

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о подписи:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 10:08:51

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b00daa62

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

**по дисциплине «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ»**

для студентов направления подготовки

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Лабораторная работа № 1	3
Лабораторная работа №2.....	15
Лабораторная работа №3.....	21
Лабораторная работа №4.....	27
Лабораторная работа № 5.....	32
Лабораторная работа № 6.....	39
Лабораторная работа № 7.....	47
Лабораторная работа № 8.....	14

Введение

Целью методических рекомендаций по изучению дисциплины является закрепление и углубление знаний, полученных при изучении теоретического материала по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов»

Целью проведения лабораторных занятий является:

1. Обобщение, систематизация, закрепление полученных теоретических знаний по темам конкретным требованиям дисциплины
2. Формирование умений применять полученные знания на практике
3. Выработка оптимальных решений при решении практических задач предметной области

Ведущей целью лабораторных занятий по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» является формирование профессиональных компетенций и умений – выполнение определенных действий, необходимых в предметной области.

Методические рекомендации призваны обеспечить эффективность самостоятельной работы студентов с литературой, на основе рациональной организации ее изучения, облегчить подготовку студентов к сдаче экзамена, сориентировать их в направлении изучения материала по поставленным вопросам, дать возможность отработать навыки составления и оформления различных видов документов, как под контролем преподавателя, так и самостоятельно.

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ИД-1 _{ОПК-1} Основы естественнонаучных и общетехнических наук, методов математического анализа и моделирования.	Готовность к контролю технического состояния транспортных средств с использованием средств технического диагностирования
	ИД-2 _{ОПК-1} Применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.	Готовность к организации и контролю качества и безопасности процессов сервиса, параметров технологических процессов с учетом требований потребителя
	ИД-3 _{ОПК-1} Навыком применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.	Способен адаптировать и модифицировать специализированное программное обеспечение, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности

Лабораторная работа № 1

Тема: «Структурный анализ металлов и сплавов»

Цель— изучить задачи структурного анализа металлов и сплавов и методику его проведения, виды структурного анализа, методы выявления макро- и микроструктуры, методику изготовления макро- и микрошлифов.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

В материаловедении используют разные методы исследований и испытаний для получения надежной информации о свойствах металлов и их сплавов и о изменении этих свойств в зависимости от внешних факторов. Одним из таких исследований является структурный анализ.

В металловедении широко используются понятия «система», «фаза», «структура». Совокупность фаз, находящихся в состоянии равновесия, называют системой. Фазой называют однородные (гомогенные) составные части системы, имеющие одинаковый состав, кристаллическое строение и свойства, одно и то же агрегатное состояние и отделённые от составных частей поверхностями раздела. Под структурой понимают форму, размеры и характер взаимного расположения соответствующих фаз в металлах и сплавах.

Структурными составляющими сплава называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

Различают макроструктуру и микроструктуру. Соответственно различают макроструктурный и микроструктурный анализ.

Макроструктурный анализ.

Макроструктура – это строение металла, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 раз) с помощью лупы.

Макроструктурный анализ не определяет подробностей строения и может использоваться как предварительный анализ выбора участка для изучения микроструктуры. Но в основном макроструктурный анализ используется как самостоятельный метод исследования.

Данный метод прост по выполнению и не требует сложного оборудования, поэтому нашел широкое применение.

С помощью макроструктурного анализа определяют:

- нарушение сплошности металла: усадочную рыхлость; межкристаллические трещины; трещины, возникшие при обработке давлением и термической обработке; дефекты сварки (непровары, газовые пузыри и т. п.);
- вид излома: вязкий, хрупкий, усталостный, нафталинистый и т.д.;
- качество литья: дендритное строение, качество и ориентацию зёрен;
- структурную и химическую неоднородность;
- качество обработки давлением: текстуру деформации;
- прокаливаемость, примерную толщину цементованного слоя и др.

На практике применяют три способа макроанализа:

1. Макроанализ по излому – фрактография;
2. Макроанализ по специально подготовленным образцам – макрошлифам (темплетам);
3. Изучение макростроения непосредственно на поверхности заготовки или детали. Поверхность подвергается шлифованию и травлению. После исследования деталь идет в эксплуатацию.

Макроанализ по излому выполняют по аварийным или специально подготовленным изломам. Анализ излома позволяет установить особенности

строения металла, качество химико-термической и термической обработок, характер излома (хрупкий или вязкий), а иногда и причины разрушения: поверхностные и внутренние дефекты, вызвавшие зарождение трещины.

