЛАН59-3-2	57-60	2,5-3,5	–	–	2-3 Ni	–	–	Трубы тяжело нагруженные, детали в судостроении
ЛАЖ60-1-1	58-61	10,75-1,5	0,4	–	0,75-1,5 Fe	750	8	Судостроение
Литейные (двухфазные)								
ЛЦ40МцЗЖ	53-58	≤ 0,6	≤ 0,5	1,3-4,5	0,5-1,5 Fe	–	–	Судостроение
ЛМцОС 58-2-2-2	57-60	–	0,5-2,5	1,5-2,5	1,5-2,5 Mn	300	6	Шестерни, колеса зубчатые

Таблица 10.2. – Оловянные бронзы: механические свойства, химический состав, назначение

Марка сплава	Химический состав, %					Механические свойства		Назначение
	Sn	P	Zn	Ni	Pb	σ_b , МПа	δ , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обрабатываемые давлением (однофазные)								
БрОФ6,5-0,15	6-7	0,1-0,25	–	–	–	400	65	Ленты, сетки в приборостроении, бумажной промышленности. Мембраны, пружины, детали, работающие на трение
БрОЦ4-3	3,5-4	–	–	2,7-3,3	–	180	8	Пружины, мембраны, контакты

Продолжение таблицы 10.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Литейные (двухфазные)								
БрОц10-2	9–11	–	2–4	–	–	150	5	Шестерни, втулки, подшипники
БрОФ10-1	9–11	0,8–1,2	–	–	–	400	65	Шестерни, втулки, подшипники (пластичность выше)
БрОНС11-4-3	9–11	–	–	4	3	210	5	Шестерни, втулки, подшипники (при нагреве); втулки клапанов

Таблица 10.3. – Алюминиевые бронзы

Марка сплава	Химический состав, %			Механ. свойства		Назначение
	Al	Fe	Ni	σ_b , МПа	δ , %	
Высокой пластичности (однофазные)						
БрА5	4–6	–	–	800	4	Ленты, полосы для пружин
Высокой прочности (двухфазные)						
БрАЖ9-4	8–10	2–4	–	550	5	Шестерни, втулки, арматура для работ в морской воде
БрАЖН10-4-4	9,5–11	3,5–5,5	3,5–5,5	550	40	То же, при больших давлениях и трении

Таблица 10.4 – Кремнистые бронзы

Марка стали	Химический состав, %			Механ. свойства		Назначение
	Si	Mn	Ni	σ_b , МПа	δ , %	
БрКМуЗ-1	3	1	–	70	7	Пружины, трубы, втулки в судостроении, авиации
БрКН1-3	0,6–1,1	0,1–0,4	2,4–3,1	–	–	Втулки, клапана, болты, для работы в морской и сточных водах

Таблица 10.5. – Бериллиевые бронзы

Марка сплава	Химический состав, %				Механ. свойства		Назначение
	Be	Ni	Ti	Mg	σ_b , МПа	δ , %	
1	2	3	4	5	6	7	8
БрБ2	1,8–2,1	0,2–0,5	–	–	560	30	Высокопрочные и тонковедущие
БрБНТ1,7	1,6–1,85	0,2–0,4	0,1–0,25	–	420	50	Пружины
БрБНТ1,9	1,85–2,1	0,2–0,4	0,1–0,25	–	410	45	Мембраны
БрБНТ1,9Mg	1,85–2,1	0,2–0,4	0,1–0,25	0,07–0,13	400	40	Сифоны

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Характеристика и состав материала, область его применения.
4. Технология изготовления деталей из выбранного материала.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие виды разделяются медные сплавы? Охарактеризуйте их.
2. Какими преимуществами обладают медные сплавы?
3. Расскажите о структуре латуней.
4. Какие легирующие элементы вводятся в латуни и зачем?
Какие недостатки присущи латуням?
5. Как маркируются латуни?
6. Охарактеризуйте конструкционные материалы – бронзы. Назовите виды бронз.
7. Какие виды медно-никелевых сплавов вы знаете? Опишите их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – С. 406–408.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1984. – С. 424–434.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – С. 203–204.
5. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Медь>. – Дата доступа: 23.10.2019.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: научиться подбирать материал для изготовления деталей; виды термической обработки для улучшения механических свойств; режим термической обработки; сравнивать механические свойства выбранного сплава с механическими свойствами стали.

Оборудование и материалы: учебные пособия, справочники, натуральные образцы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Алюминиевый сплав – сплав, основной массовой частью которого является алюминий. Самыми распространенными элементами в составе алюминиевых сплавов являются: медь, магний, марганец, кремний и цинк. Все алюминиевые сплавы можно разделить на *две основные группы: упрочняемые обработкой и не упрочняемые обработкой.*

Основные преимущества алюминиевых сплавов, определяющие область их применения, – малая плотность ($2,7-0,3 \text{ т/м}^3$) при достаточно высоких механических свойствах. Однако они уступают сплавам на железной основе в величине модуля упругости: $7 \times 10^4 \text{ МПа}$ у алюминия и $20 \times 10^4 \text{ МПа}$ у сталей и чугунов. Кроме того, алюминиевые стали малопригодны для упрочнения поверхностного слоя способами химико-термической обработки и их твердость и износостойкость ниже, чем стали. Некоторые из них, особенно дюралюминий, недостаточно устойчивы против коррозии в обычной атмосфере и не обладают хорошей свариваемостью. *Алюминиевые сплавы (подобно стали и чугунам) делят на: деформируемые (прокаткой, прессованием, штамповкой); литейные; изготавливаемые способом порошковой металлургии.*

Принята буквенно-цифровая система маркировки алюминиевых сплавов. Буква, стоящая в начале означает:

А – технический алюминий;

Д – дюралюминий;

АК – алюминиевый сплав, ковкий;

АВ – авиаль;

В – высокопрочный алюминиевый сплав;

АЛ – литейный алюминиевый сплав;

АМг – алюминий-магний сплав;

АМц – алюминий-марганец сплав;

САП – спеченные алюминиевые порошки;

САС – спеченные алюминиевые сплавы [1].

Вслед за буквами идет номер марки сплава. За номером марки сплава ставится буква, обозначающая состояние сплава:

М – сплав после отжига (мягкий);

Т – после закалки и естественного старения;

А – плакированный (нанесен чистый слой алюминия);

Н – нагартованный;

П – полунагартованный [1].

Алюминиевые сплавы, обрабатываемые давлением для повышения прочности, подвергают термической обработке: закалке, сообщающей структуру перенасыщенного твердого раствора, и старению (дисперсионному твердению) – естественному и искусственному. Кроме того, для их упрочнения используется и термомеханическая обработка, заключающаяся в закалке, холодной пластической деформации и старении.

Для повышения стойкости против коррозии некоторые сплавы, главным образом дюралюмины, плакируют, т. е. покрывают защитным слоем алюминия (что однако снижает прочность и износостойкость).

Сплавы используют в различных условиях эксплуатации, поэтому они не одинаковы по составу и свойствам и их целесообразно распределить на:

– сплавы высокой прочности, называемые дюралюминами (механические свойства указаны в таблице 11.1). Они имеют сложный механический состав: главным легирующим элементом являются медь и магний, а у сплава В95 – цинк;

– сплавы (дюралюмины), сохраняющие прочность при повышенных температурах (жаропрочные). Они используются при нагреве до 300–350 °С (что ниже, чем у жаропрочных сталей и титановых сплавов). Дюралюмины этой группы имеют более сложный состав; большинство из них содержит дополнительно никель (при меньшем содержании меди);

– сплавы повышенной пластичности хорошо принимающие глубокую вытяжку и сварку. Содержащие меди ограничено, вследствие чего прочность сплавов ниже 250 МПа, а пластичность выше, чем у дюралюминов;

– сплавы повышенной пластичности, свариваемости и стойкости против коррозии. Они легируются магнием и реже марганцем и в отличие от дюралюминов почти не содержат меди, т. е. компонента, который образует упрочняющие фазы и делает сплав многофазным

Интересно знать!

Дюралюминий разработан германским инженером-металлургом Альфредом Вильмом (Alfred Wilm), сотрудником металлургического завода Dürener Metallwerke AG. В 1903 году Вильм установил, что сплав алюминия с добавкой 4% меди после резкого охлаждения (температура закалки 500° С), находясь при комнатной температуре в течение 4–5 суток, постепенно становится более твердым и прочным, не теряя при этом пластичности. Дальнейшие эксперименты со сплавами этой системы привели к освоению в 1909 году заводом Dürener Metallwerke сплава дюралюминия. Обнаруженное Вильмом старение алюминиевых сплавов позволило повысить прочность дюралюминия до 350–370 МПа по сравнению с 70–80 МПа у чистого алюминия. Распространённые в Европе (Великобритания и Швейцария) алюминиевые сплавы марок Hiduminium и Avional являются близкими по составу к дюралюминию сплавами других производителей [5].

и малоустойчивым против коррозии. Эти сплавы устойчивы против воздействия масел, бензина и т. п. Кроме того, они хорошо принимают холодную вытяжку и удовлетворительно свариваются [2].

