

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ**

Кафедра металлургических технологий и оборудования

Бирюкова О.Д.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
МАТЕРИАЛОВ И ПРОЦЕССОВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
22.03.02 Металлургия,
Профиль – Обработка металлов давлением,
всех форм обучения

УДК 669.053

ББК 34.22

Б 64

Рецензенты:

И.о. ведущего специалиста НТЦ ПАО «ММК», к.т.н.

О.В. Сеницкий

*Доцент кафедры металлургических технологий и оборудования
Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС», к.т.н., доцент*

А.Н. Шаповалов

Бирюкова О.Д. Методы исследования материалов и процессов: лабораторный практикум. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСИС», 2023. – 54 с.

Лабораторный практикум по дисциплине «Методы исследования материалов и процессов» предназначен для изучения способов и методик измерения свойств материалов и необходимого для этого оборудования.

Рассмотрена методика проведения лабораторных работ, теоретические основы изучаемых вопросов, приведены требования к оформлению отчетов и вопросы для самопроверки.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования НИТУ «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.02 Metallurgy.

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСИС»

© ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСИС»
Новотроицкий филиал, 2023

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и принципа работы микроскопа	5
Лабораторная работа № 2. Металлографические исследования макро- и микроструктуры чугунов и сталей	11
Лабораторная работа № 3. Ознакомление с методикой механических испытаний. Испытание на растяжение.....	26
Лабораторная работа № 4. Ознакомление с методикой механических испытаний. Испытание на кручение.....	31
Лабораторная работа № 5. Ознакомление с методикой механических испытаний. Испытание на сжатие.....	37
Лабораторная работа № 6. Виды дефектов. Качество продукции и технический контроль	42
Список рекомендуемой литературы.....	52

Введение

Важным фактором роста уровня предприятия, его производительности и финансового благополучия является повышение качества производимой продукции. Любое современное производство должно использовать определенные системы контроля качества, способные помочь персоналу избежать ошибок при производстве и, тем самым, снизить издержки при получении более качественного продукта.

Известно, что на качество приходится примерно 70 % веса всех показателей конкурентоспособности предприятия, т.к. потребитель в первую очередь оценивает качество полученного материала.

Есть несколько способов контроля качества продукции, в том числе микроскопический и рентгенографический методы контроля и исследований, термические и спектральные методы, механические испытания и т.д. Все эти способы можно отнести к двум основным группам – неразрушающему и разрушающему методу исследования материалов и процессов. Благодаря им возможно обнаружить как дефекты, так и определить основные свойства испытываемых тел. Преимущество разрушающего контроля состоит в том, что он позволяет получать количественные характеристики материалов. Неразрушающий контроль, напротив, характеризуется тем, что пригодность объекта к использованию и эксплуатации не должна быть нарушена.

В данном лабораторном практикуме рассмотрены такие способы контроля качества продукции как: макро- и микроскопия, испытания на определение механических свойств (испытания на растяжение, кручение и сжатие). Также представлены данные по техническому контролю качества продукции, в том числе описаны дефекты прокатного производства и представлены способы их предупреждения.

Лабораторная работа № 1

Изучение устройства и принципа работы микроскопа

Цель лабораторной работы: познакомиться с устройством и принципом действия оптического микроскопа и практическими приемами исследования микроструктуры твердых тел.

Теоретические данные

Металлографический анализ – это метод исследования материалов, позволяющий визуально оценить внутреннее строение (например, при исследовании металлов и сплавов возможно проанализировать наличие и расположение пор, неметаллических включений, текстуру, зёрненное строение, оценить состояние границ и фаз).

Исследование структуры металлов и сплавов возможно провести при помощи металлографического микроскопа (микроанализ) или визуально/с помощью лупы (макроанализ). Микроанализ подразумевает под собой исследование структуры при большом увеличении и состоит из следующих этапов: приготовление микрошлифа, травление микрошлифа и непосредственно исследование микроструктуры под микроскопом.

Устройство и принцип действия металлографических микроскопов.

Микроскоп – оптический прибор для получения сильно увеличенных изображений малых объектов. Человеческий глаз при нормальной остроте зрения на расстоянии наилучшего видения ($D = 250\text{мм}$) может различать мелкую структуру, состоящую из линий или точек, если соседние элементы структуры находятся друг от друга на расстоянии, не меньшем $0,08\text{мм}$. Для изучения более мелких объектов и предназначаются микроскопы различных типов. С помощью микроскопа определяются форма, размеры микрообъектов. Микроскоп дает возможность различать структуры с расстоянием между элементами до $0,25\text{мкм}$. Оптическая схема микроскопа представлена на рисунке 1.1. Предмет (препарат) PQ освещается осветителем и конденсором К. Объектив Об создает действительное, перевернутое изображение P'Q' предмета PQ.

Это изображение рассматривается через окуляр Ок, который дает дополнительное увеличение и образует мнимое изображение P''Q'' на расстоянии наилучшего видения. Общее увеличение микроскопа V равно произведению увеличения объектива $V_{Об}$ на увеличение окуляра $V_{Ок}$.

Объективы обычных микроскопов имеют увеличения от 8 х до 90 х, а окуляры – от 7 х до 15 х. Поэтому общее увеличение обычных микроскопов лежит в пределах от 56 х до 1350 х.

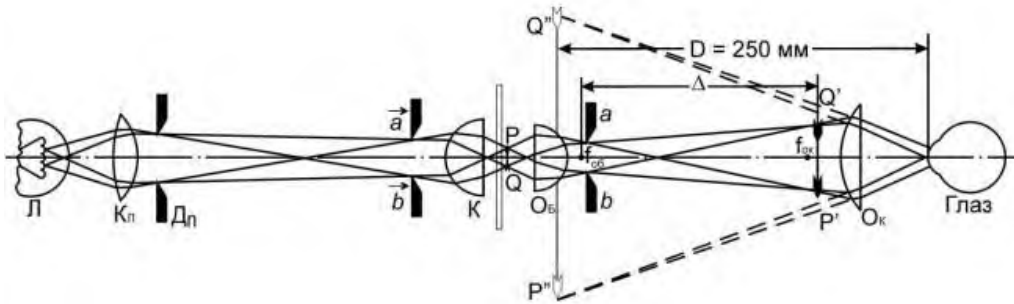


Рисунок 1.1 – Оптическая схема микроскопа

Важной характеристикой микроскопа является его разрешающая способность, которая ограничена дифракцией света и зависит от численной апертуры объектива и длины волны света. В результате дифракции изображение бесконечно малой светящейся точки имеет вид круглого светлого диска, окруженного несколькими светлыми кольцами. Первое кольцо имеет освещенность, равную 1,75% освещенности диска. Диаметр диска $d = 1,22\lambda / A$, где A численная апертура объектива, что иллюстрируют рисунки 1.2 и 1.3.

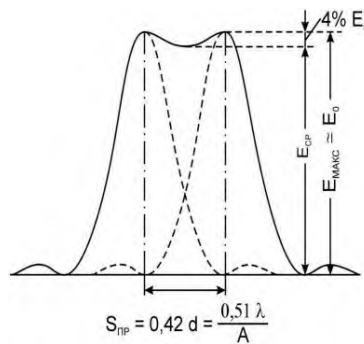


Рисунок 1.2 – Распределение освещённости в изображении двух близких «точек» в предельном случае их визуального разрешения

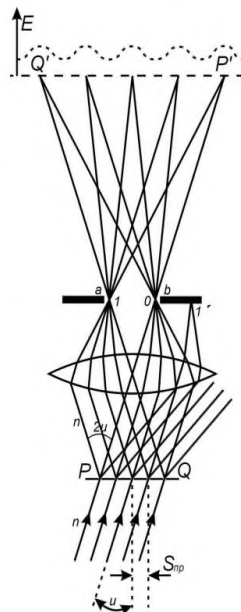


Рисунок 1.3 – Схема изображения несамосветящегося объекта по Аббе

Методика выполнения работы

Лабораторная работа заключается в изучении устройства и принципа действия оптического микроскопа и практических приемов исследования микроструктуры твердых тел.

Для проведения работы используется лабораторный микроскоп МИМ-8, устройство которого представлено на рисунке 1.4.

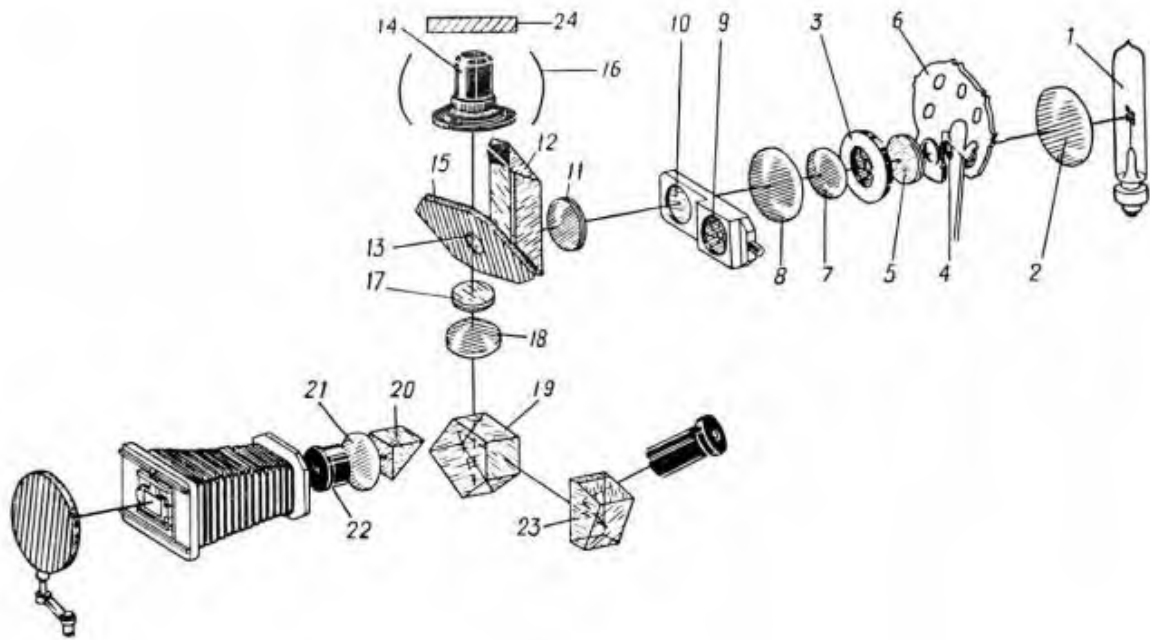


Рисунок 1.4 – Функциональное строение микроскопа

На рисунке 1.5 приведен ход лучей при исследовании материала в светлом поле.

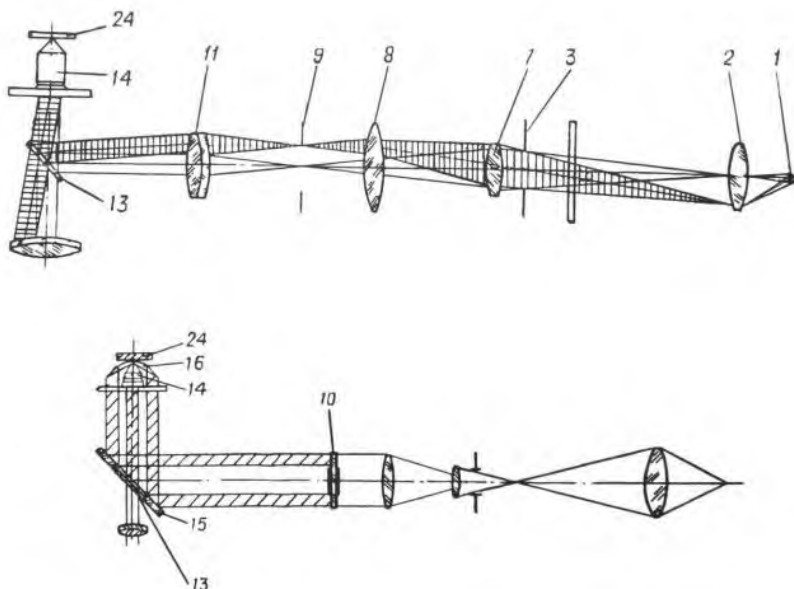


Рисунок 1.5 – Ход лучей при исследовании объектов в светлом поле

Элементы оптической схемы прибора расположены так, что при наблюдении объектов нить источника света 1 проектируется коллектором 2 в плоскость апертурной диафрагмы 3. Теплопоглотитель 4 в виде пластинки служит для предохранения поляризатора 5 от нагрева. Поляризатор включается в оптическую систему только при исследовании объектов в поляризованном свете. Светофильтры 6 из цветного стекла смонтированы в диске. Изменением диаметра апертурной диафрагмы регулируется освещенность объекта. Для получения косоугольного освещения объекта апертурную диафрагму можно перемещать перпендикулярно к оси осветителя. Кроме того, диафрагму можно вращать вокруг оси осветителя. Для отсчета величин перемещения диафрагмы на ее оправе имеются шкала и индекс. Линзы 7 и 8 осветительного тубуса проектируют изображение апертурной диафрагмы в бесконечность. Полевая диафрагма 9 и кольцевая диафрагма 10 смонтированы на одной планке. Полевую диафрагму 9 можно центрировать относительно поля зрения микроскопа с помощью двух регулировочных винтов на ее оправе. Требуемый диаметр полевой диафрагмы устанавливается перемещением рукоятки. Кольцевая диафрагма 10 включается при исследовании объектов в темном поле. Линза 11 осветительного тубуса проектирует изображение полевой диафрагмы в бесконечность, изображение апертурной диафрагмы - в плоскость опорного торца для объективов.

Призма 12 включается в систему для получения косоугольного освещения объекта. Для освещения объектов при работе в светлом поле применяется отражательная пластинка 13, отклоняющая световой пучок на 90° и направляющая его в объектив 14. При работе в темном поле световой пучок отклоняется на 90° кольцевым зеркалом 15 с наружным покрытием, которое направляет его на параболическую отражающую поверхность металлического конденсора 16.