По строению рельефа различают изломы:

- кристаллический или зернистый (хрупкий) – наблюдается при хрупком разрушении без видимой пластической деформации и имеет вид ровной, блестящей поверхности с множеством гладких площадок-фасеток. При этом излом может проходить как по границам зерен (межкристаллический), так и по зернам металла (транскристаллический);

- матовый или волокнистый (вязкий) – наблюдается при вязком разрушении и имеет волокнистое строение. Вызван значительной пластической деформацией, поэтому форма и размер зёрен значительно искажены. На поверхности наблюдаются выступы, не имеющие кристаллического блеска;

- смешанный – наиболее часто, наблюдаемый излом, в котором присутствует и хрупкая и вязкая составляющие;

- усталостный излом деталей, работающих в условиях циклического многократного нагружения (валы, штоки, оси и др.). На поверхности излома наблюдается три зоны:

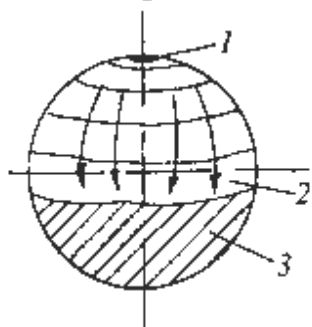


Рис.1

1) очаг разрушения – зона зарождения усталостной трещины, появлению которой способствовали концентраторы напряжений (риски, трещины, забоины, неметаллические включения и др.);

2) зона стабильного развития усталостной трещины – представлена гладкой, часто блестящей поверхностью, для которой характерно наличие усталостных линий, расходящихся от очага разрушения в виде волнообразных концентрических следов продвижения усталостной трещины;

3) зона долома – расположена в месте окончательного разрушения, происходящего с большой скоростью. Излом в зоне имеет признаки хрупкого разрушения.

- древовидный излом имеет вид сломанного дерева, наблюдается при наличии неметаллических включений.

Макроанализ по макрошлифам выполняют по специальным образцам – макрошлифам. Макрошлифом называется поверхность образца, специально подготовленная для исследования макроструктуры.

Макрошлиф, изготовленный в поперечном сечении образца, называют темплетом.

Последовательность приготовления макрошлифа:

- вырезка образца из реального изделия в определенном месте и в определенной плоскости в зависимости от того, что подвергают исследованию – отливку, поковку, штамповку, прокат, сварную или термически обработанную деталь, и что требуется выявить и изучить;

- получение плоской поверхности обработкой на строгальном, фрезерном или шлифовальном станках;

- шлифование поверхности образца шлифовальной бумагой, начиная шкуркой с наиболее грубым абразивным зерном, затем постепенно переходят на шлифование шкуркой с более мелким зерном. При переходе с одного номера шкурки на другой направление шлифования меняют на 90°;

- промывка поверхности макрошлифа для удаления металлической пыли, загрязнений и т.п.;

- травление поверхности макрошлифа для выявления структуры.

В зависимости от цели исследования травление может быть: глубокое, поверхностное и снятие отпечатков.

Глубокое травление проводят

- для выявления дефектов, нарушающих сплошность металла или сплава (трещин, подкорковых пузырей, пор, раковин, флокенов – внутренних разрывов из-за присутствия в стали атомарного водорода и т.п.);

- волокнистого строения металла, которое формируется при обработке давлением. Волокнистое строение металла характеризуется резко выраженной анизотропией свойств, что особенно важно для изделий, работающих в условиях динамического нагружения (коленчатые валы, шатуны, клапана и т.д.). В этом случае желательным будет направление волокон по профилю изделия.

Глубокое травление выполняют следующим образом:

1. Отшлифованную поверхность образца протирают ватой, смоченной в спирте.
2. Образец при помощи щипцов погружают шлифованной стороной в нагретый до 60 – 70°C реактив (50 % -ный раствор соляной кислоты) и выдерживают в течение 10 – 45 мин.
3. После выдержки образец вынимают из реактива и промывают вначале водой, а затем 10 – 15 % -ным раствором азотной кислоты, затем просушивают и изучают.