Таблица 11.1. – Состав и свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Тип сплавов	Марка	Содержание компонентов, %						Показатели свойств		
		Mn	Mg	Si	Cu	Fe	примеси	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma\%$
Не упрочняемые термической обработкой	АМу 1	1,0–1,6	–	–	–	–	до 1,8 пр	130 (220)*	50 (180)*	50 (5)*
	АМг 2	0,2–0,6	1,8–2,8	–	–	–	до 1,2 пр	190 (250)*	100 (210)*	23 (6)*
	АМг 3	0,3–0,6	3,2–3,8	0,5–0,8	–	–	до 0,9 пр	100 (240)*	100 (200)*	15 (7)*
Сплавы нормальной прочности**										
Упрочняемые термической обработкой	Д1	0,4–0,8	0,4–0,8	–	3,8–4,8	–	до 1,9 пр	210 (420)	110 (240)	18 (18)
	Д16	0,3–0,9	1,2–1,8	–	3,8–4,9	–	до 1,5 пр	210 (450)	110 (330)	18 (7)
	Высокопрочные сплавы									
	В93	–	1,6–2,2	–	0,8–1,2	0,2–0,45	6,3–7,3 Zn до 0,4 пр	490	440	6
	В95	0,2–0,6	1,8–2,8	–	1,4–2,0	–	5,0–7 Zn до 1,1 пр	560	530	8
	В96	0,2–0,5	2,5–3,2	–	2,2–2,8	–	7,6–8,6 Zn до 0,1–0,25 Zn	870	630	7
	Сплавы дляковки и штамповки									
	АК4	–	1,4–1,8	0,5–1,2	1,9–2,5	0,8–1,3	0,8–1,3 Ni до 0,6 пр	420	350	10
	АК6	0,4–0,8	0,4–0,8	0,7–1,2	1,8–2,6	–	до 1,2 пр	390	280	10
	АК8	0,4–1,0	0,4–0,8	0,6–1,2	3,9–4,8	–	до 1,2 пр	480	380	10
Жаропрочные сплавы										
Упрочняемые термической обработкой	АКЧ-1	–	1,4–1,8	–	1,9–2,5	0,8–1,3	0,8–1,3 Ni до 0,02–0,1 Ti до 0,85 пр	430	280	13
	Д-20	0,4–0,8	–	–	6,0–7,0	–	0,1–0,2 Ti до 0,95 пр	400	250	12

* – в скобках даны значения показателей в нагартованном состоянии;

** – в скобках даны значения показателей для закалочных и естественно состаренных сплавов.

Литейные алюминиевые сплавы подразделяются на следующие сплавы:

– сплавы с наиболее высокими литейными свойствами легируются кремнием, они называются силуминами. Эти сплавы имеют низкую

температуру литья, хорошую жидкотекучесть, наибольшую чувствительность к образованию литейных пор, но пониженные механические свойства (таблица 11.2).

Таблица 11.2. – Свойства и состав материалов из спеченных алюминиевых порошков

Марка материала	Содержание Al_2O_3 , %	Температура испытаний, $^{\circ}C$	Показатели свойств		
			σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ , %
САП-1*	6–9	20	290	220	7
		350	150	130	8
		500	70	55	2,5
САП-2	9,1–13	20	350	280	4
		350	170	140	3
		500	100	70	2,5
САП-3	13,1–17	20	410	320	3
		350	190	150	1,5
		500	120	90	1,5
САП-4	18–22	20	450	370	1,5
		500	130	100	1,3

* – приведены свойства материала в виде прессованного и штампованного полуфабрикатов.

Силумины используют для деталей сложной формы, но не воспринимающих повышенных нагрузок;

– сплавы с повышенными механическими свойствами легируются магнием и медью; литейные свойства ниже, чем у силуминов.

Имеются 2 группы спеченных алюминиевых сплавов промышленного значения: САП (спеченная алюминиевая пудра) и САС (спеченный алюминиевый сплав).

Спекаемые алюминиевые сплавы (САП) изготавливают спеканием алюминия в виде пудры, содержащей на поверхности слой окисла (Al_2O_3). В спеченном сплаве алюминий является матрицей ячеистого строения, в которую включены в качестве фазы-упрочнителя дисперсные частицы окислов Al_2O_3 . Оптимальное количество окиси алюминия 20–22%. Частицы Al_2O_3 химически не взаимодействуют с матрицей, не коагулируют при нагреве, вследствие чего прочностные свойства сплава мало изменяются при повышении температуры. Прочность при 20 $^{\circ}C$ ниже, чем у дюралюминов, а при 200–300 $^{\circ}C$, наоборот, выше и стойкость против коррозии.

Сплавы САП используют преимущественно в качестве жаропрочных для работы при температурах на 30–50 $^{\circ}C$ выше, чем деформируемых и литейных сплавов.

ЗАДАНИЕ №1

Сварные бензиновые и масляные баки, от материала которых не требуется высоких механических свойств, изготавливают в промышленности из легких листовых сплавов, обладающих повышенной стойкостью против коррозии, пластичностью и способностью хорошо принимать сварку.

Рекомендовать состав алюминиевого сплава, пригодного для данного назначения указать его структуру и механические свойства.

Для сравнения привести химический состав, а также режим термической обработки и структуру стали, стойкой против коррозии в указанных средах [2].

ЗАДАНИЕ №2

Детали колес, агрегатов и приборов, имеющих сложную форму и не испытывающих больших механических нагрузок, изготавливают литьём из легких сплавов (плотностью $2,7 \text{ т/м}^3$), обладающих хорошими литьевыми свойствами. Выбрать состав алюминиевого сплава, указать его микроструктуру, а также способы повышения механических свойств (в процессе выплавки) и происходящие при этом изменения строения сплава и механических свойств. Указать, для каких литейных сплавов на железной основе применяют аналогичные способы улучшения структуры и свойств.

ЗАДАНИЕ №3

Уменьшение массы поршня в двигателях внутреннего сгорания дает повышение мощности. Рекомендовать состав алюминиевого сплава с минимальной плотностью, пригодного для изготовления поршней. Указать химический состав сплава, его механические свойства и режим обработки.

ЗАДАНИЕ №4

Топливные и масляные баки и некоторые другие детали изготавливают из сплава с плотностью $1,7 \text{ т/м}^3$. Этот сплав имеет высокую пластичность в горячем состоянии, стойкость против коррозии, а также допускает сварку длинных швов. Привести химический состав алюминиевого сплава, его структуру, механические свойства. Сопоставить состав и структуру, механические свойства, стойкость против коррозии в условиях морской воды и влаги с аналогичными свойствами материалов, из легированной стали.

ЗАДАНИЕ №5

Бесшовные трубы опреснительных установок, подающие морскую воду, нагретую до $80\text{--}120^\circ \text{C}$, целесообразно для повышения их долговечности изготавливать из сплава со значительно большей стойкостью против коррозии в этих условиях, чем у нержавеющей стали.

Выбрать марку алюминиевого сплава и сопоставить его свойства со свойствами нержавеющей стали 12ХТ8Н9Т.

ЗАДАНИЕ №6

Отдельные нагруженные детали, например, тяги управления, изготавливают из легкого сплава с пределом прочности не ниже 400–450 МПа. Привести состав и плотность алюминиевого сплава, а также режим термической обработки и указать структуру и механические свойства после каждой операции термической обработки. Указать способы повышения коррозионной стойкости этого сплава.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получите задание у преподавателя.
2. Выберите в соответствии с полученным заданием состав алюминиевого сплава, обладающий комплексом необходимых свойств, приведите его состав и структуру (используйте таблицы 11.1–11.5). При необходимости укажите режим и назначение термической, механической и других видов обработки. Опишите технологию изготовления деталей из выбранного материала.
3. При необходимости для сравнения приведите состав и строение других материалов, обладающих аналогичными или улучшенными свойствами. Опишите и сравните эти материалы.
4. Напишите отчет о работе в соответствии с указанными выше пунктами заданий.

Таблица 11.3. – Состав, свойства и способы переработки литейных Al-х сплавов [3]

Марка сплава	Содержание компонентов, %						Свойства				Способ литья
	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	др. элементы	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma\%$	НВ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Al 1	2	1,25-1,75	3,75-4,5	–	–	1,75-2,25Ni	220	–	2	2	З,О,В,К
Al 2	10-13	–	–	–	–	–	180	90	5	50	ЗМ,ОМ,ВМ,КМ,Д
Al 4	8-10	0,17-0,3	–	0,25-0,35	–	–	220	140	4	70	З,О,В,К,Д
Al 8	–	9,5-11,5	–	–	–	–	350	170	10	80	З,О,В,К
Al 27	–	9,5-11,5	–	–	0,05-0,15	0,05-0,15Be	360	180	18	90	З,О,В,К,Д
Al 29	0,5-1,0	6,0-8,0	–	0,25-0,6	–	–	210	–	3	60	Д
Al 7	–	–	4,5	–	–	–	240	160	7	65	З,О,В,К

Обозначения: З – в землю; О – в оболочковые формы; В – по выплавляемым моделям; К – в кокиль; Д – под давлением; М – модель.

Таблица 11.4. – Состав и свойства алюминиевых подшипниковых сплавов

Сплав	Cu	Fe	Mg	Ni	Si	др. элементы	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	$\sigma\%$	НВ при	
										20 ⁰ С	100 ⁰ С
АСС-6-5	–	–	0,5	–	–	5–6 Sb 4–5 P1	$\frac{81}{307}$	$\frac{27}{39}$	13,9	31,4	28,2
АСМ	–	–	0,5	–	–	3–5 Sb	$\frac{84}{577}$	$\frac{32}{97}$	29,4	28,6	25,6
АЖ6-5	–	4,5–6	0,35–0,55	–	–	–	$\frac{110}{329}$	–	10	37	42
Алькусин	7,0–9,0	до 1	–	–	1,0–1,25	–	$\frac{16}{30}$	100–120	0,4	60–70	–
АО3-1	0,8–1,2	–	–	0,3–0,5	1,7–2,1	2–4 Sn	11	–	2	42	–
АО9-2	2,0–2,5	–	–	0,8–1,2	0,3–0,7	8–10 Sn	15	–	4,5	55	–
АО20-1	0,7–1,2	–	–	–	–	Sn7–23	11	–	30	30	–
АН-2,5	–	–	–	2,7–3,3	–	–	12	–	20	35	–

Примечание:

1. В числителе даны значения показателей при растяжении, в знаменателе – при сжатии.
2. Свойства сплава АО20-1 после прокатки и отжига.