Анализатор 17 применяется при наблюдении объектов в поляризованном свете. Анализатор можно поворачивать вокруг его оси в пределах $0 - 90^\circ$. Включается анализатор одновременно с поляризатором. Ахроматическая линза 18, призма 19 визуального тубуса и призма 20 фототубуса смонтированы так, что при выключении линзы 18 и призмы 19 выключается призма 20 и наоборот. Ахроматическая линза 21 фототубуса собирает параллельные лучи, выходящие из объектива, в фокальную плоскость окуляра 22, где и получается изображение объекта. Окуляр 22 (или гомаль) проектирует изображение объекта на фотопластинку. При визуальном наблюдении призма 23 отклоняет лучи в фокальную плоскость окуляра визуального тубуса.

В этом случае источник света 1 и апертурная диафрагма 3 системой линз 7, 8, 11 и отражательной пластинкой 13 изображаются в выходном зрачке объектива 14. Полевая диафрагма 9 расположена в фокусе линзы 11 осветительного тубуса и проектируется ею в бесконечность. Объектив 14 переносит изображение полевой диафрагмы в плоскость объекта 24.

Свет, пройдя через апертурную и полевую диафрагмы, падает на отражательную пластинку 13, которая отражает часть лучей через объектив 14 на объект. При включении в ход лучей призмы 12 для косоугольного освещения объекта свет от источника будет направляться на объект через объектив.

Ход лучей при исследовании объектов в темном поле показан на рисунке. Освещение темного поля достигается за счет применения кольцевого конденсора 16 с зеркальной отражающей параболической поверхностью. При наблюдении объектов в темном поле в ход лучей микроскопа включается кольцевая диафрагма 10. Краевые пучки лучей, пройдя кольцевую диафрагму, падают на кольцевое зеркало 15, отражающее лучи на конденсор 16, который собирает их в плоскости объекта 24. Лучи, отразившись от объекта, проходят через объектив 14, отражательную пластинку 13, ахроматические линзы 18, 21 и попадают либо в визуальный тубус, либо в фотокамеру, где и образуют изображение объекта.

Перед занятием студенты получают задание на выполнение работы, в котором указано наименование марки стали. Для адекватной оценки микроструктуры, необходимо правильно подготовить микрошлиф и занести в таблицу 1.1 последовательность операций при подготовке материала.

Таблица 1.1 – Алгоритм подготовки микрошлифа к исследованию

№ операции	Наименование операции
1	
2	
3	
4	
5	

Также необходимо указать содержание углерода и наименования фазовых составляющих, присущих той или иной марке. Эти данные заносятся в журнал наблюдений, форма которого представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Журнал наблюдений

№ опыта	Марка стали	Содержание углерода	Фазовый состав
1	08		
2	10		
3	20		
4	40		
5	45		
6	60		

Преподаватель проверяет правильность подключения микроскопа и этапы подготовки шлифа к исследованию. Изучение под микроскопом структуры металлов возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена – шлифование и полирование, затем поверхность микрошлифа травят. После проведения исследования микроструктуры студенты показывают полученные результаты по оценке количества углерода и фазового состава представленной марки стали, отвечают на контрольные вопросы и проводят уборку рабочего места.

Контрольные вопросы

1. Дать определение металлографическому анализу, микроанализу, микроскопу.
2. Описать устройство микроскопа.
3. Объяснить принцип действия микроскопа.
4. Назвать основные характеристики микроскопа и дать им характеристику.
5. Описать практические приемы работы на микроскопе.

Лабораторная работа № 2

Металлографические исследования макро- и микроструктуры чугунов и сталей

Цель лабораторной работы: произвести анализ сталей и чугунов в различных фазовых состояниях, выявить основные отличия структур.

Теоретические данные

Макроструктура металлов и сплавов.

Макроструктурным анализом называется метод исследования строения металлов и сплавов невооруженным глазом или с помощью лупы (при небольшом увеличении). Макроструктурный анализ — это наиболее простой метод исследования металлов. Существует несколько способов макроанализа, которые позволяют установить форму и расположение крупных зерен в литом металле, выявить трещины, усадочные пустоты, зональную ликвацию (неоднородность по химическому составу в объеме слитка).

Для макроанализа можно использовать целые детали и заготовки и образцы материалов. Поверхность не подвергается предварительной подготовке, если изучается вид излома. В других случаях готовится макрошлиф. При приготовлении макрошлифа сначала формируется плоская поверхность, которая затем подвергается шлифованию и травлению. Заготовка для макрошлифа отрезается на токарном станке или ножовкой. После обработки макрошлифа на токарном, фрезерном или плоскошлифовальном станках его поверхность зачищается шлифовальной бумагой. При травлении выявляется неоднородность структуры материала. Для травления используют кислоты, щелочи и т.п. На подготовленной поверхности образца не должно быть никаких загрязнений. После травления на поверхности макрошлифа образуется микрорельеф, позволяющий различать особенности строения при небольшом увеличении.

Благодаря макроанализу возможно проанализировать причины появления тех или иных дефектов, например изломов (которые могут быть хрупкими и вязкими). Хрупкий излом имеет кристаллическое строение. При таком изломе можно увидеть форму и размер зерен металла. Сам излом может наблюдаться либо по границам зерен (межкристаллический), либо по телу зерна (транскристаллический). Вязкий излом имеет волокнистое строение. Форма и размер зерен искажаются, так как большую роль играет пластической деформация, во время которой и происходит разрушение. Границы отдельных зерен просматривать нельзя. Примеры изломов приведены на рисунке 2.1.

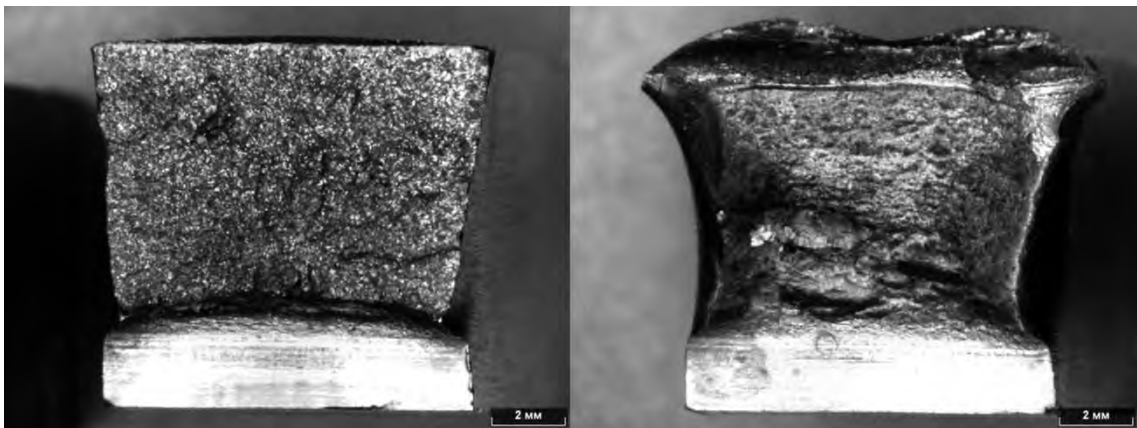


Рисунок 2.1 – Хрупкий и вязкий изломы

С помощью макроанализа также возможно определить флокены и поры, трещины и пустоты, находящиеся в толще металлов и сплавов. Грубые дефекты, нарушающие сплошность металла возможно легко обнаружить на макрошлифах без травления. Более мелкие дефекты выявляются с помощью глубокого или поверхностного травления. Примеры дефектов, изучаемых с помощью макроанализа приведены на рисунке 2.2.

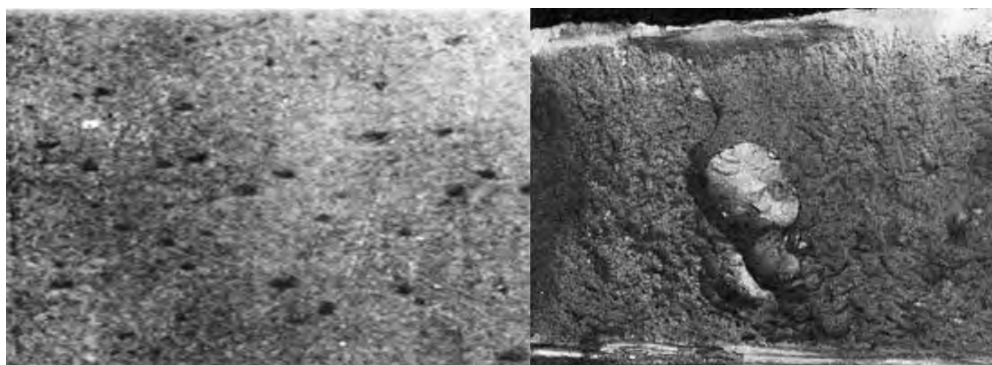
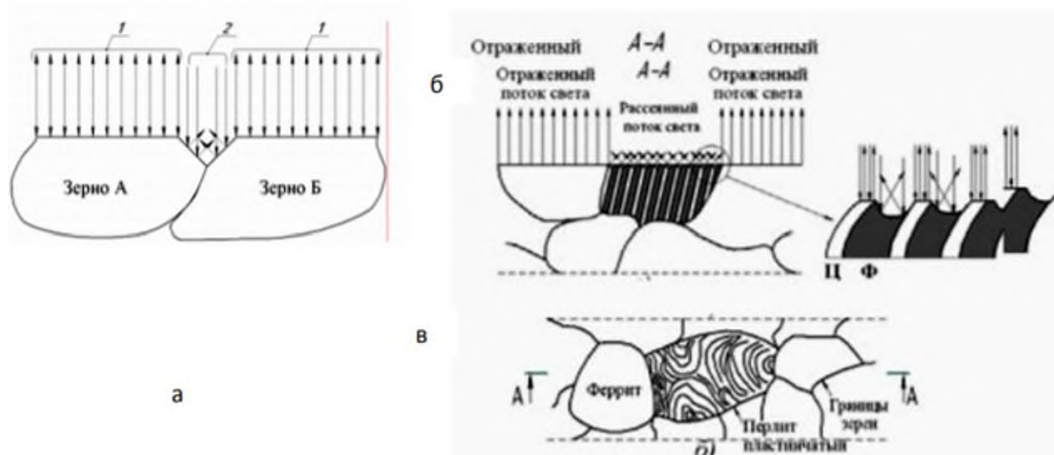


Рисунок 2.2 – Поры и флокены в стали

Микроструктура сталей.

Выявление микроструктуры при травлении и получение ее изображения в отраженном свете. Выявление микроструктуры металлов основано на неравномерном растворении в реактиве структурных составляющих. В чистом металле границы зерен растравливаются сильнее, чем тело зерна. В результате на границах зерен после травления образуются углубления, которые рассеивают (гасят) лучи света, и потому при рассмотрении структуры под микроскопом они наблюдаются в виде темных линий (рисунок 2.3, а). В сплавах неоднородные структурные составляющие также обладают неодинаковой растворимостью и потому на поверхности шлифа образуется определенный рельеф разной глубины (рисунок 2.3, б-в). Более глубоко протравленные (вытравленные) участки шлифа дают больше рассеянных лучей и выглядят в микроскопе более темными (рисунок 2.3, б) Микроанализ позволяет проводить не только качественное изучение

структуры материала, но и количественную оценку структурных составляющих. Можно измерить величину зерна, глубину слоя. Структура характеризуется фазовым составом, размерами и формой кристаллитов (зерен), их взаимным расположением и неизбежными дефектами.



1 – прямой и отраженный поток света; 2 – рассеянный поток света

Ц – пластинка цементита в перлите; Ф – пластинка феррита в перлите

Рисунок 2.3 – Отражение лучей света от поверхности шлифа в чистых металлах (а), схема отражения лучей света в неоднородном феррито-перлитном сплаве (б) и наблюдаемая микроструктура в нем под микроскопом (в)

В результате фазовых превращений в твердом состоянии при малых скоростях охлаждения в стали образуются следующие структуры (рисунок 2.4): перлит, избыточный феррит, вторичный цементит и третичный цементит. Сталь, содержащую 0,8 % С, называют эвтектоидной, содержащие менее 0,8 % С называют доэвтектоидными, а более 0,8 % С – заэвтектоидными.

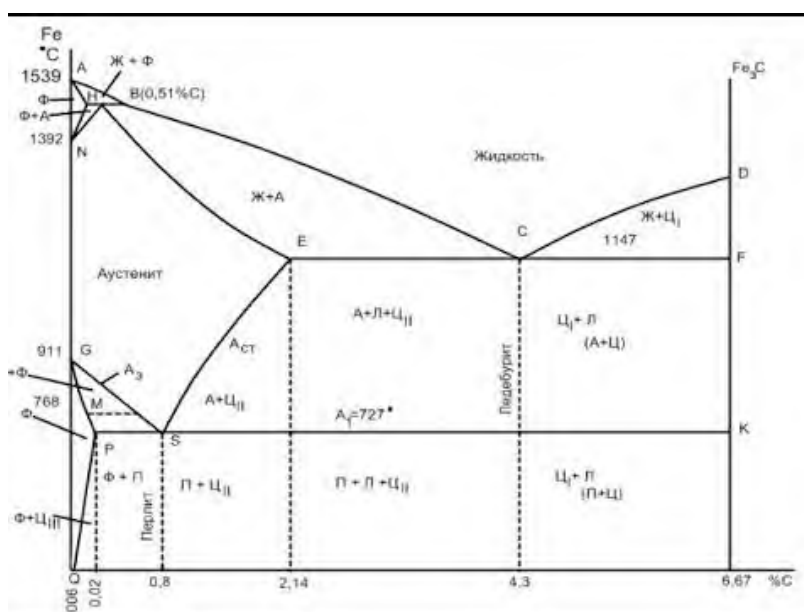


Рисунок 2.4 – Диаграмма железо-цементит

Металлографический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа, а наблюдаемая структура называется микроструктурой. Изучение под микроскопом структуры металлов возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена – шлифование и полирование, затем поверхность микрошлифа травят. Существует несколько методов травления, из которых наиболее распространен метод избирательного растворения фаз. Для травления микрошлиф погружают полированной поверхностью в раствор избранного состава и через некоторое время вынимают (либо наносят на поверхность каплю травителя). Если полированная поверхность станет слегка матовой, травление считается законченным, шлиф сразу же промывают водой, затем спиртом и высушивают фильтровальной бумагой.