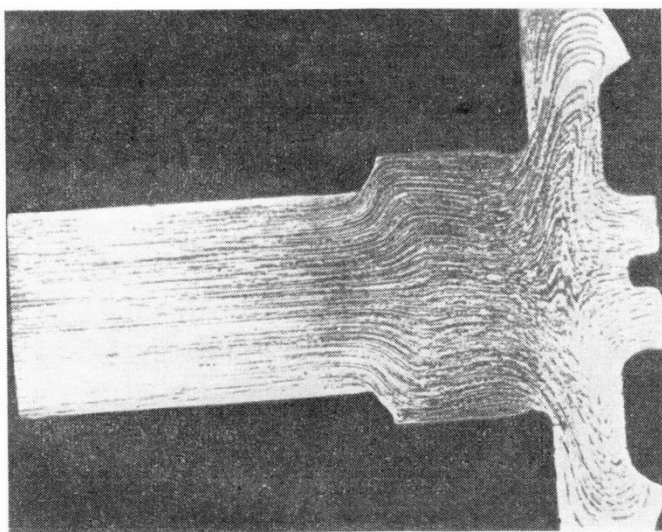


Рис.2 Волокнистое строение штамповки

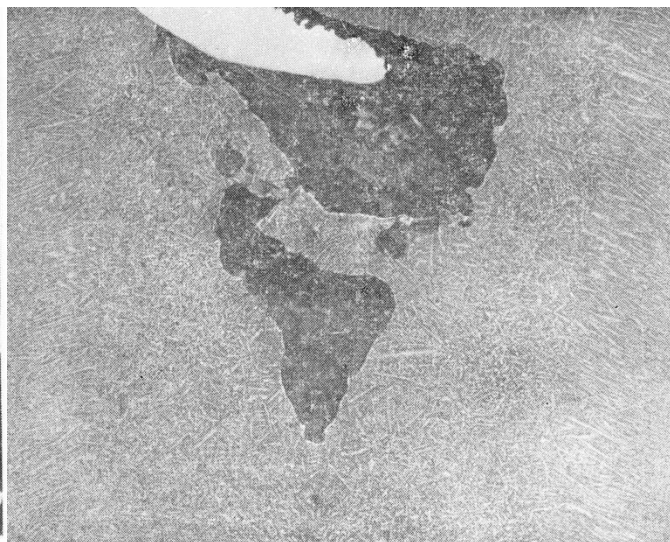


Рис. 3 Усадочная раковина

Поверхностное травление производится для определения общей химической и структурной неоднородности – ликвации. Необходимость выявления ликвации вызвана тем, что химический состав стали даёт представление лишь о среднем количественном соотношении компонентов, входящих в сплав, но не вскрывает характер их распределения по сечению детали. Распределение компонентов в сплаве зависит как от их количества, так и от процессов кристаллизации, и последующей обработки (давлением, химико-термической, термической и др.) и оказывает существенное влияние на строение сплава и на его свойства.

Например, для определения общей ликвации углерода, фосфора и серы применяют травление исследуемой поверхности в 10 – 15 % -ном водном растворе двойной медно-аммиачной соли соляной кислоты (CuNH_4Cl_2).

При травлении стального макрошлифа железо переходит в раствор, на его место осаждается медь, которая предохраняет поверхность металла от дальнейшего воздействия хлористых солей реактива. В результате места, обогащенные углеродом, фосфором и серой, окажутся менее защищенными медью и будут сильно протравлены. После снятия слоя меди они будут выглядеть темнее участков с меньшим содержанием этих элементов.