Таблица 11.5. – Назначение алюминиевых сплавов [4]

Марка сплава	НАЗНАЧЕНИЕ	
	1	2
Д1	Трубы, прутки, заклепки для конструкций средней прочности	
Д16	То же, большей прочности	
В(95), В(96)	Лонжероны самолетов, лопасти, штонгоуты, сплав высокой прочности	
АК4	Диски и кольца турбореактивных двигателей, лопатки компрессоров, поршни	
АВ (авиль)	Трубопроводы и детали, изготавливаемые глубокой вытяжкой	
АМг2	Сварные баки, трубопроводы, оконные рамы	
АМг, ММг6	Бензо- и маслопроводы, баки сварные, заклепки	
АЛ2	Детали колес, агрегатов малой нагруженности	
АЛ4	Крупные нагруженные детали моторов	
АЛ9	Детали тонкостенные и сложной формы небольшой и средней нагруженности, сварные детали	
АЛ	Корпуса и детали приборов	
АЛ8 ⁺²	Ответственные узлы несложной формы, работающие при ударных нагрузках и во влажной атмосфере	

Продолжение таблицы 11.5

1	2
АЛ7	Детали средней нагруженности, педали, рычаги, арматура, литейные свойства ниже, чем у магния
АЛ1, АЛ20	Головки и поршни цилиндров и др. детали ДВС, нагревающиеся до 275 ⁰ С
САП	Детали из листа профильного проката, нагревающегося до 300–325 ⁰ С

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Характеристика и состав материала, область его применения.
4. Технология изготовления деталей из выбранного материала.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой материал называется алюминиевым сплавом? Какие существуют основные группы алюминиевых сплавов?
2. На какие виды разделяются алюминиевые сплавы? Охарактеризуйте их.
3. Какими преимуществами обладают алюминиевые сплавы?
4. Как осуществляется маркировка алюминиевых сплавов?
5. Какие виды термической обработки применяются для алюминиевых сплавов?
6. Охарактеризуйте литейные алюминиевые сплавы.
7. Расскажите о технологии получения спекаемых алюминиевых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – С. 385–387.
2. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1984. – С.375–383.
3. Чередниченко, В. С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. Материаловедение и технология металлов / М. Г. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – С. 180–191.
5. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Дюралюминий>. – Дата доступа: 23.10.2019.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Цель работы: закрепление теоретического материала, изучение свойств пластичных смазок.

Оборудование: прибор для визуального исследования смазок, пенетромтр, прибор для определения температуры каплепадения, прибор для определения коллоидной стабильности.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Пластичные смазки (консистентные смазки, от лат. *consisto* – состою, застываю, густею), мазе- или пастообразные смазочные материалы, получаемые введением твердых загустителей в жидкие нефтяные или синтетические масла и их смеси [1]. Как правило, пластичные смазки (в литературе их для краткости часто называют просто смазками) – трехкомпонентные коллоидные системы, содержащие дисперсионную среду (жидкая основа, 80–90 %), дисперсную фазу (загуститель, 10–50 % – мыло, твердые углероды, неорганические соединения), модификаторы структуры (стабилизаторы) и добавки (наполнители, присадки). Благодаря высокой концентрации коллоидные частицы загустителя образуют пространственный структурный каркас, в ячейках которого прочно удерживается масло. Большинство пластичных смазок имеет волокнистое строение.

Отличительная особенность пластичных смазок состоит в том, что в зависимости от условий работы они способны обладать свойствами твердых или жидких веществ.

Высокая степень структурирования дисперсной фазы придает смазкам пластичность, упругость и другие свойства, которыми они значительно отличаются от жидких смазочных материалов. При малых нагрузках или в их отсутствие пластичные смазки проявляют свойства твердых тел: не растекаются под действием собственной массы, удерживаются на вертикальных поверхностях, не сбрасываются инерционными силами с движущихся деталей. Однако при некоторых критических нагрузках (обычно 0,1–0,5, реже 2–3 кПа), превышающих предел прочности структурного каркаса, происходят так называемые тиксотропные превращения: смазки разрушаются и начинают

Интересно знать!

Смазочным материалом может служить твердое вещество (например, графит), жидкость (скажем, жидкое масло) либо смесь масла с мылом – т. н. консистентная смазка. Кроме того, в качестве смазочных материалов используются многочисленные смеси жидких масел с различными добавками и присадками. Твердые смазочные материалы. Наиболее известным из короткого перечня твердых смазочных материалов является графит – темный минерал с жирным блеском, маслянистый на ощупь [2]. К твердым смазочным материалам относится также сульфид молибдена, который применяется как сухое поверхностное покрытие и как добавка к маслам и консистентным смазкам. Из пластиковых твердых смазочных материалов наиболее известен политетрафторэтилен, называемый также тефлоном.

деформироваться – течь как пластичное тело без нарушения сплошности; после снятия нагрузок течение прекращается, разрушенный каркас восстанавливается и смазки снова приобретают свойства твердых тел.

Благодаря этому свойству, они получили широкое применение в узлах трения, к которым невозможно непрерывно подводить масло. Или масло не может удерживаться на трущихся поверхностях, при больших удельных нагрузках и малых скоростях, в трудногерметизируемых узлах.

Пластичные смазки не только уменьшают трение и износ, но также уплотняют подвижные и неподвижные соединения, предохраняют металлические поверхности от атмосферной коррозии. Они не требуют частой замены и могут работать весь период эксплуатации.

Жидкая основа в значительной мере определяет вязкостно-температурные характеристики, стабильность и другие свойства пластичных смазок. В качестве дисперсионной среды, содержание которой в смазках составляет 70–90 % по массе, используют товарные нефтяные масла малой и средней вязкости (не более 50 мм²/с при 50 °С). При подборе жидкой основы учитывают также химический состав (содержание смол, полициклических ароматических углеводородов, кислородных соединений), заметно влияющий на формирование структуры смазок. Для приготовления пластичных смазок, работоспособных при высоких температурах (150–200° С и более), служат обычно синтетические масла (полисилоксаны, полигликоли, сложные эфиры, перфтор- и перхлоруглероды и др.). Регулирование эксплуатационных свойств смазок и более эффективное их использование достигаются применением композиций синтетических и нефтяных масел [3].

Содержание загустителей в смазках составляет, как правило, 10–15 %, при низкой загущающей способности – до 20–50 % по массе. Загустители оказывают наибольшее влияние на структуру и свойства пластичной смазки и подразделяются на *органические и неорганические*.

Смазки на органических загустителях [4]:

- мыльные (загустители-соли высших жирных кислот (мыла);
- углеводородные (твердые предельные углеводороды C18–C35, C36–C55 и др.);
- пигментные (органические красители);
- полимерные (например, фторопласты);
- уреатные (алкил-, ацил- и арилпроизводные мочевины);
- на основе целлюлозы, солей терефталевой кислоты и т. д.

Улучшение качества смазок достигается присутствием в них модификаторов структуры и введением наполнителей и присадок.

Прочность пространственного структурного каркаса смазок повышается благодаря так называемым модификаторам структуры. Причины их присутствия в смазках:

- вносятся дисперсионной средой (например, смолы и нефтяные кислоты);
- образуются при приготовлении так называемых технологических ПАВ (продукты окисления жидкой основы, избыток жирового сырья и продукты его превращений);
- накапливаются при хранении и применении (кислородсодержащие соединения) и т. д.

Наполнители (1–15 %, реже до 20 % по массе и более) – твердые высоко дисперсные (размер частиц до 10 мкм) вещества – графит, технологический углерод (сажа), MoS_2 , BN, алюмосиликаты, порошки Sn, Cu и других металлов. Обладают слабым загущающим действием, практически нерастворимы в дисперсионной среде, образуют самостоятельную фазу в смазках и способствуют упрочнению их граничных слоев.

Присадки (0,001–5 % по массе) – обычно органические соединения, растворимые в дисперсионной среде, оказывают существенное влияние на формирование структуры и реологические свойства смазок. Основные присадки:

- антиокислительные (например, ионол);
- антикоррозионные (нитрованный окисленный петролатум и др.);
- противоизносные (например, трикрезилфосфат);
- вязкостные (полиизобутилены и др.) и т. д.

Эффективно также использование в пластичных смазках композиций присадок и наполнителей.

Пластичные смазки делят на два основных класса:

- универсальные, совмещающие антифрикционные, герметизируемые и защитные свойства;
- специальные, предназначены для определенных механизмов и условий работы.

В настоящее время выпускается большой ассортимент как универсальных, так и специальных смазок.

Обычно для маркировки пластичных смазок пользуются буквенными или цифровыми обозначениями, характеризующими их свойства [4]:

- У – универсальные;
- Н – низкоплавкие ($t_{пл}$ около 50 °С);
- С – среднеплавкие ($t_{пл}$ до 80 °С);
- Т – тугоплавкие ($t_{пл}$ выше 120 °С);
- В – водостойкие;
- М – морозостойкие;
- А – активированные;
- З – защитные;
- Р – не растворяющие резины.

Нередко смазки выступают под номерами: 1–13, № 158 и т. п.
Основные характеристики пластичных смазок даны в таблице 12.1.