Микрошлифы сталей хорошо травятся 3-5 % раствором HNO_3 в спирте или раствором «царской водки» (смесь концентрированных азотной HNO_3 и соляной HCl кислот, взятых в соотношении 1:3 по объему), после чего структурно свободные феррит и цементит по сравнению с темным (коричневатым) перлитом выглядят белыми. При охлаждении доэвтектоидной стали из аустенита вначале выделяется феррит. При рассмотрении в микроскоп феррит наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости. По мере увеличения концентрации углерода в доэвтектоидной стали количество зерен феррита убывает, а количество перлита увеличивается.

Компоненты, фазы и структурные составляющие сплавов железа с углеродом (стали)

Ферритом называется твердый раствор углерода в α -железе. Содержание углерода в феррите очень невелико — максимальное 0,02 % при температуре 727 °С. Благодаря столь малому содержанию углерода свойства феррита совпадают со свойствами железа (низкая твердость и высокая пластичность). Твердый раствор углерода в высокотемпературной модификации $\text{Fe}\alpha$ (т.е. в $\text{Fe}\delta$) часто называют δ -ферритом или высокотемпературным ферритом. Структура феррита показана на рисунке 2.5.

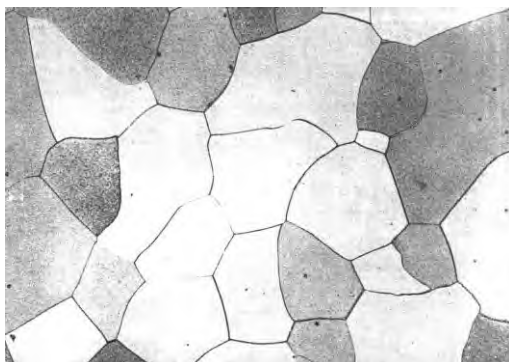


Рисунок 2.5 – Феррит

Аустенит — это твердый раствор углерода в γ - железе. Максимальное содержание углерода в аустените составляет 2,14 % (при температуре 1147 °С). Имеет твердость НВ 220. Структура аустенита показана на рисунке 2.6.

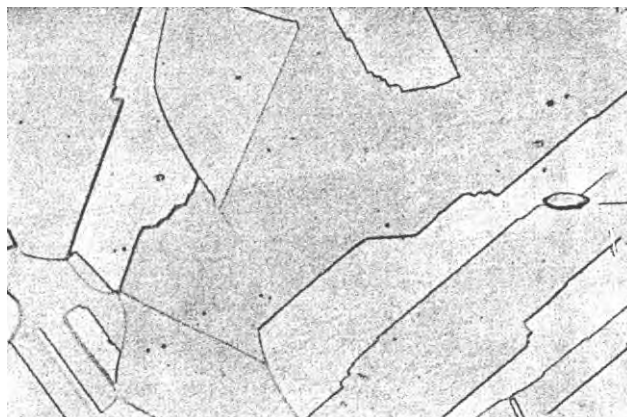


Рисунок 2.6 – Аустенит

Цементит - это химическое соединение железа с углеродом (карбид железа) Fe_3C . В нем содержится 6,67 % углерода (по массе). Имеет сложную ромбическую кристаллическую решетку. Характеризуется очень высокой твердостью (НВ 800), крайне низкой пластичностью и хрупкостью.

Перлит - это механическая смесь феррита с цементитом. Содержит 0,8 % углерода, образуется из аустенита при температуре 727 °С. Имеет пластинчатое строение, т.е. его зерна состоят из чередующихся пластинок феррита и цементита. Перлит является эвтектоидом. Структуры пластинчатого и зернистого перлиты показаны на рисунках 2.7 и 2.8.

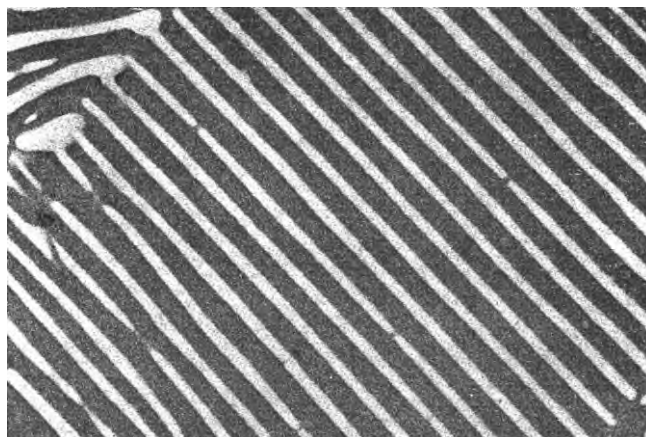


Рисунок 2.7 – Пластинчатый перлит

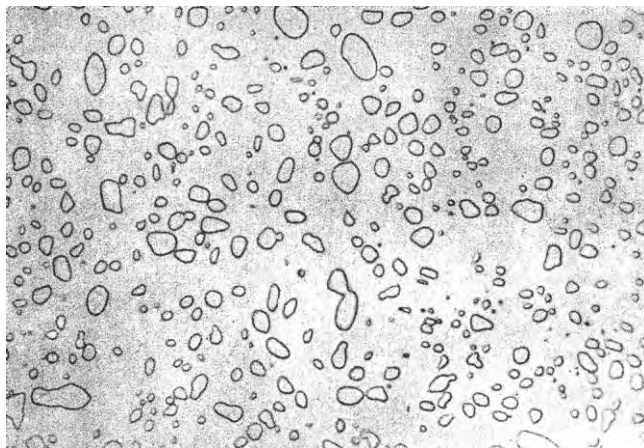


Рисунок 2.8 – Зернистый перлит

На рисунках 2.9-2.12 показаны микроструктуры и схематические изображения микроструктур сталей с различным содержанием углерода.

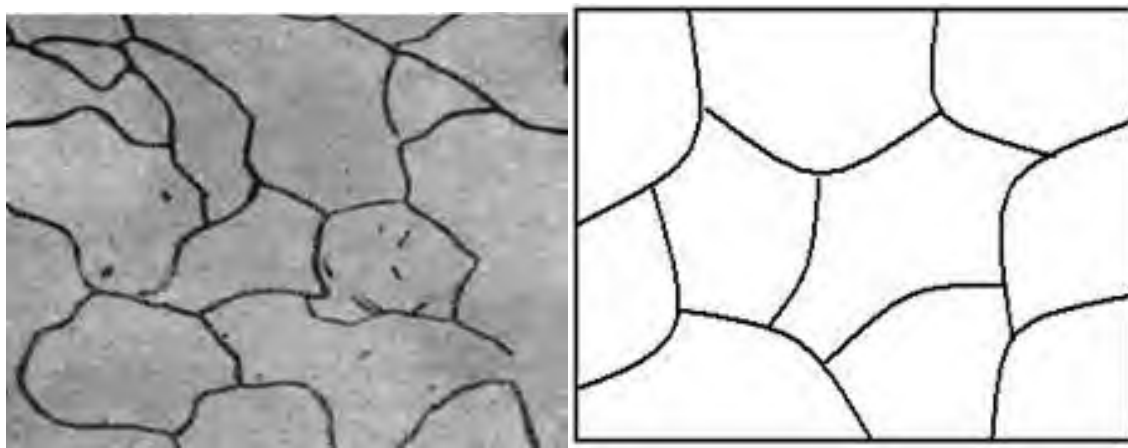


Рисунок 2.9 – Микроструктура (фотография и схема) технического железа

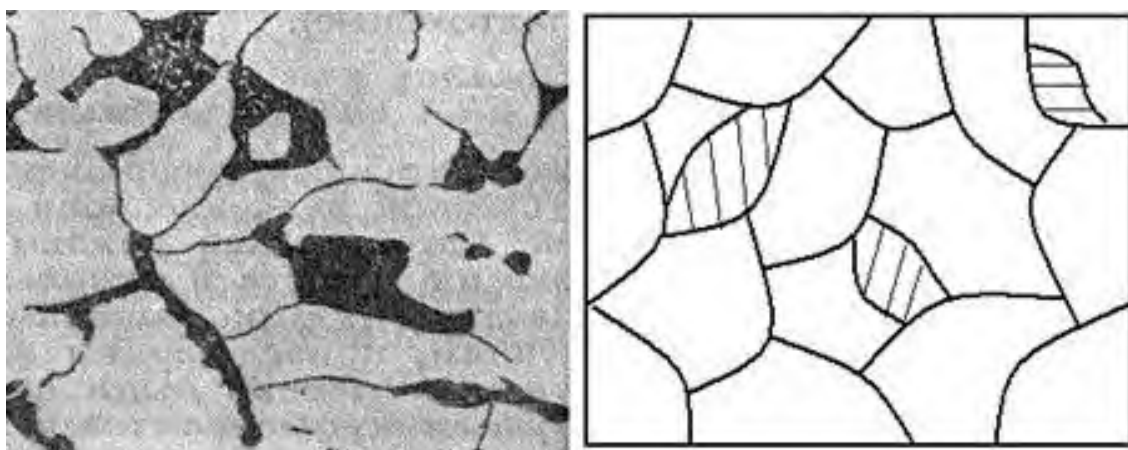


Рисунок 2.10 – Микроструктура (фотография и схема) стали, содержащей 0,15 % углерода

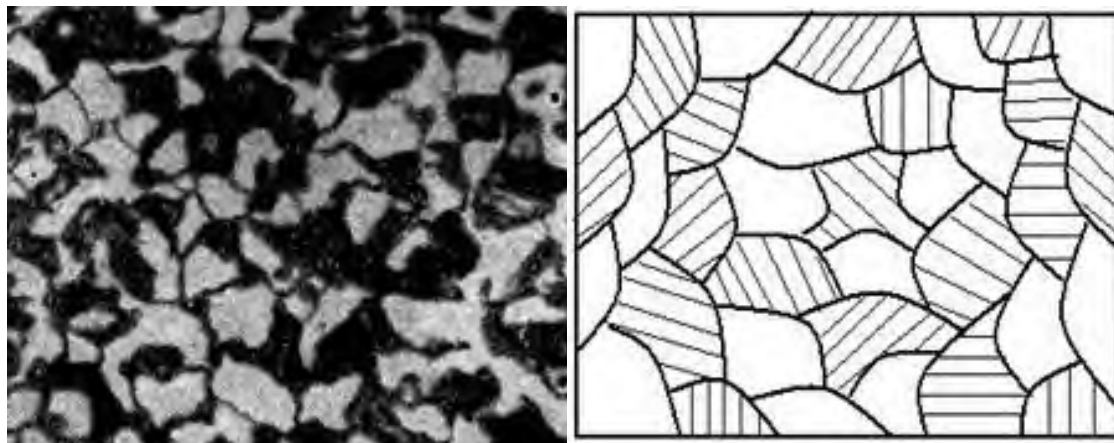


Рисунок 2.11 – Микроструктура (фотография и схема) стали, содержащей 0,4 %

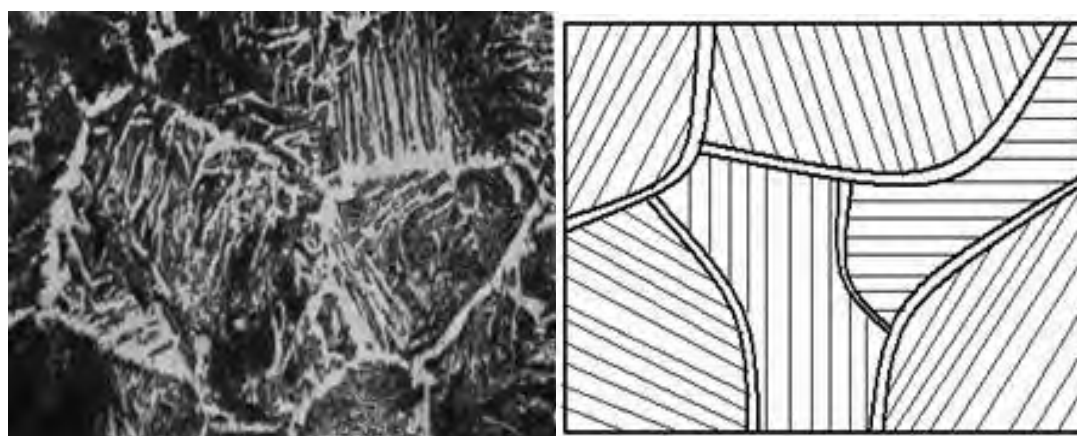


Рисунок 2.12 – Микроструктура (фотография и схема) стали, содержащей 1,2 % углерода

При содержании углерода от 0,3 до 0,5 %, стали не обладают хорошей свариваемостью, но благодаря повышенному содержанию перлита имеют достаточную прочность. Их упрочняют, и после термической обработки применяют для деталей машин – валов, шпинделей, звездочек, шестерен и других деталей, работающих при больших статических и динамических нагрузках.

Для рессор и пружин применяют стали, содержащие 0,5-0,7 % углерода. Они имеют высокий предел упругости и не очень хрупки.

Высокую твердость и износостойкость имеют стали при минимальном содержании или полном отсутствии структурно-свободного феррита. Поэтому высокоуглеродистые стали, содержащие более 0,7 % углерода, используют в качестве инструментальных. Из доэвтектоидных сталей, содержащих 0,7-0,8 % углерода, изготавливают инструменты, работающие при ударных нагрузках: зубила, молотки, кернеры, бородки и другие, так как вязкость их выше, чем у заэвтектоидных.

Микроструктура чугунов.

В белых чугунах весь углерод находится в связанном состоянии, т. е. в виде цементита. Белый чугун в зависимости от содержания углерода разделяется на доэвтектический (от 2,14 до 4,3 % C), эвтектический (4,3 % C) и заэвтектиче-

ский (от 4,3 до 6,67 % С). Во всех белых чугунах имеется цементитная эвтектика (ледебурит). Эвтектический белый чугун состоит только из одного ледебурита, поэтому рассмотрение структуры белого чугуна целесообразно начинать со структуры эвтектического белого чугуна.

Микроструктура эвтектического белого чугуна. Микроструктура эвтектического белого чугуна состоит только из одного ледебурита (цементитной эвтектики), образующегося при 1147 °С при эвтектической кристаллизации жидкого сплава с содержанием 4,3 % С и состоящего (при 1147 °С) из эвтектического цементита и аустенита, содержащего 2,14 % С (точка *E* на диаграмме железо—цементит). При последующем охлаждении вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените (линия *SE* на диаграмме железо—цементит, рисунок 4) из аустенита выделяется (как и в заэвтектоидных сталях) вторичный цементит. Вторичный цементит сливается с цементитом эвтектическим, поэтому в структуре эвтектики невозможно указать, где находится в отдельности эвтектический цементит и вторичный цементит.