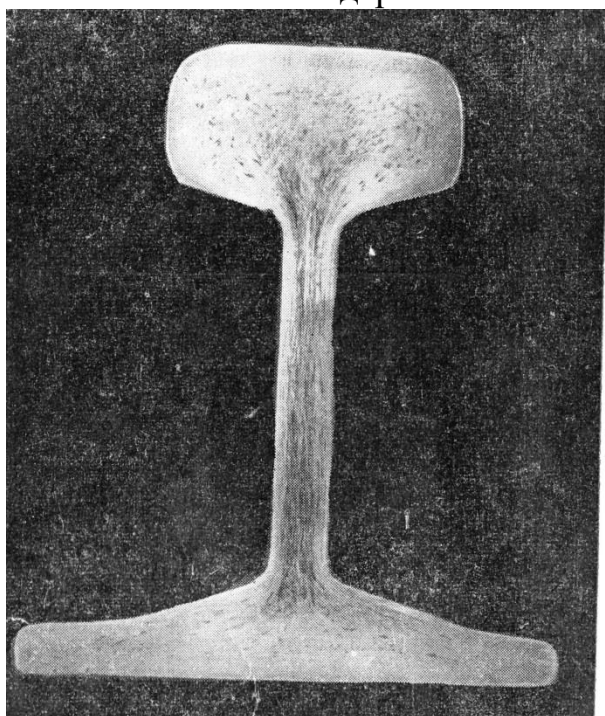


Рис. 4. Ликвация серы в стали

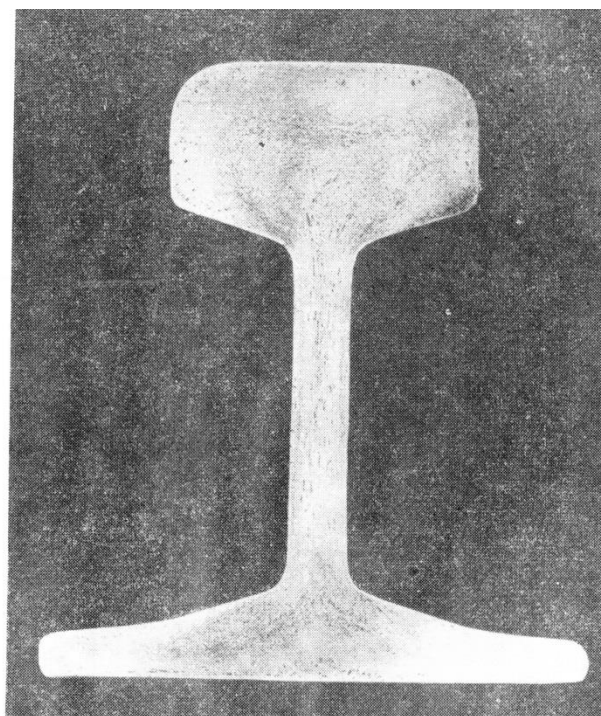


Рис.5 Ликвация фосфора в

Микроструктурный анализ металлов и сплавов.

Микроструктурный анализ (микроанализ) заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью металлографического или электронного микроскопа. Металлографический микроскоп позволяет исследовать структуру металлов и сплавов при увеличении от 50 до 2000 раз. Электронный микроскоп дает увеличение в десятки тысяч раз.

Наблюдаемая структура называется микроструктурой.

При помощи микроанализа с использованием металлографического оптического микроскопа определяют:

1. форму и размер кристаллических зёрен, из которых состоит металл или сплав;
2. изменение внутреннего строения сплава, происходящего под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав.
3. микропороки металла – микротрещины, раковины и т. п.
4. неметаллические включения – сульфиды, оксиды и др.
5. химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами и, в некоторых случаях, приблизительно определяют химический состав изучаемого сплава.

Для микроскопического анализа из испытываемого материала вырезают образец, и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляются неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугуне.

Подготовленная для исследования под микроскопом поверхность образца называется микрошлифом.

Изучение микроструктуры проводится в отражённом свете, поэтому поверхность исследуемого образца должна быть ровной и гладкой, что достигается выполнением следующей последовательностью операций:

1. Вырезка образца должна осуществляться из участка детали, дающего наибольшую характеристику внутреннего строения всего исследуемого материала, а не только того места из которого вырезан образец. Форма и размеры образцов строго не регламентируются, но исходя из условий их установки на микроскопе и требований к поверхности микрошлифа, более удобными считаются образцы цилиндрической и прямоугольной форм.

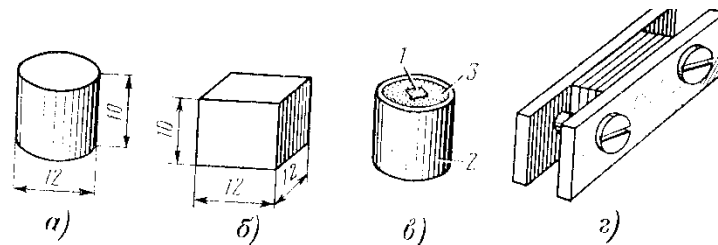


Рис.6 Нормальные размеры металлографических образцов (а и б) и приспособления для приготовления микрошлифов (в и г): 1 – образец; 2 – трубка; 3 – легкоплавкий сплав.

2. Получение плоской поверхности, которую используют для исследования, осуществляют на строгальном или фрезерном станках, а для закалённых образцов – на шлифовальном станке.