Таблица 12.1. – Некоторые основные характеристики типичных пластичных смазок

Смазка	Предел прочности, кПа		Вязкость, кПа*с		Испаряемость, % (при T = 100 °C, 1 ч)	Коллоидная стабильность, %	Температурный диапазон применения, °C
	T = 50 °C	T = 80 °C	T = 0 °C	T = 20 °C			
Общего назначения	0,2–0,3	–	0,1–0,2	0,08–0,15	1–4	1–5	–20–65
Многоцелевая	0,4–0,6	0,2–0,6	0,2–0,28	0,08–0,12	2–3 (при 150 °C)	8–12	–40–120
Термостойкая	0,12–0,25	0,06–0,15	0,08–0,2	0,04–0,10	0,5–1 (при 150 °C)	3–7	–60–150
Морозостойкая	0,18–0,4	0,1–0,15	0,16–0,35	0,085–0,115	1–2	8–15	–50–100
Химически стойкая	0,4–0,8	0	1–2,5	0,1–0,3	1	1–3	–20–50
Радиационностойкая	0,37	0,2–0,26	0,18–0,21	0,12–0,13	2–6 (при 200 °C)	3–8	–20–250
Приборная	0,15–0,4	0,06–0,1	0,5–0,7	0,15–0,2	0,5–2	3–9	–40–100
Для электрических машин	0,25–0,65	0,13–0,3	0,2–0,4	0,14–0,24	3–4 (при 150 °C)	5–8	–30–100
Авиационная	0,12–0,24	0,11–0,2	0,05–0,18	0,05–0,07	0,5	8–16	–60–150
Космическая	0–0,24	0	0,07	0,03	0,9 (при 150 °C)	10	–50–115
Металлоплакирующая	0,58	0,4	0,15–0,28	0,08–0,16	1	10–15	–40–130
Автомобильная	0,4–0,84	0,4–0,52	0,1–0,2	0,08–0,15	3,6	2–5	–30–100
Железнодорожная	0,4–0,6	0,15–0,25	0,37–0,43	0,2–0,3	< 2,5	9–12	–40–120
Морская	0,35–0,8	0,24–0,38	1,2–2,0	0,4–0,7	0	1–5	0–75
Индустриальная	0,15–0,35	0,1–0,3	< 0,11	0,055	1–2 (при 150 °C)	3–10	–10–160
Консервационная	0,05–0,18	–	1,5–4,0	0,1–0,4	0	1–4	ниже 50
Канатная	–	–	0,25–0,36	0,02–0,75	0,8–1,5	–	–35–50
Уплотнительная	0,3–0,55	0,2	0,43	0,2	9,3 (при 150 °C)	3–6	–25–130

Состав и область применения некоторых смазок приведены в таблице 12.2.

Таблица 12.2. – Состав и область применения пластичных смазок [3, 4]

Марка смазки	Примерный состав	Область применения
Солидолы жировые УС-1, УС-2	Индустриальное масло, калиевые масла растительных масел, стабилизатор	Среднеплавкие, влагоустойчивые; смазка различных узлов машин, соприкасающихся со влагой
Солидолы синтетические С и прессолидол С	Индустриальное масло, кольцевые масла синтетических жирных кислот, стабилизатор	
Смазка графитная УССА	Масло цилиндрическое, кольцевые масла синтетических жирных кислот, графит	Смазка узлов, работающих с большими нагрузками
Консталины УТ-1, УТ-2	Индустриальное масло, натриевые мыла растительных масел	Тугоплавкие и водостойкие, смазка узлов и машин, защищенных от влаги
Вазелин технический УН, ПВК	Индустриальное масло, твердые углероды	Низкоплавкие, смазка малонагруженных узлов машин, защищенных
Литол-24	Минеральное масло, литьевые мыла, антиокислительные присадки	Тугоплавкая, невлагоустойчивая смазка подшипников автомобилей
УНИОЛ-1	Авиационное масло МС-20, кальциевые мыла синтетических жирных кислот	Тугоплавкая, смазка различных узлов машин
1-13 жировая, 1-13Л (улучшенная)	Масло касторовое и минеральное, едкий натр, известь строительная	Среднеплавкая, смазка ступиц колес, шлицев карданов, подшипников
Смазка № 158	Авиационное масло МС-20 литиево-кальциевые мыла. Фталоцинад меди	Среднеплавкая, смазка подшипников качения, карданных соединений

Качество применяемых смазок влияет на срок службы и надежность машин и оборудования. При эксплуатации машин и оборудования часто возникает необходимость в определении основных свойств смазки. Пользуясь такими признаками, как цвет, влагостойкость, растворимость, жировое пятно, число пенетрации, температура каплепадения, коллоидная стабильность, можно установить не только вид консистентной смазки, но в некоторых случаях и марку.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пройдите инструктаж по мерам безопасности и получите задание у преподавателя.

2. Визуальным способом исследуйте цвет и внешний вид пластичных смазок.

Визуальное исследование цвета и внешнего вида пластичных смазок проводят с целью определения наличия механических примесей.

ГОСТы на пластичные смазки предусматривают два показателя качества по механическим примесям:

- механические примеси, не растворимые в спирто-бензольной смеси и воде;
- механические примеси, не растворимые в соляной кислоте;
- наличие в пластичных смазках частиц извести, используемой при изготовлении, абразивных веществ считается недопустимым, так как вызывает абразивный износ.

Визуальные исследования производят на приборе, который устроен следующим образом. Нижняя часть прибора состоит из металлической или деревянной камеры с электрической лампочкой мощностью 40 Вт. Сверху на камеру накладывают два стекла. На нижнее стекло устанавливается металлическая рамка толщиной 0,0002 м; в середине рамки на нижнем стекле помещается проба смазки массой 0,005 кг, что позволяет получить слой, имеющий площадь поверхности примерно 0,00025 м². Сверху смазки накладывается другое стекло, на которое надавливают рукой до тех пор, пока стекло не будет соприкасаться с рамкой. Оба стекла с заключенной между ними исследуемой смазкой помещаются в верхней части камеры и включается лампочка. Слой смазки рассматривается с помощью лупы. Если в слое смазки видны какие-либо включения (пузырьки воздуха во внимание не принимаются), песчинки и тому подобное, то необходимо проверить смазку на содержание двух видов механических примесей.

Пластичные смазки должны обладать цветом от светло-желтого до темно-коричневого. Ряд смазок с наполнителями могут иметь цвет от синего до черного.

3. Изучите основу смазок.

Определение основы смазок или характера мыла, на котором приготовлена смазка, осуществляется путем ее растворения в воде или бензине (растворителе).

Кусочек испытываемой смазки (0,005 кг) помещается в пробирку, добавляется вода или другой растворитель (0,002 л), подогревается до 60 °С и тщательно перемешивается. Смазки на натриевой и литиевой основах растворяются в воде, смазки на углеродистой основе растворяются в бензине. Мыльные смазки в бензине не растворяются.

4. Определите вид консистентной смазки по жировому пятну.

Жировое пятно, образовавшееся на фильтровальной бумаге от нанесения на нее кусочка смазки, может позволить определить ее вид.

Фильтровальная бумага с пластичной смазкой подогревается над источником тепла, от него она полностью или частично расплывается, образуя масляное пятно. Технический вазелин расплавляется полностью, оставляя равномерное желтое пятно. Графитная смазка образует темное пятно с четко видимыми включениями графита. Солидолы оставляют мягкий остаток в центре обычно того же цвета, что и жировое пятно. Консталины кальциево-натриевые смазки образуют пятно небольшого диаметра или остаются не расплавленными даже при интенсивном нагреве до обугливания бумаги.

5. Изучите числа пенетрации.

Пенетрация характеризует густоту (консистентность) смазки и выражается в десятых долях мм глубины погружения в смазку конуса под действием собственной массы (0,15 кг) за 5 секунд при температуре +25 °С. Число пенетрации определяется на пенетрометре. С изменением температуры число пенетрации меняется. Лучше та смазка, у которой с увеличением температуры меньше увеличивается пенетрация.

6. Исследуйте температуры каплепадения смазок.

Температура каплепадения позволяет определять температуру плавления смазки, при которой она теряет свои смазывающие свойства.

Для надежной смазки рабочая температура должна быть на 10–20 °С меньше температуры каплепадения. Испытываемую смазку загружают в капсулы с отверстием 0,003 м, помещают в пробирку и подогревают со скоростью 1 °С за 60 секунд, одновременно наблюдая за тем, при какой температуре упадет первая капля на дно пробирки. Отмеченная температура называется температурой каплепадения.

7. Определите коллоидную стабильность смазок.

Коллоидная стабильность характеризует способность пластической смазки сопротивляться выделению из нее жидкого масла как при хранении, так и в работе. В зависимости от количества выделившегося масла смазка ухудшает или полностью теряет смазывающие свойства.

Для определения коллоидной стабильности навеску смазки помещают в цилиндр, установленный на стопку фильтровальной бумаги. В верхней части цилиндра имеется поршень, на который давит груз, массой 1 кг, в течение $1,8 \cdot 10^3$ сек. Под действием массы поршня жидкое масло выпрессовывается из смазки и впитывается в фильтровальную бумагу.

Количество масла, перешедшего в бумагу, выраженное в процентах, и есть показатель коллоидной стабильности.

Если определение коллоидной стабильности осуществляют при комнатной температуре, то она характеризует стабильность смазки при хранении.

8. Напишите отчет о работе и сделайте выводы.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Схемы приборов и принцип их работы.
4. Результаты изучения свойств пластических смазок в соответствии с порядком выполнения работы (полученные результаты внести в таблицу 12.3).

Таблица 12.3. – Результаты эксперимента

№ п.п.	Наименование и марка смазки	Цвет	Однородность	Наличие твердых примесей	Температура каплепадения	Число пенетрации	Коллоидная стабильность
1	2	3	4	5	6	7	8

5. Заключение об области применения смазок.
6. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется пластичной смазкой?
2. Приведите классификацию пластичных смазок.
3. Объясните область применения пластичных смазок.
4. Каков состав пластичных смазок?
5. Назначение универсальных смазок.
6. До каких температур работоспособны пластичные смазки?
7. В каких машинах и механизмах используются графитные, литиевые, кальциевые, углеводородные смазки?