При 727 °С эвтектика состоит из цементита (эвтектического и вторичного) и аустенита с содержанием 0,8 % С. При этой температуре аустенит превращается в перлит. Таким образом, после полного охлаждения ледебурит (цементитная эвтектика) состоит из цементита и перлита (рисунок 2.13).

Доэвтектический белый чугун после полного охлаждения имеет следующую структуру: ледебурит (цементитная эвтектика) + перлит + вторичный цементит. Вторичный цементит выделяется из аустенита, содержащего при 1147 °С - 2,14 % С, а при 727 °С - 0,8 % С.

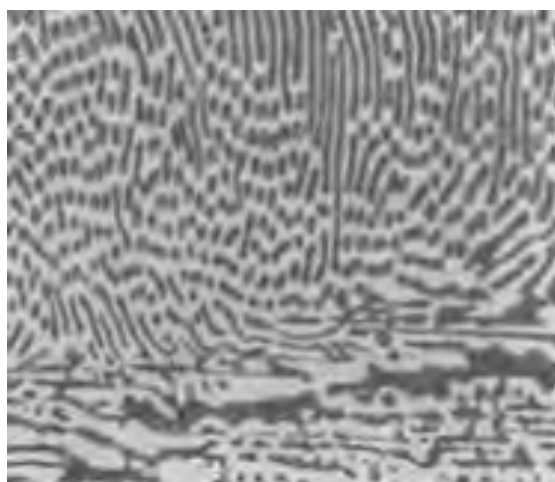


Рисунок 2.13 – Эвтектический белый чугун железо - цементит

В белых чугунах с низким содержанием углерода (близким к 2,14 %) вторичный цементит выявляется достаточно отчетливо, так как в таких чугунах мало ледебурита.

С увеличением содержания углерода, когда ледебурита становится относительно много, вторичный цементит в структуре сливается с цементитом леде-

бурита (эвтектическим). Можно считать, что структура таких доэвтектических белых чугунов состоит из ледебурита (цементитной эвтектики) и перлита. На рисунке 2.14 дана микроструктура доэвтектического белого чугуна.

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из ледебурита (цементитной эвтектики) и первичного цементита (рисунок 2.15).



Рисунок 2.14 – Доэвтектический белый чугун - перлит и ледебурит

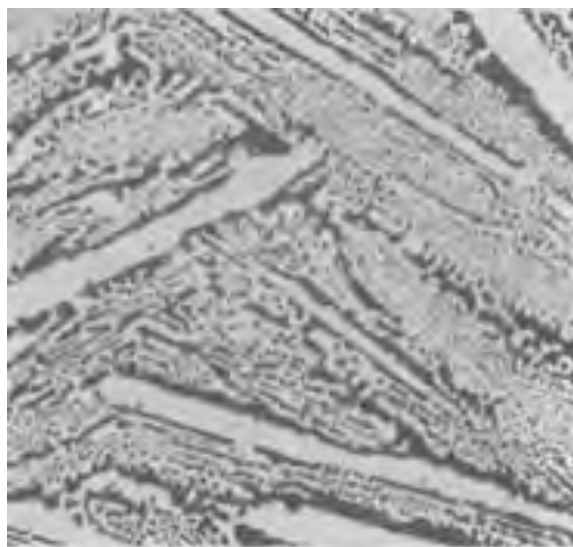


Рисунок 2.15 – Заэвтектический белый чугун - цементит первичный и ледебурит (x500)

При рассмотрении в микроскоп нетравленного микрошлифа серого чугуна хорошо видны включения пластинчатого графита (рисунок 2.16). На величину и расположение включений графита влияют скорость охлаждения, температура и время выдержки расплавленного чугуна перед отливкой, химический состав чугуна, введение в чугун некоторых примесей (модификаторов). Например, скорость охлаждения влияет таким образом, что при прочих равных условиях графит образуется тем крупнее, чем медленнее охлаждение.



а - прямолинейные; б - завихренные; в - розеточные; г - междендритные
Рисунок 2.16 – Включения пластинчатого графита. Шлифы нетравленные (x100)

Чем больше перегрев жидкого чугуна и чем дольше время выдержки при этом, тем мельче получаются графитные включения.

После травления в 2-4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты металлическая основа в серых чугунах очень сходна с микроструктурой сталей и в зависимости от количества связанного углерода может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной.

Таким образом, возможны следующие типы структур серых чугунов: феррит + пластинчатый графит - ферритный серый чугун (рисунок 2.17); феррит + перлит + пластинчатый графит - феррито-перлитный серый чугун (рисунок 2.18) (соотношение количества феррита и перлита в структуре чугуна может быть различным, в зависимости от химического состава и условий охлаждения); перлит + пластинчатый графит - перлитный серый чугун (рисунок 2.19).



Рисунок 2.17 – Ферритный серый чугун - феррит и пластинчатый графит



Рисунок 2.18 – Феррито-перлитный серый чугун - феррит + перлит и пластинчатый графит



Рисунок 2.19 – Перлитный серый чугун - перлит+пластинчатый графит

При рассмотрении в микроскоп нетравленого микрошлифа высокопрочного чугуна хорошо видны включения шаровидного графита (рисунок 2.20).

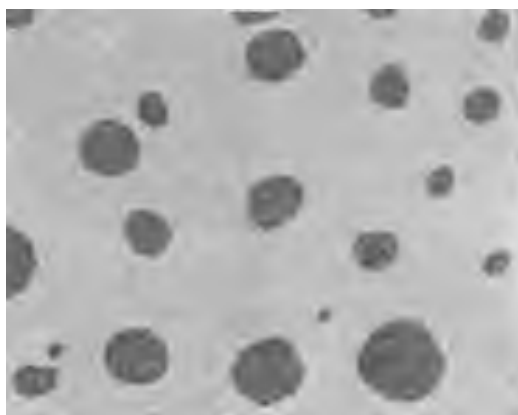


Рисунок 2.20 – Высокопрочный чугун - включения шаровидного графита, шлиф нетравлен (x100)

Травление микрошлифа высокопрочного чугуна производят 2-4 %-ным спиртовым раствором азотной кислоты.

В высокопрочных чугунах могут быть те же типы структур, которые были указаны для серых чугунов, но графит в этих чугунах шаровидный. Таким образом, возможны следующие типы микроструктуры высокопрочных чугунов: феррит + шаровидный графит - ферритный высокопрочный чугун (рисунок 2.21, а); феррит + перлит + шаровидный графит - феррито-перлитный высокопрочный чугун (рисунок 2.21, б) (соотношение между количеством феррита и перлита в высокопрочном чугуне может быть различным в зависимости от химического состава и условий охлаждения); перлит + шаровидный графит - перлитный высокопрочный чугун (рисунок 2.21, в).



а - феррит и шаровидный графит; б - феррит + перлит + шаровидный графит;
в - перлит и шаровидный графит

Рисунок 2.21 – Высокопрочный чугун (x100)

Микроструктура ковких чугунов. При рассмотрении в микроскоп нетравленого микрошлифа ковкого чугуна хорошо видны включения хлопьевидного графита (углерода отжига) (рисунок 2.22). Микрошлиф ковкого чугуна травят 2-4 %-ным спиртовым раствором азотной кислоты.

Металлическая основа ковкого чугуна может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. В соответствии с этим различают ферритный, феррито-перлитный и перлитный ковкий чугун (рисунок 2.23). При рассмотрении в микроскоп нетравленого микрошлифа ковкого чугуна хорошо видны включения хлопьевидного графита (углерода отжига) (рисунок 2.22). После травления металлическая основа ковкого чугуна может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. В соответствии с этим различают ферритный, феррито-перлитный и перлитный ковкий чугун (рисунок 2.23).

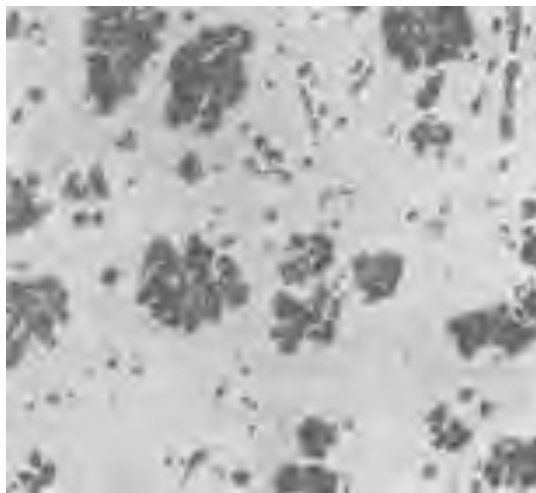


Рисунок 2.22 – Ковкий чугун - включения хлопьевидного графита (углерода отжига), шлиф нетравлен (x100)



а - феррит и углерод отжига; б - феррит + перлит + углерод отжига (x200);
в - перлит и углерод отжига (x300)

Рисунок 2.23 – Ковкий чугун

Методика выполнения работы

Лабораторная работа заключается в изучении методик проведения макро- и микроисследований, оценке представленных макро и микрошлифов. Необходимо научиться схематически изображать и описывать микрошлифы, знать из каких фаз состоит сталь или чугун в зависимости от содержания углерода.

Перед занятием студенты получают задание на выполнение работы, в котором указано наименование марки стали и чугуна. Для адекватной оценки микроструктуры, необходимо правильно подготовить микрошлиф в соответствии с умениями, полученными при выполнении лабораторной работы №1.

По марке стали и чугуна необходимо указать содержание углерода, наименования фазовых составляющих, дать описание фазовым составляющим, схематически зарисовать структуры карандашом с указанием стрелками всех структурных составляющих. Эти данные заносятся в журнал наблюдений, форма которого представлена в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Журнал наблюдений для сталей

№ опыта	Марка стали	Содержание углерода	Фазовый состав	Описание фазовых составляющих
1	09Г2			
2	09Г2С			
3	15Х			
4	9ШХ			
5	14АС			
6	45Г			

Таблица 2.1 – Журнал наблюдений для чугунов

№ опыта	Марка чугуна	Содержание углерода	Фазовый состав	Описание фазовых составляющих
1	ПЛ1			
2	АЧС-4			
3	ВЧ40			
4	СЧ30			
5	КЧ45-7			
6	ЛР2			

Преподаватель проверяет правильность подготовки шлифа к исследованию. После проведения исследования микроструктуры студенты показывают полученные результаты по оценке количества углерода и фазового состава, описания фазовых составляющих и зарисованных микроструктур по представленным маркам стали и чугуна, отвечают на контрольные вопросы и проводят уборку рабочего места.

Контрольные вопросы

1. В чём состоит сущность травления?
2. Какие классы стали (по содержанию углерода) вы знаете? В чем их отличие друг от друга?
3. Сколько углерода содержится в доэвтектоидной стали? Какую структуру она имеет в равновесном состоянии?
4. Сколько углерода содержится в эвтектоидной стали? Какую структуру она имеет в равновесном состоянии?
5. Сколько углерода содержится в заэвтектоидной стали? Какую структуру она имеет в равновесном состоянии?
6. Дать определение перлиту.
7. Дать определение цементиту.

8. Дать определение аустениту и ферриту.
9. В чём состоит отличие макроструктурного и микроструктурного анализа?
10. Что возможно исследовать при проведении макроанализа?
11. Что возможно исследовать при проведении микроанализа?
12. Сколько углерода содержится в доэвтектическом чугуна? Какую структуру он имеет в равновесном состоянии?
13. Сколько углерода содержится в эвтектическом чугуна? Какую структуру он имеет в равновесном состоянии?
14. Сколько углерода содержится в заэвтектическом чугуна? Какую структуру он имеет в равновесном состоянии?
15. В чём состоит особенность ковкого чугуна?
16. В чём состоит особенность высокопрочного чугуна?
17. В чём заключаются отличия между белым и серым чугуном?

Лабораторная работа № 3

Ознакомление с методикой механических испытаний.

Испытание на растяжение

Цель лабораторной работы: рассмотреть методику проведения испытания на растяжение.

Теоретические данные

Испытания на растяжение – одни из самых важных, позволяющих определить механические свойства испытываемых образцов. К механическим характеристикам относятся: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности (временное сопротивление), а также пластические характеристики – относительное удлинение и относительное сужение.

Способы испытаний на растяжение стандартизованы. В ГОСТ 1497–84 представлена методика испытаний для цветных и черных металлов и сплавов и изделий из них номинальным диаметром или наименьшим размером в поперечном сечении 3,0 мм и более. Однако при планировании статических испытаний необходимо проанализировать будущие условия применения разрабатываемого материала или изделия, с учётом климатических зон или особых условий эксплуатации. Поэтому при проведении испытаний при различных температурах возможно использовать ГОСТ 9651–84 (испытания металлов при повышенных до +1200 °С температурах) и ГОСТ 11150–84 (испытания металлов при пониженных от -10 до -100 °С температурах).

Испытания проводят на вертикальных или горизонтальных разрывных стендах (рисунок 3.1). Основными частями машины являются нагружающее устройство (гидравлическое, механическое) и измерительные приборы.



Рисунок 3.1 – Представление современной разрывной машины

Для испытаний изготавливают специальный образец, плоский (соотношение между шириной и толщиной в рабочей части образца не должно превышать 8:1) или в виде цилиндрического стержня с разными диаметрами (рисунок 3.2).

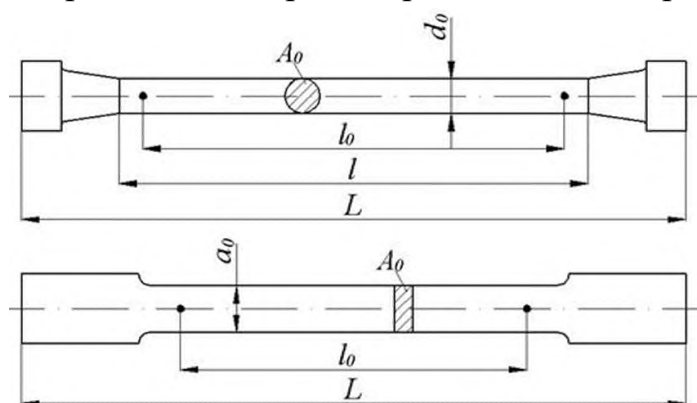


Рисунок 3.2 – Схематическое изображение цилиндрического и плоского образцов

Измерение размеров образцов до испытания проводят не менее, чем в трех местах - в средней части и на границах рабочей длины. Концы образца закрепляют, и после его растягивают до разрушения. При этом приборы фиксируют прилагаемую в течение испытаний нагрузку. По показаниям приборов строится диаграмма растяжения (рисунок 3.3).