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт о химии «Химик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://himuk.ru/encyklopedia/2/3399.html>. – Дата доступа: 23.10.2019.
2. Большой энциклопедический словарь «Словопедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.slovopedia.com/14/209/1019159.html>. – Дата доступа: 10.09.2015.
3. Автомобильные пластичные смазки / В. В. Ваванов [и др.]. – М. : Высш. школа, 1986. – С. 38–96.
4. Сеницын, В. В. Пластичные смазки в машиностроении / В. В. Сеницын. – М. : Химия, 1984. – С. 25–143.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

Цель работы: научиться определять влажность и плотность древесины, а также определять линейную и объемную усушку.

Оборудование и материалы: комплект образцов, технические весы, бюксы, эксикатор, штангенциркуль.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Древесина – хороший строительный материал, получаемый из стволовой части деревьев. Главные достоинства древесины – прочность, дешевизна и малый удельный вес (от 0,35 до 0,75 г/см³). По сравнению с металлами древесина имеет малую твердость и хорошо поддается различным видам обработки: пиленю, строганию, резанию, раскалыванию. Древесина имеет волокнистое строение. Прочность древесины неоднородна.

Интересно знать!

В лесах Беларуси произрастают 28 пород деревьев и около 70 видов кустарников. Самые распространённые породы деревьев в Беларуси – это берёза и сосна, которые встречаются на всей территории Беларуси, ель в северных районах страны и дуб в южных [1].

Вдоль волокон она гораздо выше, чем в поперечном направлении, и зависит от породы деревьев, которые делятся на твердые и мягкие.

К твердым породам относятся дуб, бук, ясень и клен, к мягким – сосна, ель, липа, осина, ольха.

Свежесрубленная древесина содержит до 40–60 % влаги, обладает пониженной прочностью, и поэтому перед обработкой ее высушивают на воздухе или в сушильных камерах.

По качеству и назначению древесину разделяют на деловую и топливо. Деловая древесина в свою очередь делится на круглую (бревна, подтоварник, жерди) и пиленую (доски, пластины, брусья). В машиностроении применяют чаще всего пиленую древесину. Из досок делают обшивку железнодорожных вагонов, кузовов грузовых автомашин и т. п. Чтобы повысить прочность древесины, из нее изготавливают фанеру-переклейку. Склеивая три или несколько слоев лущеной фанеры так, чтобы направление волокон различных слоев пересекалось, получают более прочный материал, чем доски [2].

Недостатками древесины являются малая по сравнению с металлами прочность, подверженность гниению, способность легко воспламеняться и впитывать в себя влагу. Предохранение древесины от гниения достигается пропитыванием различными веществами (креозот). Имеются также способы повышения огнестойкости древесины и уменьшения ее гигроскопичности.

К физическим свойствам древесины относят: внешний вид и запах, плотность, влажность и связанные с ней изменения – усушку, разбухание,

растрескивание и коробление. К физическим свойствам древесины относятся также ее электро-, звуко- и теплопроводность [3].

Для определения физических свойств древесины по стандартной методике изготавливают образцы, которые затем подвергают испытаниям. Сначала из кряжей выпиливают сердцевинные доски, затем распиливают их на рейки (рисунок 13.1), а из реек изготавливают образцы. Форма и размеры образцов приведены в описании отдельных видов испытаний древесины.

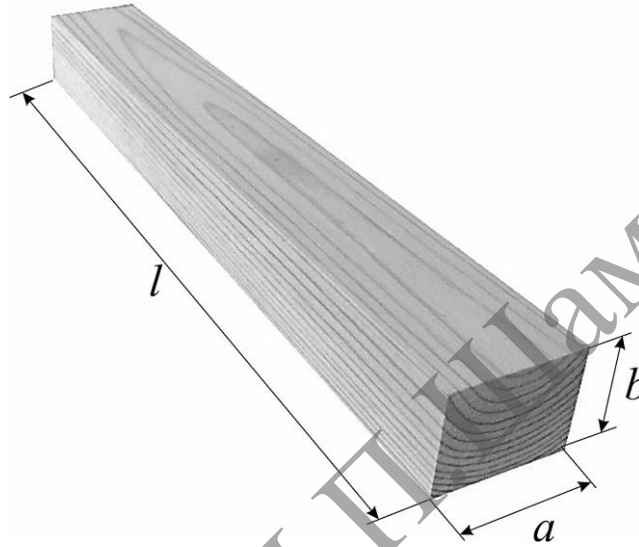


Рисунок 13.1. – Образец для определения величины усушки

При изготовлении образцов необходимо соблюдать следующие требования: образцы не должны содержать никаких пороков древесины; торцевые поверхности должны быть параллельными между собой и перпендикулярными боковым поверхностям; годовые слои на торцевых противоположных ребрах должны иметь тангентальные направления; грани образцов следует гладко отшкурить и выполнить точно под угольник; высота образцов должна иметь направление по образующей годовых слоев; отклонения в размерах допускаются в пределах $\pm 0,5$ мм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Влажность древесины определяют в процентах по отношению к массе абсолютно сухого образца. Образец размером $20 \times 20 \times 30$ мм очищают от опилок, пыли и помещают в предварительно взвешенную боксу. Боксу с образцом взвешивают на технических весах с точностью до $0,01$ г и, сняв крышку, ставят в сушильный шкаф, где при температуре 103 ± 2 °С высушивают образец до абсолютно сухого состояния, которое определяют несколькими контрольными взвешиваниями. Образцы мягких пород (сосна, ель, осина) взвешивают через 6 ч после начала сушки, твердых (дуб, бук, ясень и т. п.) – через 10 ч. Последующие контрольные

взвешивания производят через каждые 2 ч. Сушку заканчивают, когда разность между результатами последних двух взвешиваний будет не больше 0,02 г, после чего боксу закрывают в сушильном шкафу крышкой и переносят в эксикатор, в конусообразную нижнюю часть которого помещают безводный хлористый кальций. Боксу с образцом ставят на сетку эксикатора и охлаждают до комнатной температуры [2].

Влажность W вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле 13.1:

$$W = [(m_1 - m_2) / (m_2 - m)] \times 100 \%, \quad (13.1)$$

где m – масса пустой боксы, г;

m_1 – масса боксы с влажным образцом, г;

m_2 – масса боксы с высушенным образцом, г.

В случае, когда древесина длительное время находилась при постоянной температуре и относительной влажности воздуха и не увлажнялась атмосферными осадками, ее влажность (равновесную) можно определять по диаграмме Н. Н. Чулицкого. Например, чтобы определить влажность древесины, хранящейся в помещении при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 60 %, по диаграмме устанавливают, около какой наклонной линии вертикальная линия, соответствующая температуре 20 °С, пересекается с горизонтальной линией, соответствующей влажности 60 %. Это пересечение происходит на линии, соответствующей влажности древесины 13 %.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Плотность древесины определяют на образцах прямоугольной формы при влажности древесины в момент испытания, в абсолютно сухом состоянии и с условной плотностью. Определение плотности древесины при влажности в момент испытания выполняют следующим образом. Из ранее изготовленных образцов в виде прямоугольных призм сечения 20х20 мм и высотой (вдоль волокон) 30 мм выбирают образцы. Подлежащие испытанию образцы должны иметь прямые углы и гладко выструганные поверхности. Размер поперечного сечения и длину (a , b и l) измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм по осям симметрии образцов. Объем вычисляют с точностью до 0,01 см³. Сразу после измерения образец взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г и вычисляют плотность $\rho_m(W)$ [2]:

$$\rho_m(W) = m_w / V_w, \quad (13.2)$$

где m_w – масса образца при влажности W , г;

V_w – объем образца при влажности W , см³.

Найденную плотность пересчитывают на стандартную 12%-ную влажность древесины:

$$\rho_m(12) = \rho_m(W) [1 + 0,01 (1 - K_0) (12 - W)], \quad (13.3)$$

где K_0 – коэффициент объемной усушки, %;
 W – влажность.

Если коэффициент объемной усушки не определяется, то при пересчете для древесины березы, бука и лиственницы значение его берут равным 0,6, а для прочих пород – 0,5.

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии определяют на тех же образцах, которые затем подсушивают в течении 3 ч при температуре 50–60 °С. После этого образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре 103 ± 2 °С до постоянной массы так же, как описано выше (см. определение влажности). Высушенные образцы взвешивают с точностью до 0,01 г и штангенциркулем измеряют размеры поперечного сечения (a_0 и b_0) и длину l_0 по осям симметрии образцов.

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии ρ_0 вычисляют по формуле (13.4):

$$\rho_0 = m_0 / (a_0 \times b_0 \times l_0), \quad (13.4)$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;
 a_0, b_0, l_0 – размеры образца, см.

Условная плотность древесины определяется на образцах с влажностью, равной или большей предела гигроскопичности. При этом допускается вымачивать образцы в дистиллированной воде при температуре 10–20 °С до изменения размеров на 0,1 мм. Образцы измеряют, высушивают и взвешивают.

Вычисляют условную плотность древесины с плотностью до 1 кг/м^3 по формуле (13.5):

$$\rho_{\text{усл}} = m_0 / (a_{\text{max}} \times b_{\text{max}} \times l_{\text{max}}), \quad (13.5)$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;
 $a_{\text{max}}, b_{\text{max}}, l_{\text{max}}$ – размеры образца при влажности, равной или большей предела гигроскопичности, см.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСУШКИ И РАЗБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

При высыхании древесины от 30 % (точка насыщения волокон) уменьшаются ее линейные размеры и объем, т. е. происходит усушка. Обратное явление – разбухание, т. е. увеличение размеров древесины и ее объема при увлажнении до 30 % [2].