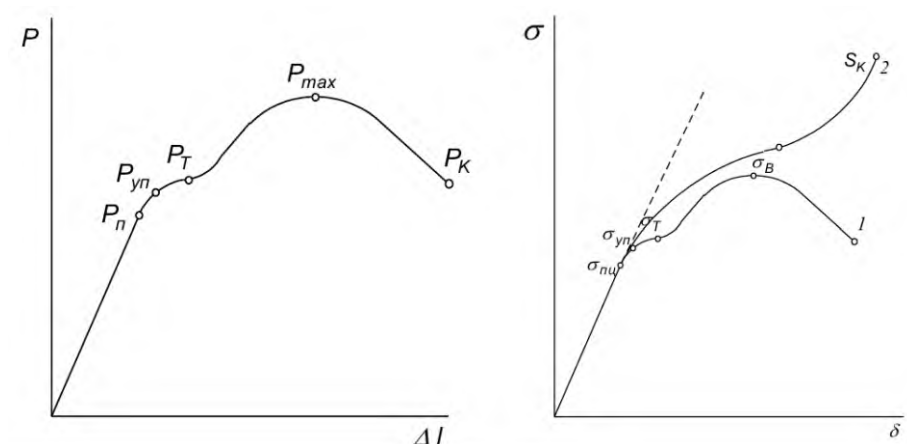


Рисунок 3.3 – Диаграмма растяжения

По диаграмме растяжения определяют следующие характеристики:

1) Предел прочности (временное сопротивление) σ_B , то есть условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, которую может выдержать образец до его разрушения. Предел прочности (временное сопротивление) σ_B , Н/мм², вычисляют по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0},$$

где P_{\max} - наибольшая нагрузка, Н;

F_0 - начальная площадь поперечного сечения рабочей части образца, мм².

2) Предел текучести σ_T - это наибольшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки. Предел текучести σ_T , Н/мм², вычисляют по формуле:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0},$$

где P_T - нагрузка, при которой наблюдается площадка текучести, Н.

3) Предел пропорциональности $\sigma_{пц}$ - напряжение, выше которого нарушается пропорциональность между прилагаемым напряжением и деформацией образца. Предел пропорциональности $\sigma_{пц}$, Н/мм², вычисляют по формуле:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0},$$

где $P_{пц}$ - нагрузка, при которой нарушается пропорциональность между прилагаемой силой и деформацией, Н.

4) Предел упругости $\sigma_{уп}$ - напряжение, соответствующее нагрузке, при снятии которой образец вернётся в исходную форму и размер. Предел упругости $\sigma_{уп}$, Н/мм², вычисляют по формуле:

$$\sigma_{уп} = \frac{P_{уп}}{F_0},$$

где $P_{уп}$ - нагрузка, при снятии которой образец вернётся в исходную форму и размер, Н.

5) Относительное удлинение δ - величина, показывающая на сколько процентов удлиняется материал, прежде чем разорвется. Относительное удлинение δ , %, вычисляют по формуле:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где l_k - длина образца после испытания, мм;

l_0 - длина образца до испытания, мм.

б) Относительное сужение ψ - величина, показывающая на сколько процентов сужается материал, прежде чем разорвется. Относительное сужение ψ , %, вычисляют по формуле:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%,$$

где F_k - площадь поперечного сечения образца после испытания, мм²;

F_0 - площадь поперечного сечения образца до испытания, мм².

Чем больше получены значения относительного удлинения и сужения для материала, тем он более пластичен (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Более пластичный и более хрупкий образцы после испытания на растяжение

У хрупких материалов значения относительного удлинения и относительного сужения близки к нулю.

Методика выполнения работы

Лабораторная работа заключается в изучении методик проведения испытания на растяжение и алгоритма расчёта основных прочностных и пластических характеристик.

Перед занятием студенты получают задание на выполнение работы, а также образец стали для выполнения испытания на растяжение. На основе результатов испытания на растяжение необходимо определить механические свойства сплава. Образцы до и после испытания необходимо измерить, используя штангенциркуль ШЦЦ-1-125 для определения пластических свойств и диаграмму растяжения стального образца, полученную на лабораторной испытательной машине ЦИМ. Результаты измерений необходимо занести в таблицу 3.1. На диаграмме нужно найти и отметить нагрузки P_T и P_B , необходимые для определения прочностных свойств образца (рисунок 3.5).

Таблица 3.1 – Пример заполнения таблицы по результатам испытаний

Образец	Углеродистая сталь
Размеры образца до испытания	Длина $l_0 - \dots$ мм Диаметр $d_0 - \dots$ мм
Размеры образца после испытания	Длина $l_k = \dots$ мм Диаметр $d_k = \dots$ мм
Формула и расчет относительного удлинения образца	$\delta =$
Формула и расчет относительного сужения образца	$\psi =$
Формула и расчет предела текучести образца	$P_T =$ $\sigma_T =$
Формула и расчет предела прочности образца	$P_B =$ $\sigma_B =$

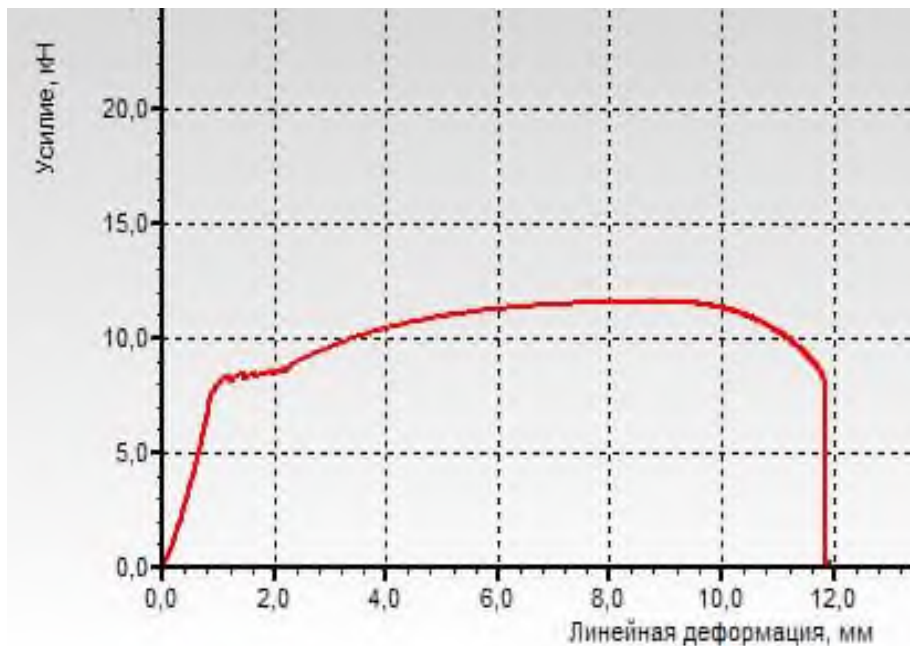


Рисунок 3.5 – Пример диаграммы растяжения

Преподаватель проверяет правильность проведенных измерений образца до испытания на растяжение. После проведения испытания студенты показывают полученные результаты по проведению измерений разрушенного образца, расчёту основных прочностных и пластических характеристик, отвечают на контрольные вопросы и проводят уборку рабочего места.

Контрольные вопросы:

1. Для чего проводятся испытания на растяжение?
2. Какие основные характеристики описывают механические свойства металлов и сплавов?
3. В соответствии с какими документами должны проводиться испытания на растяжение?
4. Как и на каком оборудовании проводятся испытания на растяжение?
5. Описать диаграмму растяжения.
6. Дать определение и обозначить формулу предела прочности (временного сопротивления).
7. Дать определение и обозначить формулу предела текучести.
8. Дать определение и обозначить формулу предела пропорциональности.
9. Дать определение и обозначить формулу предела упругости.
10. Дать определение и обозначить формулу относительного удлинения.
11. Дать определение и обозначить формулу относительного сужения.
12. Как по испытанию на растяжение определить хрупкий ли материал?

Лабораторная работа № 4

Ознакомление с методикой механических испытаний.

Испытание на кручение

Цель лабораторной работы: рассмотреть методику проведения испытания на кручение.

Теоретические данные

Кручение встречается в работе валов, деталей машин, винтовых пружин, перекрестных балок, различных судовых и строительных конструкций, при действии боковых горизонтальных сил на рельсовый путь и других различных пространственных конструкциях. Испытания на кручение применяются как для пластичных, так и для малопластичных металлов, поскольку имеют ряд преимуществ по сравнению с испытаниями на растяжение.

Способы испытаний на кручение стандартизованы. В ГОСТ 3565–80 представлена методика испытаний для цветных и черных металлов и сплавов и изделий из них при комнатной температуре для определения характеристик механических свойств и характера разрушения металлов и сплавов при кручении.

Для испытания на кручение может быть использована испытательная машина, которая обеспечивает:

- свободное кручение образцов без каких-либо дополнительных нагрузок на образце в течение всего процесса испытания;
- центрирование образца в захватах с несоосностью не более 0,1 мм на каждые 100 мм;
- плавность статического нагружения (без толчков и ударов);
- свободное перемещение одного из захватов вдоль оси образца;
- измерение нагрузки с погрешностью, не превышающей ± 1 % от величины измеряемой нагрузки, начиная с 0,2 наибольшего значения каждого диапазона, но не ниже 0,04 предельной нагрузки;
- вариации показаний силоизмерителя при повторных нагружениях и нагрузке, не превышающие допускаемую погрешность силоизмерения;
- возможность нагружения с точностью одного наименьшего деления шкалы силоизмерителя испытательной машины;
- сохранение постоянства показаний силоизмерителя в течение не менее 30 с;
- измерение угла закручивания с погрешностью, не превышающей 1° .

Для испытания на кручение в качестве основных применяют цилиндриче-

ские образцы с диаметром в рабочей части 10 мм и с расчетной длиной 100 и 50 мм, с головками на концах для закрепления в захватах испытательной машины.

Устанавливают и закрепляют испытуемый образец в захватах испытательной машины. Нагружают образец крутящим моментом, соответствующим начальному касательному напряжению τ_k , составляющему 10% ожидаемого предела пропорциональности материала. Нагружение образца крутящим моментом осуществляют равными ступенями (не менее трех) таким образом, чтобы напряжения в образце не превышали предела пропорциональности, и регистрируют на каждой ступени нагружения углы закручивания образца на его расчетной длине.

По результатам испытания образцов на кручение производят определение следующих механических характеристик: модуля сдвига, предела пропорциональности, предела текучести, предела прочности (условного), предела прочности (истинного), максимального остаточного сдвига, характера разрушения (срез или отрыв):

1) Модуль сдвига при кручении (отношение касательного напряжения к упругой угловой деформации в точке) G в МПа вычисляют по формуле:

$$G = \frac{\Delta T \cdot l}{\Delta \varphi \cdot I_p},$$

где ΔT – степень нагружения, Н·мм;

l – расчётная длина образца, мм;

$\Delta \varphi$ – среднее арифметическое значение углов закручивания на расчетной длине образца, приходящихся на одну степень нагружения, рад;

I_p - полярный момент инерции, мм⁴.

Для проведения испытания на кручение применяют в первую очередь цилиндрические образцы, поэтому полярный момент можно вычислить как:

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32}.$$

2) Предел пропорциональности при кручении $\tau_{пц}$ (МПа) — касательное напряжение в периферийных точках поперечного сечения образца, вычисленное по формуле для упругого кручения, при котором отклонение от линейной зависимости между нагрузкой и углом закручивания достигает такой величины, что тангенс угла наклона, образованного касательной к кривой деформации и осью нагрузок, увеличивается на 50% своего значения на линейном участке. Вычислить предел пропорциональности при кручении можно следующим образом:

$$\tau_{пц} = \frac{T_{пц}}{W_p},$$

где W_p – полярный момент сопротивления, мм³.

3) Предел текучести при кручении τ_T (МПа) — касательное напряжение, вычисленное по формуле для упругого кручения, при котором образец получает остаточный сдвиг, равный 0,3 %.

Относительный сдвиг вычисляют по формуле:

$$\gamma_{\text{пц}} = \frac{\varphi_{\text{пц}} \cdot D}{2l} \cdot 100\%,$$

где $\varphi_{\text{пц}}$ – угол закручивания образца на его расчётной длине, соответствующий пределу пропорциональности при кручении, рад;

D – диаметр рабочей части образца, мм;

l – расчетная длина образца, мм.

Прибавляют к относительному сдвигу $\gamma_{\text{пц}}$ допуск на остаточный сдвиг 0,3 % и по величине $\gamma_{\text{пц}}+0,3$ % находят соответствующий пределу текучести угол закручивания расчетной длины образца. Продолжают нагружение образца за пределом пропорциональности до тех пор, пока не будет достигнут угол закручивания, соответствующий значению $\gamma_{\text{пц}}+0,3$ % и фиксируют нагрузку T_T , соответствующую пределу текучести. Предел текучести при кручении τ_T вычисляют по формуле:

$$\tau_T = \frac{T_T}{W_p}.$$

4) Предел прочности при кручении $\tau_{\text{пч}}$ (МПа) — касательное напряжение, равное отношению наибольшего момента при кручении, предшествующего разрушению, к полярному моменту сопротивления сечения образца для испытания. Устанавливают и закрепляют образец в захватах испытательной машины и нагружают до разрушения, фиксируя разрушающую нагрузку T_K . Одновременно регистрируют максимальный угол закручивания φ_{max} на расчетной длине образца, который используется при подсчете γ_{max} . Предел прочности при кручении $\tau_{\text{пч}}$ вычисляют по формуле:

$$\tau_{\text{пч}} = \frac{T_K}{W_p}.$$

5) Истинный предел прочности при кручении τ_k (МПа) — наибольшее истинное касательное напряжение при разрушении образца, вычисленное с учетом перераспределения напряжений при пластической деформации. Устанавливают и закрепляют образец в захватах испытательной машины и нагружают до появления пластических деформаций, а затем ступенчато догружают образец до

разрушения, фиксируя нагрузки T_i и соответствующие им углы закручивания φ_i на расчетной длине образца в процессе монотонного деформирования образца с заданной скоростью. После вычисляют относительные углы закручивания ν_i и строят конечный участок кривой кручения. Истинный предел прочности при кручении τ_k вычисляют по формуле:

$$\tau_k = \frac{4}{\pi D^3} [3T_k + \nu_k \left(\frac{dT}{d\nu}\right)_k],$$

где T_k — крутящий момент при разрушении образца;

ν_k — относительный угол закручивания при разрушении образца, рад/мм;

$\left(\frac{dT}{d\nu}\right)_k$ — величина, определяемая графически, равную тангенсу угла между касательной к кривой кручения в этой точке и осью абсцисс.