Различное строение древесины вдоль и поперек волокон, в тангентальном и радиальном направлениях определяет и различное

влияние влажности на величину усушки и разбухания. Так, в среднем изменение размеров древесины составляет по длине волокон 0,1 %, в радиальном направлении 3–6 % и тангентальном 6–12 %. Поскольку усушка вдоль волокон незначительна и не имеет практического значения, ее обычно не определяют.

Линейную усушку древесины поперек волокон (радиальную и тангентальную) определяют на образце в виде прямоугольной призмы сечением 20x20x30 мм. Все поверхности образцов следует гладко обработать точно под угольник и щеткой очистить от пыли. На каждый образец наносят номер.

Размеры поперечного сечения образцов измеряют штангенциркулем с точностью не более 0,01 мм по осям симметрии, размер a в радиальном направлении и размер b в тангентальном направлении.

На технических весах взвешивают пронумерованные бюксы с притертыми крышками с образцами до высушивания, затем помещают бюксы с образцами и снятые крышки в сушильный шкаф для предварительного подсушивания при температуре 50–60 °С в течение 3 ч. Затем образцы высушивают повторными взвешиваниями с точностью 0,01 г двух-трех образцов. Первое навешивание при высушивании мягких пород выполняют не ранее чем через 6 ч высушивания при 103 ± 2 °С, а при высушивании твердых пород – не ранее 10 ч. Повторные взвешивания проводят через 2 ч. Высушивание считается законченным, когда разница между двумя последними взвешиваниями будет не более 0,02 г. Перед взвешиванием образцы охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе гигроскопическим веществом.

После окончания высушивания вторично измеряют поперечное сечение образцов с точностью до 0,01 мм по тем же направлениям и в тех же местах, что и первый раз. Эти измерения следует проводить как можно быстрее, чтобы древесина образцов не успела поглотить влагу из воздуха.

По результатам взвешивания определяют влажность древесины по приведенной ранее формуле, а затем вычисляют с точностью до 0,1 % усушки по следующим формулам (13.6, 13.7):

В радиальном направлении:

$$U_p = [(a - a_1) / a_1] \times 100 \% ; \quad (13.6)$$

в тангентальном направлении:

$$U_t = [(b - b_1) / b_1] \times 100 \% , \quad (13.7)$$

где a , b – размеры влажного образца соответственно вдоль волокон, в радиальном и тангентальном направлениях;

a_1 , b_1 – размеры влажного образца соответственно вдоль волокон, в радиальном и тангентальном направлениях после высушивания.

Коэффициент линейной усушки древесины, % (т. е. средней усушки на 1 % уменьшения ее влажности), по тем же направлениям вычисляют с точностью до 0,01 % по формулам (13.8, 13.9):

$$K_p = Y_p / W; \quad (13.8)$$

$$K_T = Y_T / W \quad (13.9)$$

где W – влажность образца в %, определяемая на отдельной пробе, вырезанной рядом с образцом при его изготовлении.

Объемная усушка характеризуется уменьшением объема образца древесины при изменении ее влажности от точки насыщения волокон до 0.

Объемную сушку определяют тем же способом и на том же образце, что и линейную, но, кроме размеров a и b , измеряют еще высоту l . По этим трем размерам определяют объем образца до V_w и после высушивания V_0 с точностью до 0,01 см³ по формулам (13.10, 13.11):

$$V_w = a \times b \times l, \quad (13.10)$$

$$V_0 = a_1 \times b_1 \times l_1 \quad (13.11)$$

Объемную сушку $V_{об}$ вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле (13.12):

$$V_{об} = (V_w - V_0) / V_0 \quad (13.12)$$

Разбухание древесины определяют на образцах того же размера. Образцы вымачивают в дистиллированной воде при температуре 20–25 °С. Изменение размеров проверяют повторным измерением двух-трех образцов в тангентальном направлении через каждые 3 суток. Когда расхождение между двумя последними измерениями будет не более 0,02 мм, определяют размеры поперечного сечения образцов. Перед измерениями поверхность образцов следует обсушить фильтровальной бумагой. Измеряют и взвешивают образцы так, как описано выше.

Линейное разбухание древесины R , % с точностью до 0,1 % вычисляют по формулам (13.13, 13.14)

- в радиальном направлении:

$$R_p = [(a_{max} - a) / a] \times 100, \quad (13.13)$$

- в тангентальном направлении:

$$Y_T = [(b_{max} - b) / b] \times 100, \quad (13.14)$$

где a_{max} , b_{max} – размеры образца при влажности, равной или больше предела гигроскопичности (30 %), т. е. после вымачивания в воде, мм.

Затем вычисляют объемное разбухание древесины P_v , %, не учитывая продольного разбухания, с округлением до 0,1% по приближенной формуле (13.15):

$$P_v = [(ab - a_0b_0) / a_0b_0] \times 100. \quad (13.15)$$

Коэффициент разбухания K_p вычисляют с точностью до 0,01 % на 1 % влажности по формуле (13.16):

$$K_p = P / W, \quad (13.16)$$

где P – линейное тангентальное или рациональное разбухание,
 W – начальная влажность образца, %, вычисленная с погрешностью до 0,1 %.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пройдите инструктаж по мерам безопасности и получите задание у преподавателя.
2. Определите влажность древесины.
3. Найдите плотность древесины при влажности W , в абсолютно сухом состоянии и условную.
4. Определите усушку древесины: линейную, объемную – и коэффициент усушки.
5. Рассчитайте разбухание древесины и коэффициент разбухания.
6. Полученные результаты сведите в таблицу 13.1.
7. Зарисуйте образцы с указанием размеров для всех видов опытов.
8. По результатам эксперимента сделайте вывод и сдайте отчет на проверку преподавателю.

Таблица 13. – Результаты эксперимента

Порода древесины	W	$\rho_m(W)$	ρ_0	$\rho_{усл}$	U_p	U_T	K_p	K_T	V_w	V_0	$V_{об}$	P_p	P_T	P_v	K_p

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Рисунки образцов древесины.
4. Выполненные расчеты и результаты эксперимента.
5. Выводы о проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные физические свойства древесины.
2. Где находит применение в машиностроении древесина?
3. Расскажите о преимуществах и недостатках древесины как машиностроительного материала.
4. Кратко изложите методику определения влажности древесины.
5. Что такое усушка и разбухание и как они определяются?

ЛИТЕРАТУРА

1. Фотоэнциклопедия Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fotobel.by/o-sajte/belarus-info>. – Дата доступа: 23.10.2019.
2. Зубарев, Г. Н. Конструкции из дерева и пластмасс / Г. Н. Зубарев. – М. : Высш. школа, 1990. – С. 10–55.
3. Чередниченко, В. С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.

МГТУ ИМ. И.П.ШАЛЯГИНА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14 ИЗУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ

Цель работы: изучение теоретических основ и технологических приемов получения композиционных материалов с полимерной матрицей.

Оборудование и материалы: металлическая форма, фольга, ножницы, пинцет, парафин, резиновые перчатки, фарфоровая пиала, стеклянная палочка, эпоксидная смола, отвердитель, стекловолокно, штангенциркуль, микрометр, аналитические весы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Композиционные материалы (КМ) представляют собой металлические и неметаллические матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц и др.); при этом эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиции. По характеру структуры КМ подразделяются на:

- 1) волокнистые, упрочненные волокнами и нитевидными кристаллами;
- 2) дисперсноупрочненные материалы, полученные путем введения в металлическую матрицу дисперсных частиц-упрочнителей;
- 3) слоистые материалы, созданные путем прессования или прокатки разнородных материалов;
- 4) эвтектические сплавы после направленной кристаллизации эвтектических структур.

Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Важнейшими технологическими методами изготовления КМ являются:

- 1) пропитка армированных волокон матричным материалом;
- 2) формирование в пресс-форме лент упрочнителя и матрицы, получаемых намоткой;
- 3) холодное прессование обоих компонентов с последующим спеканием;
- 4) электрохимическое нанесение покрытий на волокна с последующим прессованием;
- 5) осаждение матрицы плазменным напылением на упрочнитель с последующим обжатиением;
- 6) пакетная диффузионная сварка многослойных лент компонентов;

7) совместная прокатка армирующих элементов с матрицей и др.

К композиционным материалам с полимерной матрицей относятся стеклопластики, органопластики, углепластики, боропластики и гибридные армированные пластики. Стеклопластики армированы стеклянными волокнами, органопластики – высокопрочными арамидными волокнами, углепластики – высокопрочными углеродными волокнами, боропластики – волокнами бора, гибридные армированы волокнами разной природы.

В качестве связующих применяются различные смолы: эпоксидные, резольные, фенолформальдегидные, кремний-органические и другие. Полимерная матрица (пластик) образуется после отверждения (полимеризации) связующего (смолы). Процесс превращения жидкой смолы в твердую называется отверждением. Армирующими элементами в конструктивных стеклопластиках являются непрерывные стекловолокна, организованные в виде нитей и жгутов различной степени крутки, либо ткани из стекловолокна различного переплетения. Слоистые стеклопластики на основе тканей называют стеклотекстолитами.

При сравнительно малой плотности ($2,4-2,6 \cdot 10^3$ кг/м³) стеклянные волокна имеют высокую прочность, низкую теплопроводность, они теплостойки, стойки к химическому и биологическому действию. Форма сечения стекловолокна – круг. Однако выпускаются и полые волокна и профилированные с формой сечения в виде треугольника, квадрата, шестиугольника, прямоугольника. Непрерывные волокна получают вытягиванием расплавленной стекломассы через фильеры диаметром 0,8–3,0 мм и дальнейшем быстрым вытягиванием до диаметра 3–19 мкм. Штапельное стеклянное волокно получают вытягиванием непрерывного стекловолокна и разрывом его на отрезки определенной длины или разделением расплавленного стекла на отдельные части, которые затем растягивают (раздувают) на короткие волокна центробежным или комбинированным способами.