б) Максимальный остаточный сдвиг при кручении γ_{\max} — максимальная угловая деформация, в точке на поверхности образца для испытаний в момент разрушения. Максимальный остаточный сдвиг при кручении γ_{\max} (если величина сдвига не превышает 0,1 рад) определяют по формуле:

$$\gamma_{\max} = \frac{\varphi_{\max} \cdot D}{2l},$$

где φ_{\max} — максимальный угол закручивания при расчётной длине образца, рад.

При больших деформациях максимальный остаточный сдвиг определяют по формуле:

$$\gamma_{\max} = \arcsin\left(\frac{\varphi_{\max} \cdot D}{2l}\right).$$

Кроме того можно определить срез или отрыв, т.е. характер разрушения при кручении.

В хрупких материалах плоскость разрушения соответствует плоскостям, по которым действуют наибольшие нормальные напряжения. Так как эти плоскости составляют угол 45° с осью образца, то излом представляет собой винтовую поверхность.

Методика выполнения работы

Лабораторная работа выполняется заключается в изучении методик проведения испытания на кручение и алгоритма расчёта основных характеристик.

Перед занятием студенты получают задание на выполнение работы, а также образец стали цилиндрической формы круглого сечения для выполнения ис-

пытания на кручение. Диаметр рабочей части образца составляет 10 мм, с расчетной длиной 100 или 50 мм (нормальные образцы).

Форма и размеры головок образца определяются способом крепления образца в захватах испытательной машины. Переход от рабочей части образца к его головкам должен быть плавным. Диаметр образца перед испытанием необходимо измерить в трех местах по длине рабочей части, делая замеры каждый раз в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью 0,01 мм. Точность измерения длины образца 0,2 мм. Образец закрепляют в зажимах. Зажим вращается в подшипнике от червячного колеса. Углы поворота зажима отмечаются закрепленным на нем указателем на неподвижной шкале, расположенной на подшипнике. Верхний зажим можно перемещать по горизонтальным направляющим и устанавливать на нужном расстоянии (в зависимости от длины образца). Зажим вращается в шарикоподшипнике и прочно скреплен с маятником. Отклонение маятника регистрируется стрелкой силоизмерительного устройства. Для определения малых углов закручивания при определении модуля сдвига, пределов пропорциональности, упругости и текучести применяется зеркальный прибор Мартенса (для кручения).

Нагружение большими ступенями производят до 2/3 ожидаемого предела пропорциональности, а затем догружают образец (от руки) малыми нагрузками. Ступени малых нагрузок выбирают так, чтобы до достижения предела пропорциональности было произведено не менее пяти малых нагрузок. Испытание прекращают, когда угловая деформация от нагружения при малой ступени в 2-3 раза превысит деформацию, полученную от первого малого нагружения. По полученным данным строят кривую кручения (рисунок 4.1). На участке кривой, на котором еще не наблюдается отклонений от закона Гука, определяют средний угол закручивания на малую ступень нагружения и найденную величину увеличивают на 50 %. Основные результаты представить в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Пример заполнения таблицы по результатам испытаний

Образец	Углеродистая сталь
Размеры образца до испытания	Длина $l_0 - \dots$ мм Диаметр $d_0 - \dots$ мм
Размеры образца после испытания	Длина $l_k = \dots$ мм Диаметр $d_k = \dots$ мм
Формула и расчет модуля сдвига при кручении	$G =$
Формула и расчет полярного момента	$I_p =$
Формула и расчет предела пропорциональности образца	$\tau_{пц} =$
Формула и расчет предела текучести образца	$\tau_T =$
Формула и расчет предела прочности образца	$\tau_{пч} =$

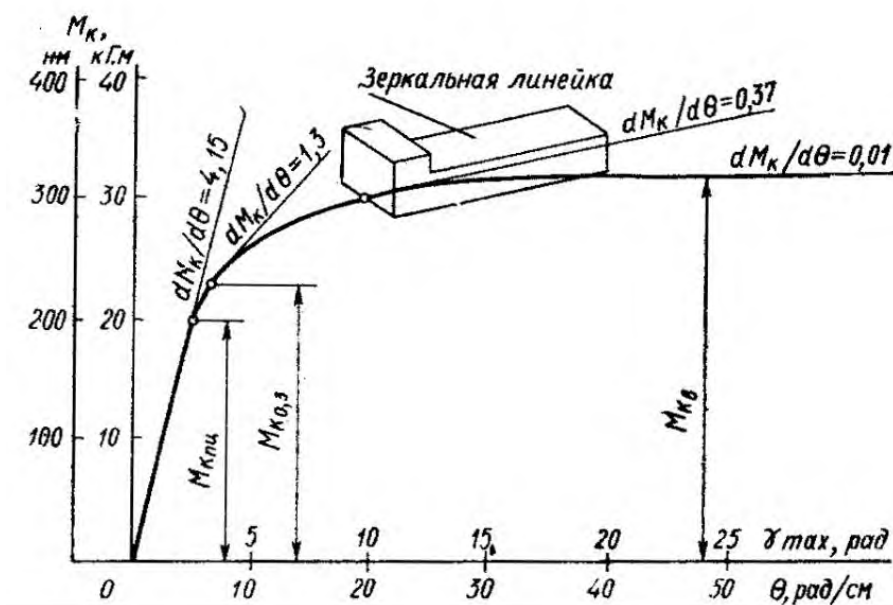


Рисунок 4.1 – Пример диаграммы кручения

Преподаватель проверяет правильность проведенных измерений образца до испытания на кручение. После проведения испытания студенты показывают полученные результаты по проведению измерений разрушенного образца, расчёту основных прочностных характеристик, отвечают на контрольные вопросы и проводят уборку рабочего места.

Контрольные вопросы

1. Для чего проводятся испытания на кручение?
2. Какие требования предъявляются к испытательным машинам?
3. В соответствии с какими документами должны проводиться испытания на кручение?
4. Какие требования установлены к образцам, испытываемым на кручение?
5. Каким образом нагружают образец при испытании на кручение?
6. Дать определение и обозначить формулу предела текучести при кручении.
7. Дать определение и обозначить формулу модуля сдвига при кручении.
8. Дать определение и обозначить формулу предела пропорциональности при кручении.
9. Дать определение и обозначить формулу предела прочности при кручении.
10. Дать определение и обозначить формулу истинного предела прочности при кручении.
11. Дать определение и обозначить формулу максимального остаточного сдвига при кручении.
12. Как по испытанию на кручение определить хрупкий ли материал?

Лабораторная работа № 5

Ознакомление с методикой механических испытаний.

Испытание на сжатие

Цель лабораторной работы: рассмотреть методику проведения испытания на сжатие.

Теоретические данные

Испытания на сжатие проводят для различных видов материалов. Для таких пластичных веществ, как сталь, алюминий, медь, испытания на сжатие являются дополнительными в комплексе с проверкой на растяжение. А вот для чугуна, который характеризуется как хрупкий материал, эти процедуры являются основными. Во-первых, он лучше проявляет свои свойства при прохождении испытаний на сжатие. А во-вторых, хрупкие материалы в основном используют в условиях сжимающих нагрузок, поэтому проверка на сжатие демонстрирует, как ведут себя материалы в этих условиях. Во время проведения исследований у материалов определяют две основные механические характеристики: предел текучести (для пластичных веществ) и предел прочности (для хрупких веществ).

Механические характеристики, кривая упрочнения и ее параметры, определяемые благодаря испытанию на сжатие, могут быть использованы в случаях: выбора металлов, сплавов и обоснования конструктивных решений; статистического приемочного контроля нормирования механических характеристик и оценки качества металла; разработки технологических процессов и проектирования изделий; расчета на прочность деталей машин и т.д.

Способы испытаний на сжатие стандартизованы. В ГОСТ 25.503-97 представлена методика испытаний для цветных и черных металлов и сплавов для построения кривой упрочнения, определения математической зависимости между напряжением течения σ_s и степенью деформации ϵ_l и оценки параметров степенного уравнения $\sigma_s = \sigma_{s1} \epsilon_l^n$ (σ_{s1} - напряжение течения или напряжение, превышающее предел текучести, определяемое отношением нагрузки к действительной для данного момента испытаний площади поперечного сечения образца при равномерном деформировании; при $\epsilon_l^n = 1$, n - показатель деформационного упрочнения).

Испытание на сжатие выполняют при помощи испытательного пресса. Образец цилиндрической или кубической формы устанавливают на стол и подвергают сжатию до полного разрушения. Стенд должен быть оснащён приборами фиксирующими изменение нагрузки в течение испытаний.

Необходимо контролировать соблюдение равномерности деформирования при испытании образцов на сжатие (отсутствие бочкообразования и вогнутости).

При испытании образцов на сжатие можно определить следующие характеристики:

1) Предел пропорциональности при сжатии $\sigma_{\text{пц}}^c$ (МПа) – напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между нагрузкой и абсолютным укорочением образца достигает такого значения, при котором тангенс угла наклона, образованного касательной к диаграмме $F - \Delta h$ в точке $F_{\text{пц}}$ с осью нагрузок, увеличивается на 50 % своего значения на линейном упругом участке;

Первоначальный участок диаграммы представляет собой прямую линию, отражающую прямую пропорциональность между нагрузкой и деформацией. При дальнейшем сжатии образец деформируется без значительного увеличения нагрузки (материал «течет»). Текучесть при сжатии коротких образцов выявляется не очень отчетливо, поэтому при испытании необходимо особенно внимательно следить за нагрузкой. Затем нагрузка начинает вновь возрастать, образец непрерывно сжимается, поперечное сечение его увеличивается, образец сплющивается. Предел пропорциональности при этом можно определить по формуле:

$$\sigma_{\text{пц}}^c = \frac{F_{\text{пц}}}{A_0},$$

где $F_{\text{пц}}$ - нагрузка, прилагаемая к образцу, Н;

A_0 – первоначальная площадь поперечного сечения.

2) Предел упругости при сжатии $\sigma_{0,05}^c$ (МПа) – напряжение, при котором относительная остаточная деформация (укорочение) образца достигает 0,05 % первоначальной расчетной высоты образца. Предел упругости при сжатии $\sigma_{0,05}^c$ определяется по формуле:

$$\sigma_{0,05}^c = \frac{F_{0,05}}{A_0},$$

где $F_{0,05}$ - нагрузка, соответствующая пределу упругости при сжатии, Н.

3) Предел текучести (физический) при сжатии σ_T^c (МПа) – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения сжимающей нагрузки. Пример определения нагрузки F_T , соответствующей пределу текучести (физическому), приведен на рисунке 5.1.

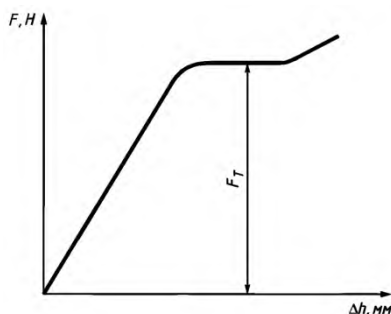


Рисунок 5.1 – Определение нагрузки F_T , соответствующей пределу текучести при сжатии

Предел текучести (физический) σ_T^c , рассчитывают по формуле:

$$\sigma_T^c = \frac{F_T}{A_0}.$$

4) Условный предел текучести при сжатии $\sigma_{0,2}^c$ (МПа) – напряжение, при котором относительная остаточная деформация (укорочение) образца достигает 0,2 % первоначальной расчетной высоты образца. Формула:

$$\sigma_{0,2}^c = \frac{F_{0,2}}{A_0}.$$

5) Предел прочности при сжатии σ_B^c (МПа) – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению;

$$\sigma_B^c = \frac{F_{\max}}{A_0}.$$

б) Одноосное сжатие можно рассматривать как растяжение с обратным знаком. В результате пластической деформации образец укорачивается и уширяется. Следовательно, можно определять относительное укорочение:

$$\varepsilon_l = \ln \frac{h_0}{h_k} \text{ или } \varepsilon_l = \ln \frac{A_k}{A_0}.$$

Число образцов для оценки среднего значения механических характеристик должно быть не менее пяти, но если разница в определяемых характеристиках не превышает 5 %, можно ограничиться тремя образцами.

Методика выполнения работы

Лабораторная работа выполняется заключается в изучении методик проведения испытания на сжатие и алгоритма расчёта основных характеристик.