По прочности стекловолокна (на один-два порядка) превосходят стекла в виде блоков. Так, модуль упругости стекловолокна ВМ-1 составляет 95 ГПа, а средняя прочность (на базе 10 мм) 4,80 ГПа. Стекловолокна весьма термостойки. У стекловолокон модуль упругости снижается незначительно вплоть до температуры размягчения. Стекловолокна применяются в качестве армирующих элементов композитов в виде жгутов и нитей из элементарных волокон, лент, тканей разнообразного плетения, матов, холстов и других нетканых материалов.

Совместимость полимеров – термин, отражающий возможность получения композиционного материала при смешивании исходных высокомолекулярных компонентов с определенным комплексом эксплуатационных свойств. Для каждой пары совместимость зависит от природы составляющих, их молекулярной массы и условий совмещения. В работах [2, 3] авторы предлагают разделять все полимерные

смеси на совместимые, несовместимые и квазисовместимые, характеризующиеся макроскопической однородностью при отсутствии совместимости на молекулярном уровне, то есть по термодинамической совместимости. Выделяют также понятие технологической совместимости, при которой отсутствует расслоение высокомолекулярных термодинамически несовместимых компонентов смеси в течение времени ее эксплуатации [4]. Хорошо известны методы оценки совместимости по механической однородности, оптической прозрачности, температуре стеклования полимерных смесей [5]. Тем не менее, существование значительного количества подобных методик не может характеризовать все многообразие различных аспектов изучаемого процесса.

Предложено использование методики качественной оценки технологической совместимости высокомолекулярных компонентов в бинарных полимер-полимерных смесях [6, 7]. Методика основана на проведении комплексного анализа спектров электронного парамагнитного резонанса стабильного нитроксильного радикала, введенного в исследуемую композицию. Сегментальную подвижность в исходных компонентах и их смесях в области быстрых вращений оценивали по изменению времени корреляции вращения стабильного нитроксильного радикала (τ_c).

Полимерная матрица образуется после отверждения (полимеризации) связующего. К связующим и матрицам предъявляется весьма широкий комплекс требований как в процессе изготовления материала, так и при эксплуатации изделия из композита.

Комплекс требований на этапе изготовления: хорошая смачивающая способность и адгезия к армирующему материалу, низкая усадка при отверждении, низкая вязкость связующего при большой жизнеспособности, высокая скорость отверждения. Основными связующими являются эпоксидные, полиэфирные, термостойкие, полибутадиеновые смолы. Разработаны связующие нового типа, получившие название роливсанов, которые дают возможность сочетать высокую теплостойкость композита и легкую перерабатываемость связующего.

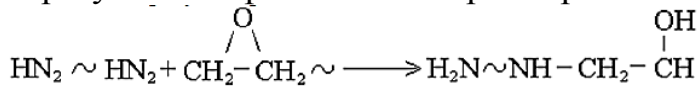
Комплекс требований, которые предъявляются к матрице на этапе эксплуатации: высокие физико-механические характеристики матрицы, во многом определяющие свойства композита, высокая термостойкость матрицы, стойкость к климатическим и биологическим факторам и т. д.

В качестве связующих для производства композиционных материалов широко применяются эпоксидные смолы. Эпоксидные связующие имеют плотность 1230–1300 кг/м³, модуль упругости при растяжении 2000–4000 МПа. Эпоксидные смолы содержат

эпоксигруппу $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} - \text{C} - \end{array}$. Важной технологической характеристикой смол

является их вязкость, при этом одна и та же смола может иметь различную вязкость. Так, например, разные марки эпоксидной смолы могут иметь вязкость 13–28 Па·с (смола ЭД-16) и $1,5 \cdot 10^3$ Па·с (смола АЦ-30).

Кроме армирующего компонента (для стеклопластиков – стеклянных волокон) и связующего (смолы), для протекания полимеризации на стадии формирования композиционных материалов с полимерной матрицей в систему вводят отвердители. Применяются различные отвердители: амины, ангидриды кислот, трехфтористый бор (BF_3) и другие вещества. При этом время отверждения смолы зависит от вида отвердителя. Так, отверждение эпоксидной смолы алифатическими аминами происходит гораздо быстрее, чем ароматическими. В первом случае «время жизни» смолы может варьировать от нескольких минут до нескольких часов, тогда как во втором до 24 часов и более. При смешивании эпоксидной смолы с отвердителем эпоксидные группы химически взаимодействуют с молекулами отвердителя, вследствие чего образуется развитая трехмерная пространственная структура



Жидкая смола при этом превращается в твердую, т. е. происходит отверждение. Ароматические и алифатические отвердители аминного типа содержат реакционноспособные группы на обоих концах молекулы. Это позволяет отвердителям образовывать сшивки между молекулами эпоксидов. Например, концевая аминогруппа (первичный амин) взаимодействует с эпоксидной группой, принадлежащей молекуле смолы, следующим образом: когда образовавшаяся при этом вторичная аминогруппа соединится с эпоксидной группой, принадлежащей второй молекуле смолы, образуется межмолекулярная сшивка.

Количество отвердителя и смолы, которое следует взять для получения точного стехиометрического соотношения реакционноспособных групп (количество массовых частей амина, которые следует вводить в 100 массовых частей смолы), рассчитывается как частное от деления молекулярной массы амина на произведение количества соответствующих атомов водорода в молекуле амина на эквивалентную массу эпоксидных групп.

Реакция между алифатическими аминами и эпоксидными группами протекает при комнатной температуре. В случае использования жестких ароматических аминов необходимо нагревание. Химическая связь между атомами углерода и азота, возникающая при «сшивании» смолы аминами, устойчива к действию большинства неорганических кислот и щелочей.

Известно много способов формования (придания формы) композиционных материалов с полимерной матрицей. Наиболее широко применяются следующие способы: прессование, контактный, контактно-вакуумный, автоклавный, намотка, напыление, центробежный и др. Правильность выбора метода изготовления конструкций изделий является

важной технологической задачей, определяющей, как правило, их свойства, а также преимущества полимерных композиционных материалов перед другими материалами. При выборе способа изготовления изделий необходимо учитывать их назначение и требования, предъявляемые к ним, конструкцию и габариты изделия, а также масштабы их производства. Кроме того, способ изготовления конструкций изделий зависит от типа армирующего волокнистого наполнителя и полимерного связующего. Параметры же процесса определяются в первую очередь типом используемого связующего и очень часто не зависят от применяемого армирующего материала. Выбор того или иного способа следует осуществлять исходя, прежде всего, из конструктивных особенностей деталей, технических требований, предъявляемых к готовым изделиям, а также экономической целесообразности.

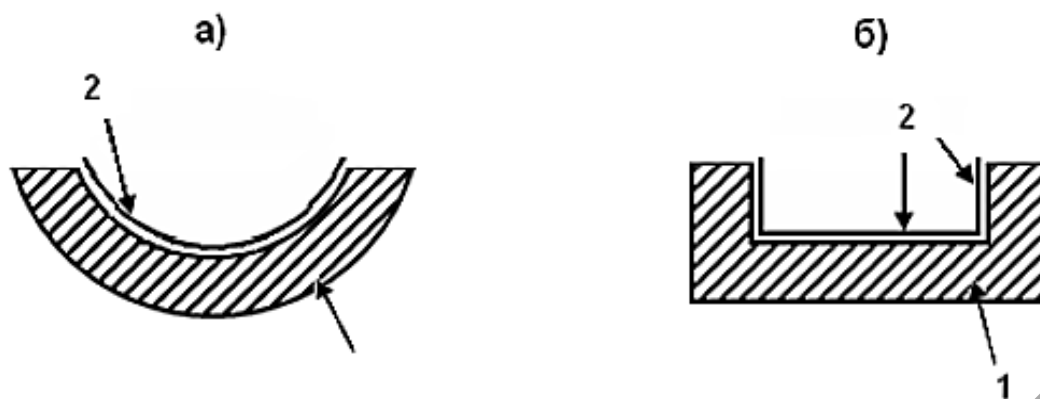
В данной лабораторной работе применяется метод контактного формования. Он является наиболее простым по аппаратурно-технологическому оформлению. В промышленности он применяется для изготовления сравнительно небольшого количества крупногабаритных малонагруженных изделий сложной конфигурации: лодок, крыльев автомобилей, небольших катеров, трехслойных, с пенопластовым наполнителем, кузовов специальных машин и укрытий антенн. Он считается экономически целесообразным, так как не требует сложной и дорогостоящей технологической оснастки и оборудования.

Суть метода: на подготовленную форму последовательно укладываются, пропитываются связующим и уплотняются до нужной толщины слои армирующего материала (стекловолокна в данной лабораторной работе). Процесс изготовления изделий методом контактного формования состоит из следующих операций: нанесение разделительных покрытий на формы, раскрой тканых или нетканых армирующих материалов, приготовление связующих, укладка армирующего материала на форму, нанесение на армирующий материал связующего и пропитка им арматуры, формование изделия с одновременным или последующим его отверждением при комнатной температуре или нагревании до 70–95 °С после желатизации смолы, извлечение изделия из формы и механическая обработка его по контуру согласно требованиям чертежа [8].

Подготовка формы к работе

1. Изучить форму: форма металлическая, разъемная, состоит из трех частей – средней части и двух боковин (торцов) (рисунок 14.1). Внутренняя поверхность формы выкладывается фольгой, которая имеет гладкую поверхность.

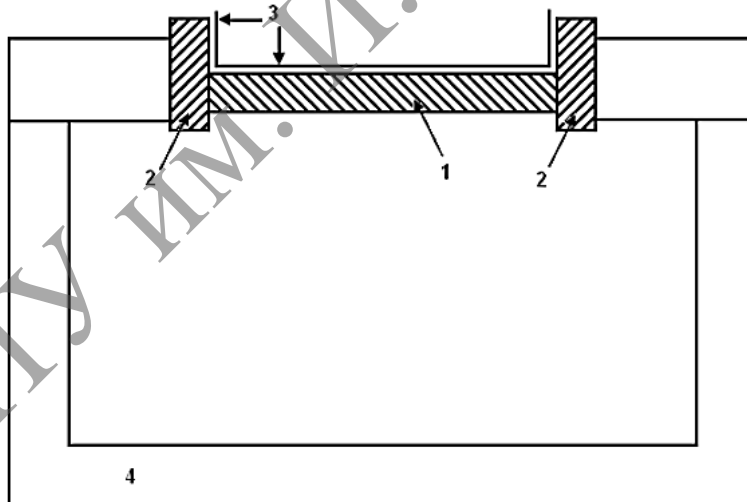
2. Ножницами нарезать фольгу, размерив по внутренней поверхности формы, т. е. с двух торцов и средней части.



1) корпус формы; 2) молибденовая фольга;
а) форма в виде полуцилиндра; б) прямоугольная форма

Рисунок 14.1. – Поперечное сечение формы

3. Отполировать одну поверхность фольги парафином. Для этого зажечь свечу и наклоном ее сливать струйки парафина на фольгу. Салфеткой втереть парафин в фольгу. Затем снова повторить операцию полировки фольги парафином. После нанесения очередного слоя парафина фольга выдергивается до его затвердевания. Так нанести четыре слоя парафина. После окончания полировки необходимо убедиться, что фольга не имеет шероховатой или матовой поверхности (не допускать избытка парафина на поверхности). Собрать форму согласно рисунку 14.2.



1) средняя часть формы; 2) ее бока; 3) молибденовая фольга;
4) зажимное устройство (тиски)

Рисунок 14.2. – Продольный разрез формы

Подготовка связующего

Работу производить в резиновых перчатках. Связующее готовится из эпоксидной смолы и отвердителя. В емкость (фарфоровая пиала) последовательно наливают 10 мл смолы и 1 мл отвердителя. Затем содержимое тщательно перемешивают стеклянной палочкой.

Подготовка стекловолокна

1. Измельчить стекловолокно на отрезки, соответствующие внутренней длине формы.

2. Измерить диаметр стекловолокна (микрометром, штангенциркулем).

3. По заданной преподавателем объемной доле волокна и объему формы определить необходимую массу стекловолокна. Для этого:

а) по внутренним размерам формы определить ее внутренний объем (см^3);

б) по заданной объемной доле определить объем стекловолокна (см^3);

в) по плотности стекловолокна ($2,5 \text{ г/см}^3$) и его объему определить массу стекловолокна в образце.

Взвесить на аналитических весах рассчитанную массу стекловолокна. Промыть и высушить стекловолокно.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нанести тонкий слой связующего на дно формы.

2. Уложить (пинцетом) кусочки стеклянных волокон на дно формы и слой связующего (по длине формы). Следить, чтобы между стекловолокнами оставался зазор, заполненный связующим.

3. Сверху нанести еще один тонкий слой связующего.

4. Уложить на него (в него) ряд стекловолокон.

5. Можно чередовать один слой стекловолокон по длине формы, а другой слой – поперек формы. Продолжить послойно укладку связующего и стекловолокна до полного заполнения формы.

6. Положить сверху отполированную парафином полоску фольги из молибдена.

7. Надавить на эту фольгу, тем самым сжимая, уплотняя содержимое в форме (эту операцию можно проводить ручным прессом).

8. Оставить форму до следующего занятия.

9. На следующем занятии разобрать форму, извлечь и почистить образец.

10. Провести испытания прочности полученного образца стеклопластика на изгиб.

11. Построить график зависимости прочности стеклопластика ($\sigma_{\text{изг}}$ – ордината) от объемной доли стекловолокна в нем (V_f – абцисса). Для этого необходимо воспользоваться данными $\sigma_{\text{изг}}$ такого же стеклопластика с другими значениями V_f (полученными студентами в лабораторных работах).

12. Провести статистическую обработку полученных результатов.

13. Оформить отчет и сдать преподавателю на проверку.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблиц и графиков. Представить полученный стеклопластик в соответствии с заданием.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой материал называется композиционным? Приведите классификацию КМ.
2. Какая существует классификация композиционных материалов с полимерной матрицей?
3. Назовите материалы, используемые в качестве армирующих элементов в ПКМ.
4. Назовите материалы, используемые в качестве матрицы в ПКМ.
5. Какие существуют способы формования ПКМ? Что такое формование?
6. Расскажите кратко методику изготовления стеклопластика.
7. Что называется технологической совместимостью? Какие существуют полимерные смеси по совместимости?

ЛИТЕРАТУРА

1. Материаловедение и технология композиционных материалов: методические указания для лабораторных работ по специальности 150108 / Э. М. Никифорова [и др.]. – Красноярск : Сибирский федер. унив-т, 2007. – 44 с.
2. Успехи химии / А. А. Тягер [и др.]. – М. : Химия, 1987. – Т. 56. – Вып. 6. – С. 1004-1023.
3. Mac. Knight William J. / Plasty a Kauc, 28. – 1991. – № 9. – P. 265–271.
4. Gaylord, N. G. // Macromol. Sci., 28 A. – 1989. – № 8. – P. 1211–1229.
5. Мэнсон, Д. Полимерные смеси и композиты : пер. с англ. / Д. Мэнсон; под ред. Ю. К. Годовского. – М. : Химия, 1979. – 440 с.
6. Исследование совместимости компонентов полимерных смесей методом ЭПР / А. В. Макаренко [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – Гомель, 2004. – № 4, (Т. 9). – С. 107–110.
7. Исследование совместимости компонентов полимерных смесей методом ЭПР / А. В. Макаренко [и др.] // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: тезисы докладов 2 Гомел. рег. конф. молодых ученых, Гомель, 30–31 октября 2003 г. / Изд-во ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2003. – С. 72–73.
8. Чередниченко, В. С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер, Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : Metallurgia, 1984. – 447 с.
3. Чередниченко, В. С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов* / В. С. Чередниченко. – М. : Омега – Л., 2006. – С. 714–718.
4. *Материаловедение и технология металлов* / М. Г. Фетисов, [и др.]. – М. : Высш. школа, 2001. – 640 с.
5. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Латунь>. – Дата доступа: 23.10.2019.
6. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Бронза>. – Дата доступа: 23.10.2019.
7. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Дюралюминий>. – Дата доступа: 23.10.2019.
8. Сайт о химии «Химик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ximuk.ru/encyklopedia/2/3399.html>. – Дата доступа: 23.10.2019.
9. Большой энциклопедический словарь «Словопедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.slovopedia.com/14/209/1019159.html>. – Дата доступа: 10.09.2015.
10. *Автомобильные пластичные смазки* / В. В. Ваванов [и др.]. – М. : Высш. школа, 1986. – С. 38–96.
11. Сеницын, В. В. *Пластичные смазки в машиностроении* / В. В. Сеницын. – М. : Химия, 1984. – С. 25–143.
12. Фотоэнциклопедия Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fotobel.by/o-sajte/belarus-info>. – Дата доступа: 23.10.2019.
13. Зубарев, Г. Н. *Конструкции из дерева и пластмасс* / Г. Н. Зубарев. – М. : Высш. школа, 1990. – С. 10–55.
14. *Материаловедение и технология композиционных материалов : методические указания для лабораторных работ по специальности 150108* / Э. М. Никифорова [и др.]. – Красноярск : Сибирский федер. унив-т, 2007. – 44 с.
15. *Успехи химии* / А. А. Тягер [и др.]. – М. : Химия, 1987. – Т. 56. – Вып. 6. – С. 1004–1023.
16. Mac. Knight William J. / *Plasty a Kauc*, 28. – 1991. – № 9. – P. 265–271.
17. Gaytord, N. G. // *Macromol. Sci.*, 28 A. – 1989. – № 8. – P. 1211–1229.

18. Мэнсон, Д. Полимерные смеси и композиты : пер. с англ. / Д. Мэнсон ; под ред. Ю. К. Годовского. – М. : Химия, 1979. – 440 с.

19. Исследование совместимости компонентов полимерных смесей методом ЭПР / А. В. Макаренко [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – Гомель, 2004. – № 4, (т. 9). – С. 107–110.

20. Исследование совместимости компонентов полимерных смесей методом ЭПР / А. В. Макаренко [и др.] // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования : тезисы докладов 2 Гомел. рег. конф. молодых ученых, Гомель, 30–31 октября 2003 г. / Изд-во ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2003. – С. 72–73.

МГТУ им. И.П.Шамякин

Учебное издание

**Бакланенко Людмила Николаевна,
Иващенко Сергей Анатольевич,
Макаренко Андрей Владимирович**

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Пособие

**Корректор *Т. И. Татаринова*
Оригинал-макет *Л. Н. Добрянская***

Подписано в печать 22.01.2020. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 7,79. Уч.-изд. л. 9,93.
Тираж 55 экз. Заказ 1.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Мозырский государственный
педагогический университет имени И. П. Шамякина».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.
Ул. Студенческая, 28, 247777, Мозырь, Гомельская обл.
Тел. (0236) 24-61-29.