Перед занятием студенты получают задание на выполнение работы, а также образец стали цилиндрической формы круглого сечения для выполнения испытания на сжатие. Образцы замеряют и, поочередно устанавливая их между опорными плитами испытательной машины, подвергают статическим нагрузкам, в процессе которых на диаграммном аппарате производится запись диаграмм сжатия соответствующих материалов. Образец необходимо нагружать сжимающей силой плавно. По контрольной стрелке шкалы силоизмерителя фиксируются максимальные нагрузки для каждого из образцов. Нагружать образец необходимо до тех пор, пока не образуется заметная бочкообразность. По окон-

чанию испытания нужно разгрузить образец и удалить его из испытательной машины. Провести подобным образом испытание нескольких образцов. По полученным диаграммам сжатия (рисунок 5.2) необходимо определить максимальную нагрузку сжатия стального образца и разрушающие нагрузки для других образцов, корректируя их значения с показателями стрелки силоизмерителя. Основные результаты представить в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Пример заполнения таблицы по результатам испытаний

Образец 1	Углеродистая сталь
Образец 2	...
Образец 3	...
Размеры образца до испытания	Длина l_0 – ... мм Диаметр d_0 – ... мм
Размеры образца после испытания	Длина l_k = ... мм Диаметр d_k = ... мм
Формула и расчет предела упругости при сжатии	$\sigma_{0,05}^c =$
Формула и расчет относительного укорочения образца	$\varepsilon_l =$
Формула и расчет предела текучести образца	$\sigma_T^c =$
Формула и расчет предела прочности образца	$\sigma_B^c =$

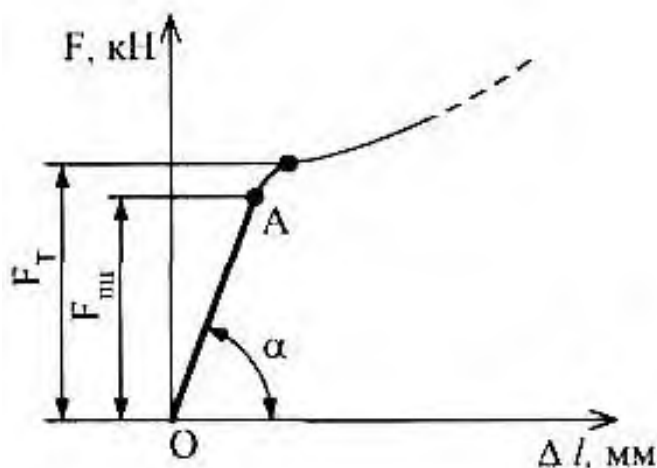


Рисунок 5.2 – Пример диаграммы сжатия

Преподаватель проверяет правильность проведенных измерений образца до испытания на сжатие. После проведения испытания студенты показывают полученные результаты по проведению измерений разрушенного образца, расчёту основных прочностных характеристик, отвечают на контрольные вопросы и проводят уборку рабочего места.

Контрольные вопросы

1. Для чего проводятся испытания на сжатие?
2. Какие механические характеристики возможно определить по результатам испытания на сжатие?
3. В соответствии с каким документом должно проводиться испытание на сжатие?
4. В каких случаях механические характеристики, полученные по результатам испытания на сжатие, могут быть использованы?
5. Каким образом выполняют испытание на сжатие?
6. Дать определение и обозначить формулу предела пропорциональности при сжатии.
7. Дать определение и обозначить формулу предела упругости при сжатии.
8. Дать определение и обозначить формулу предела текучести при сжатии.
9. Дать определение и обозначить формулу условного предела текучести при сжатии.
10. Дать определение и обозначить формулу предела прочности при сжатии.
11. Дать определение и обозначить формулу относительного укорочения при сжатии.
12. От чего зависит количество образцов, необходимых для оценки среднего значения механических характеристик?

Лабораторная работа № 6

Виды дефектов. Качество продукции и технический контроль

Цель лабораторной работы: рассмотреть некоторые виды дефектов прокатного производства и оценить возможность технического контроля продукции.

Теоретические данные

Качество готовой продукции во многом определяется качеством исходной заготовки. При изготовлении изделий различного назначения с помощью процессов ОМД, может возникнуть ряд дефектов, начиная от дефектов геометрии продукции (например, искажение профиля готовой продукции или изменение геометрии отдельных участков их периметра могут быть косвенными показателями пораженности трещинами), заканчивая разрушением внутренних и внешних слоёв металлов и сплавов. Дефекты появляются по ряду причины, но чаще всего из-за несоблюдения условий технологической или термической обработки. В таблицах 6.1 – 6.5 на примере прокатного производства рассмотрены особенности, связанные с характеристикой, причинами возникновения и мерами предупреждения образования различных дефектов.

Таблица 6.1 – Дефект, связанный с травмированием сляба в печи толкательного типа

Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
Дефект поверхности в виде тонких отслаивающихся от поверхности полосы пленок, вытянутых вдоль направления прокатки. В сечении дефекта наблюдаются ответвления в виде трещин, сопровождающихся окалиной и диффузионным окислением. По дефекту может наблюдаться обезуглероживание металла	Травмирование нижней поверхности слябов со стороны выдачи из печи (сторона оператора). При перемещении по нагревательной печи толкательного типа из-за наличия наростов окалины на подине печи.	Подину периодически очищать от окалины скребками через рабочие окна, не допуская образования наростов. Не допускать перегрева и оплавления слябов в томильной зоне печи.

На рисунке 6.1 показан внешний вид дефекта, полученный при травмировании сляба в печи.



Рисунок 6.1 – Внешний вид травмированной поверхности сляба

Таблица 6.2 – Раковины от окалины

Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
Дефект поверхности в виде отдельных углублений, частично вытянутых вдоль направления прокатки, образующихся при вытравливании и выпадении вкатанной окалины	Наличие вдавленной в поверхность металла окалины на горячекатанном прокате из-за: <ul style="list-style-type: none"> - повышенной продолжительности нагрева сляба; - сильного местного оплавления сляба при его нагреве; - прокатки с недостаточным боковым обжатием в вертикальном окатиноломателе; - повышенной выработки поверхности рабочих валков черновой и чистой групп клетей и т.д. 	Своевременно снижать теплоту сгорания топлива в нагревательных печах; <ul style="list-style-type: none"> Не допускать оплавления слябов при их нагреве и своевременно снижать температуру по зонам печи в случае аварийной остановки; Соблюдать установленные сроки перевалки валков; Своевременно устранять сбои в работе окатиноломателя; Не допускать прокатку без бокового обжатия в черновом окатиноломателе и т.д.

На рисунке 6.2 показан внешний вид дефекта «Раковины от окалины».



Рисунок 6.2 – Внешний вид раковин от окалины

Таблица 6.3 – Отпечатки – следы от пробуксовки валков

Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
Продольные штрихи, выстроенные в линию поперек направления прокатки с нерегулярной повторяемостью	Дефект образуется вследствие проскальзывания рабочих валков стана горячей прокатки относительно поверхности полосы	Не допускать прокатку с перегрузкой клеток чистой группы и рассогласования скоростей рабочих валков в чистой группе

На рисунке 6.3 показан внешний вид дефекта «Отпечатки – следы от пробуксовки валков».

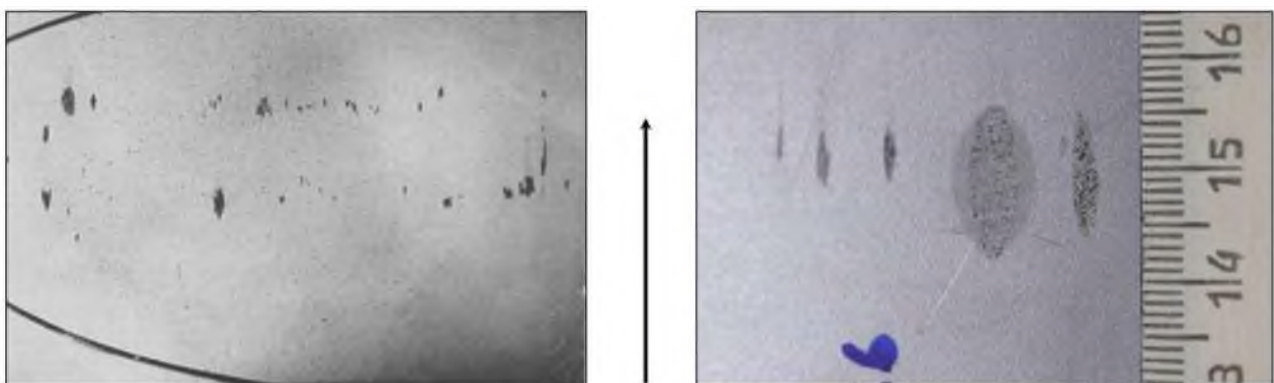


Рисунок 6.3 – Внешний вид отпечатков от пробуксовки валков

Таблица 6.4 – Сквозные разрывы

Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
Дефект поверхности в виде С-образных сквозных поперечных несплошностей полосы. При металлографическом исследовании по дефекту вблизи него не обнаруживается вкатанной окалины, неметаллических включений и диффузионных окислов. В зоне дефекта наблюдаются темные участки с неравномерной деформацией металла с волокнистой структурой, отличающейся от зеренной структуры основного металла	Неравномерное обжатие по ширине полосы; Выработка прокатных валков; Высокая поперечная разнотолщинность полосы; Травмирование поверхности подката в линии НТА или на входе полосы в линию стана при заклинивании транспортных роликов и неисправности проводкового оборудования	Постоянно контролировать состояние рабочих валков стана холодной прокатки; Соблюдать сроки перевалки; Обеспечивать точность геометрических параметров полос подката; Исключить повреждения поверхности полос в линиях НТА и станах холодной прокатки

На рисунке 6.4 показан внешний вид дефекта «Сквозные разрывы».

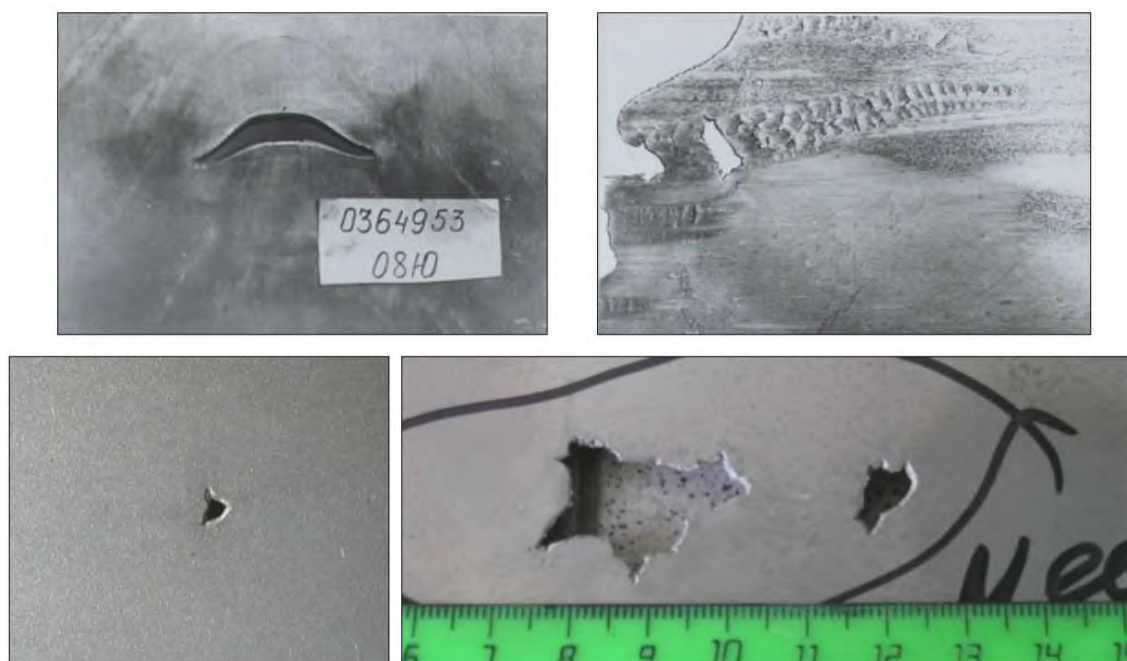


Рисунок 6.4 – Внешний вид сквозных разрывов

Таблица 6.5 – Отпечатки

Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
<p>Дефект поверхности, представляющий собой углубления или выступы различной формы и величины, расположенные на отдельных участках полосы.</p> <p>Дефект может периодически повторяться по длине полосы. В сечении дефекта наблюдается небольшая вмятина (выпуклость) или изменение шероховатости, по сравнению с участками нетравмированного проката</p>	<p>Наличие выступов или углублений, наваров, порезов, выкрошек на поверхности прокатных валков или роликов оборудования;</p> <p>Попадание металлических частиц в очаг деформации при прокатке</p>	<p>Своевременно производить перевалку рабочих валков и очистку или замену роликов;</p> <p>Соблюдать чистоту проводковой арматуры стана, не допускать попадания посторонних частиц на полосу</p>

На рисунке 6.5 показан внешний вид дефекта «Отпечатки».

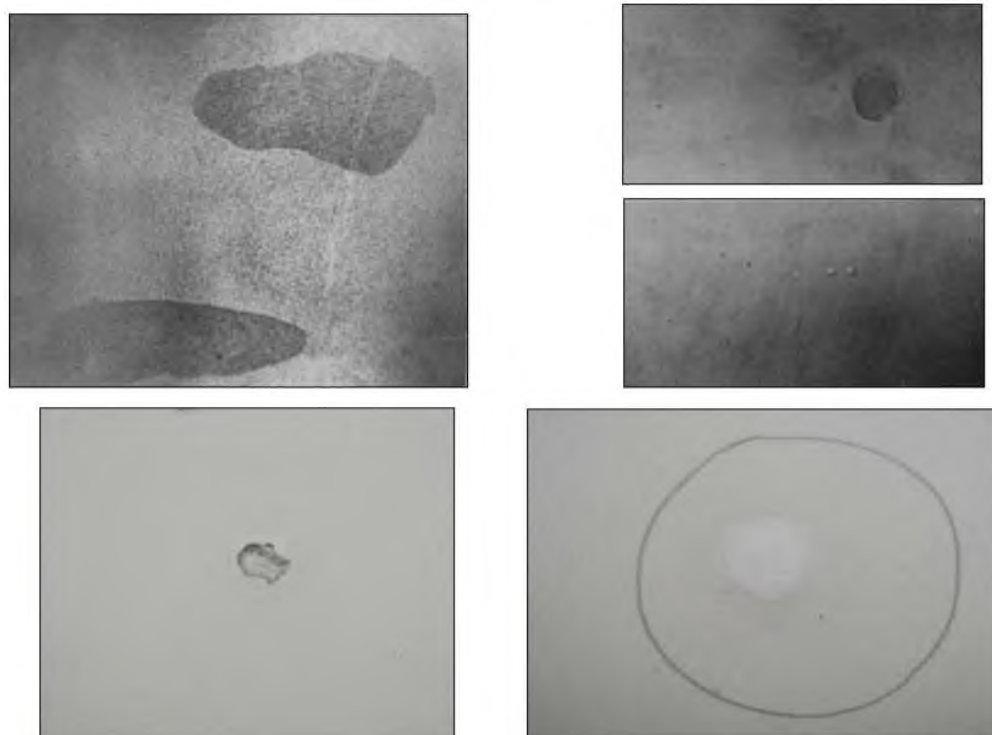


Рисунок 6.5 – Внешний вид отпечатков

Нарушение требований, предъявленных к качеству изготавливаемой продукции, приводит к увеличению издержек производства и потребления.

Техническим контролем называется проверка соблюдения технических требований, предъявляемых к качеству продукции на всех стадиях ее изготовления, а также производственных условий и факторов, обеспечивающих требуемое качество. Объектами технического контроля являются материалы и полуфабрикаты, поступающие на предприятие со стороны, продукция предприятия как в готовом виде, так и на всех стадиях ее производства, технологические процессы, орудия труда, технологическая дисциплина и общая культура производства.

По этапам производственного процесса различают следующие виды контроля:

- входной контроль, осуществляемый перед началом обработки с целью предупреждения дефектов и брака, обусловленного недоброкачеством поступающих материалов, полуфабрикатов и своевременного изъятия дефектных заготовок и изделий из производства;

- операционный контроль, проводимый в процессе обработки изделий с целью проверки качества выполнения операций, своевременного выявления и изъятия брака, устранения дефектов. Возможен после каждой операции либо после группы операций в зависимости от требуемого качества изделий и характера технологического процесса. Этот контроль осуществляет исполнитель операции (рабочий, бригадир, испытатель) контролер, мастер ОТК (БЦК). В некоторых случаях операционный контроль может выполнять представитель заказчика;

- приемочный контроль, выполняемый по окончании процесса изготовления изделий, деталей, сборочных единиц с целью определения соответствия качества требованиям, установленным в нормативно-технической документации. Контролируются также упаковка, комплектность и др. Этому контролю подвергается вся продукция, законченная обработкой в данном цехе перед поступлением ее в следующий цех или непосредственно на склад. Приемочный контроль предупреждает отправку недоброкачественной продукции потребителю. Он выполняется контролером, мастером ОТК, а в некоторых случаях – представителем заказчика.

В зависимости от вида продукции при этом контроле возможно проведение соответствующих испытаний. По полноте охвата изготовленной продукции контролем выделяют:

- сплошной контроль – проверка каждого изделия в изготовленной партии. Обычно такой контроль бывает необходим при разнородности исходных материалов и заготовок и при неустойчивости технологического процесса. Сплошной контроль часто осуществляется после операций, имеющих решающее значение для качества готовых изделий, однородность которых в производстве недостаточно обеспечена, при проверке наиболее дорогих изделий;

- выборочный контроль, при котором контролируется лишь часть изготовленных изделий. Применяется при больших количествах одинаковых изделий и при устойчивом технологическом процессе. Выборочный контроль существенно снижает трудоемкость контроля при устойчивом технологическом процессе, при неустойчивом же процессе выборочный контроль будет приводить к выводу о необходимости сплошной сортировке засоренной браком партии продукции.

По степени связи с объектами контроля во времени различают:

- летучий контроль, выполняемый непосредственно на месте изготовления, ремонта, хранения продукции в случайные неопределенные моменты времени (внезапно) с целью своевременного выявления нарушения технических требований и дефектов продукции, а также предупреждения подобных нарушений. Его осуществляют только выборочно для малосистемных изделий и процессов;

- непрерывный контроль для проверки технологических процессов в случаях их нестабильности и необходимости постоянного обеспечения определенных количественных характеристик. Осуществляется, как правило, автоматическими и полуавтоматическими средствами контроля;

- периодический контроль, применяемый для проверки качества изделий и технологических процессов при установившемся производстве и стабильных технологических процессах.

По используемым средствам контроля различают:

- измерительный контроль, применяемый для оценки значений контрольных параметров изделия: по точному значению (используются инструменты и приборы шкальные, стрелочные и т.п.) и по допустимому диапазону значений параметра (применяются шаблоны, калибры и т.п.);

- регистрационный контроль, осуществляемый для оценки объекта контроля на основании результатов подсчета (регистрация определенных качественных признаков, событий, изделий);

- контроль по контрольному образцу – сравнение признаков контролируемого изделия с признаками контролируемого образца. Применяют при оценке контролируемых характеристик и параметров изделия, когда их измерение невозможно или экономически нецелесообразно;

- органолептический контроль, осуществляемый посредством только органов чувств без определения численных значений контролируемого объекта;

- визуальный контроль – вариант органолептического, осуществляется только органами зрения (глазной контроль).

Особый вид контроля – контроль инспекционный, который представляет собой повторную проверку продукции, уже принятой ОТК, или проверку соблюдения правил выполнения контроля. Такой контроль выполняется специальной комиссией, он может быть осуществлен в каждом цехе по распоряжению начальника ОТК завода. Инспекционный контроль дисциплинирует персонал, побуждает его внимательно относиться к своим обязанностям. Совокупность

видов, средств контроля, методов выполнения контрольных операций и исполнителей, взаимодействующих с объектом контроля, составляет систему контроля. В системе управления качеством продукции статистические методы контроля являются наиболее прогрессивными. Они основаны на применении методов математической статистики к систематическому контролю за качеством продукции и состоянием технологического процесса с целью поддержания его устойчивости и обеспечения заданного уровня качества изготавливаемой продукции. Статистические методы контроля производства и качества продукции имеют ряд преимуществ перед другими методами:

- являются профилактическими;
- позволяют во многих случаях обосновано перейти к выборочному контролю и тем самым снизить трудоемкость контрольной работы;
- создают условия для наглядного изображения динамики качества продукции и настроенности процесса, что позволяет своевременно принимать меры к предупреждению брака не только контролером и работником ОТК, но и персоналом цеха – рабочими, бригадирами, наладчиками, технологами.

Методика выполнения работы

Лабораторная работа заключается в анализе возможных дефектов, возникающих в прокатном производстве и изучении способов их предотвращения, а также оценки методов контроля продукции на различных этапах производства.

Перед занятием студенты получают задание на выполнение работы, образцы сталеи, полученные путём холодной и горячей прокатки. Представленные образцы имеют ряд дефектов. Студентам необходимо описать внешний вид дефектов, представить возможные причины возникновения дефектов, а также способы по устранению и предотвращению появления описанных дефектов. Результат необходимо представить в таблицах 6.6 и 6.7. В таблицах 6.8 и 6.9 нужно подробнее рассмотреть ошибки, допущенные в технологическом процессе обработки сталеи и указать на каком этапе технологического процесса с помощью каких методов контроля продукции возможно заблаговременно выявить определенные дефекты и снять продукцию с производства.

Таблица 6.6 – Результаты оценки дефектной продукции, полученной в цехе холодной прокатки

Наименование дефекта	Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
Дефект №1			
Дефект №2			

Таблица 6.7 – Результаты оценки дефектной продукции, полученной в цехе горячей прокатки

Наименование дефекта	Характеристика дефекта	Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения образования дефекта
Дефект №1			
Дефект №2			

Таблица 6.8 – Необходимые методы контроля продукции, полученной в цехе холодной прокатки

Наименование дефекта	Подробная оценка дефекта	Необходимые методы контроля продукции для предупреждения дефектной продукции
Дефект №1		
Дефект №2		

Таблица 6.9 – Необходимые методы контроля продукции, полученной в цехе горячей прокатки

Наименование дефекта	Подробная оценка дефекта	Необходимые методы контроля продукции для предупреждения дефектной продукции
Дефект №1		
Дефект №2		

Преподаватель проверяет правильность оценки студентами дефектной продукции. После заполнения отчета, студенты показывают полученные результаты по требуемой оценке характеристик дефектов, причин их возникновения, мер предупреждения и образования, методов контроля продукции, отвечают на контрольные вопросы и проводят уборку рабочего места.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит качество продукции?
2. По каким причинам могут возникнуть дефекты в прокатном производстве?
3. Какие виды дефектов могут возникнуть в прокатном производстве?
4. В чем состоит отличительная особенность дефекта, связанного с травмированием сляба в печи толкательного типа?
5. Каковы причины возникновения дефекта, связанного с травмированием сляба в печи толкательного типа?

6. Каким образом можно предупредить образование дефекта, связанного с травмированием сляба в печи толкательного типа?
7. Каковы причины возникновения дефекта раковины от окалины?
8. Каким образом можно предупредить образование дефекта раковины от окалины?
9. В чем состоит отличительная особенность дефекта раковины от окалины?
10. В чем состоит отличительная особенность дефекта следы от пробуксовки валков?
11. Каковы причины возникновения дефекта следы от пробуксовки валков?
12. Каким образом можно предупредить образование дефекта следы от пробуксовки валков?
13. В чем состоит отличительная особенность дефекта сквозные разрывы?
14. Каковы причины возникновения дефекта сквозные разрывы?
15. Каким образом можно предупредить образование дефекта сквозные разрывы?
16. В чем состоит отличительная особенность дефекта отпечатки?
17. Каковы причины возникновения дефекта отпечатки?
18. Каким образом можно предупредить образование дефекта отпечатки?
19. К чему приводит нарушение требований, предъявленных к качеству изготавливаемой продукции?
20. Дать определение техническому контролю.
21. Что является объектом технического контроля?
22. Какие виды технического контроля существуют в зависимости от этапа производственного процесса?
23. В чем состоит особенность операционного контроля?
24. В чем состоит особенность приемочного контроля?
25. В чем состоит особенность сплошного контроля?
26. В чем состоит особенность выборочного контроля?
27. В чем состоит особенность летучего контроля?
28. В чем состоит особенность непрерывного контроля?
29. В чем состоит особенность периодического контроля?
30. В чем состоит особенность измерительного контроля?
31. В чем состоит особенность регистрационного контроля?
32. В чем состоит особенность контроля по контрольному образцу?
33. В чем состоит особенность органолептического и визуального видов контроля?
34. В чем состоит особенность инспекционного контроля?
35. В чем заключаются преимущества статистических методов контроля?

Список рекомендуемой литературы

Для лабораторной работы № 1:

1. Виноградова, Г. Н. Основы микроскопии: учебное пособие / Г. Н. Виноградова, В. В. Захаров. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2018 - Часть 1: Основы микроскопии - 2018. - 133 с.
2. Виноградова, Г. Н. Основы микроскопии : учебное пособие / Г. Н. Виноградова, В. В. Захаров. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2020 - Часть 2. - 2020. - 248 с.
3. Егорова, О. В. Техническая микроскопия. Практика работы с микроскопами для технических целей / О. В. Егорова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 524 с. - ISBN 978-5-8114-9771-3.

Для лабораторной работы № 2:

1. Бурый, Г. Г. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебно-методическое пособие / Г. Г. Бурый. - Омск : СибАДИ, 2019. - 222 с. - ISBN 978-5-00113-057-4.
2. Выбойщик, М. А. Атлас микроструктур железоуглеродистых сплавов: учебное пособие / М. А. Выбойщик, А. В. Иоффе. - Тольятти: ТГУ, 2016. - 52 с. - ISBN 978-5-8259-0936-3.
3. Материаловедение: практикум / Г. В. Клевцов, М. А. Выбойщик, Н. А. Клевцова, Л. И. Попова. - Тольятти: ТГУ, 2018. - 224 с. - ISBN 978-5-8259-1373-5.
4. Материаловедение: технология конструкционных материалов: учебное пособие / составители М. С. Корытов [и др.]. - Омск : СибАДИ, 2020. - 137 с.
5. Худокормова, Р. Н. Материаловедение. Практикум: учебное пособие / Р. Н. Худокормова, Ф. И. Пантелеенко, Д. А. Худокормов. - Минск: Новое знание, 2014. - 311 с. - ISBN 978-985-475-695-0.

Для лабораторной работы № 3:

1. Арабов, М. Ш. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / М. Ш. Арабов, З. М. Арабова. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 160 с. - ISBN 978-5-8114-7510-0.
2. Герасимова, Л. П. Контроль качества конструкционных материалов: справочник / Л. П. Герасимова, Ю. П. Гук. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 848 с. - ISBN 978-5-9729-1460-9.
3. Крашенинникова, Н. Г. Методы исследования механических свойств материалов: учебное пособие / Н. Г. Крашенинникова, С. Я. Алибеков, Е. В. Алибекова. - Йошкар-Ола : ПГТУ, 2023. - 92 с. - ISBN 978-5-8158-2324-2.

Для лабораторной работы № 4:

1. Герасимова, Л. П. Контроль качества конструкционных материалов: справочник / Л. П. Герасимова, Ю. П. Гук. - Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 848 с. - ISBN 978-5-9729-1460-9.

2. Пояркова, Е. В. Механика материалов и основы конструирования: учебное пособие / Е. В. Пояркова, Л. С. Диньмухаметова. - 2-е изд. - Москва: ФЛИНТА, 2017. - 276 с. - ISBN 978-5-9765-3385-1.

Для лабораторной работы № 5:

1. Арабов, М. Ш. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / М. Ш. Арабов, З. М. Арабова. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 160 с. - ISBN 978-5-8114-7510-0.

2. Герасимова, Л. П. Контроль качества конструкционных материалов: справочник / Л. П. Герасимова, Ю. П. Гук. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 848 с. - ISBN 978-5-9729-1460-9.

Для лабораторной работы № 6:

1. Герасимова, Л. П. Контроль качества конструкционных материалов: справочник / Л. П. Герасимова, Ю. П. Гук. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 848 с. - ISBN 978-5-9729-1460-9.

2. Рудской, А. И. Теория и технология прокатного производства / А. И. Рудской, В. А. Лунев. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2023. - 528 с. - ISBN 978-5-507-45527-0.

3. Щипаков, Н. А. Статистические методы управления качеством: учебное пособие / Н. А. Щипаков. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2020. - 118 с. - ISBN 978-5-7038-5248-4.

БИРЮКОВА ОЛЕСЯ ДМИТРИЕВНА

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
МАТЕРИАЛОВ И ПРОЦЕССОВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

для студентов, обучающихся по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия,
Профиль – Обработка металлов давлением,
всех форм обучения

Подписано в печать 23.11.2023 г.		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег. № 255	Печать цифровая Тираж 10 экз.	Уч.-изд.л. 3,38

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nf@misis.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729