3. Шлифование выполняют бумажной шлифовальной шкуркой вручную или на специальных шлифовальных станках. При ручном шлифовании шкурку закрепляют на плоское твёрдое основание, к которому шлифуемой поверхностью прижимают образец и возвратно-поступательными движениями перемещают его по прямой линии. При механическом шлифовании шкурку закрепляют на вращающемся круге с помощью зажимных колец или клея, а образец прижимают к шкурке вручную или устанавливают в зажимное приспособление станка. Шлифование производят, используя шкурки нескольких номеров с последовательно уменьшающейся зернистостью. При каждом переходе меняют направление шлифования на 90° и следят за тем, чтобы не осталось рисок от предыдущей шкурки. После каждой ступени шлифования поверхность образца тщательно промывают во избежание переноса частиц крупного абразива на более мелкозернистый материал.

4. Полирование проводят для удаления с поверхности шлифа мелких рисок и придания зеркального блеска. Одним из наиболее часто применяемых методов является механическое полирование, осуществляемое на вращающемся плоском круге с натянутым полировальным материалом (сукно, фетр, драп, бархат и др.), на который непрерывно или периодически наносят водную суспензию мелкого абразива окиси хрома, окиси алюминия, окиси железа или полировальные алмазные пасты. Качество полирования определяют изучением поверхности шлифа в микроскопе: при отсутствии на поверхности рисок и царапин полирование считается законченным.

5. Промывка, обезжиривание и просушивание поверхности шлифа проводится после полирования.

Подготовленный микрошлиф «в нетравленном виде» можно использовать для изучения под микроскопом неметаллических включений: графита, оксидов, сульфидов, нитридов и др., попавших в сплав из исходных шихтовых материалов, в процессе плавки в результате окисления, раскисления и т.д.

6. Травление поверхности шлифа выполняется для выявления структуры сплава, для этого на поверхность шлифа воздействуют реактивами, в результате на поверхности создаётся рельеф, а структурные составляющие окрашиваются в разные цвета. При травлении реактив, в первую очередь, воздействует на границы зерна, как места имеющие наиболее дефектное строение и которые в травлённом шлифе станут углублениями; свет, падая на них, будет рассеиваться, и в поле зрения микроскопа они будут казаться тёмными, а тело зерна – светлым (Рис.6).

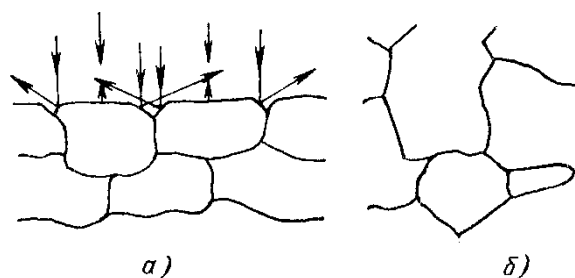


Рис 7 Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа (а) и микроструктура с ясным очертанием границ зёрен (б)

Травление шлифа осуществляют погружением его полированной поверхностью в реактив или нанесением реактива на поверхность. Продолжительность травления

зависит от исследуемого материала (табл. 1). После травления микрошлиф промывают водой, обезжиривают спиртом и просушивают фильтровальной бумагой.

Таблица 1

№ п/п	Наименование реактива	Состав реактива	Назначение
1	Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Ржешотарского)	1...5 мл HNO_3 , 100 мл H_2O	Для травления углеродистых и низколегированных сталей, чугунов
2	Щелочной раствор нитрата натрия	2 г пикриновой кислоты, 25 г NaOH , 100 мл H_2O	Для окрашивания цементита в стали и чугуне в чёрный цвет
3	Соляной раствор хлорного железа	10 г хлорного железа, 25 мл H_2SO_4 , 100 мл H_2O	Для выявления структур медных сплавов
4	Раствор кислот	1 мл плавиковой кислоты, 1,5 мл H_2SO_4 , 2,5 мл HNO_3 , 95 мл H_2O	Для выявления микроструктуры в сплавах типа дюралюминия
5	Раствор кислот в глицерине	10 мл HNO_3 , 20...30 мл HCl , 30 мл глицерина	Для выявления структуры высоколегированных сталей

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать структуру сплавов при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете. Металлографический микроскоп состоит из оптической системы, осветительной системы с фотографической аппаратурой и механической системы (Рис.7).

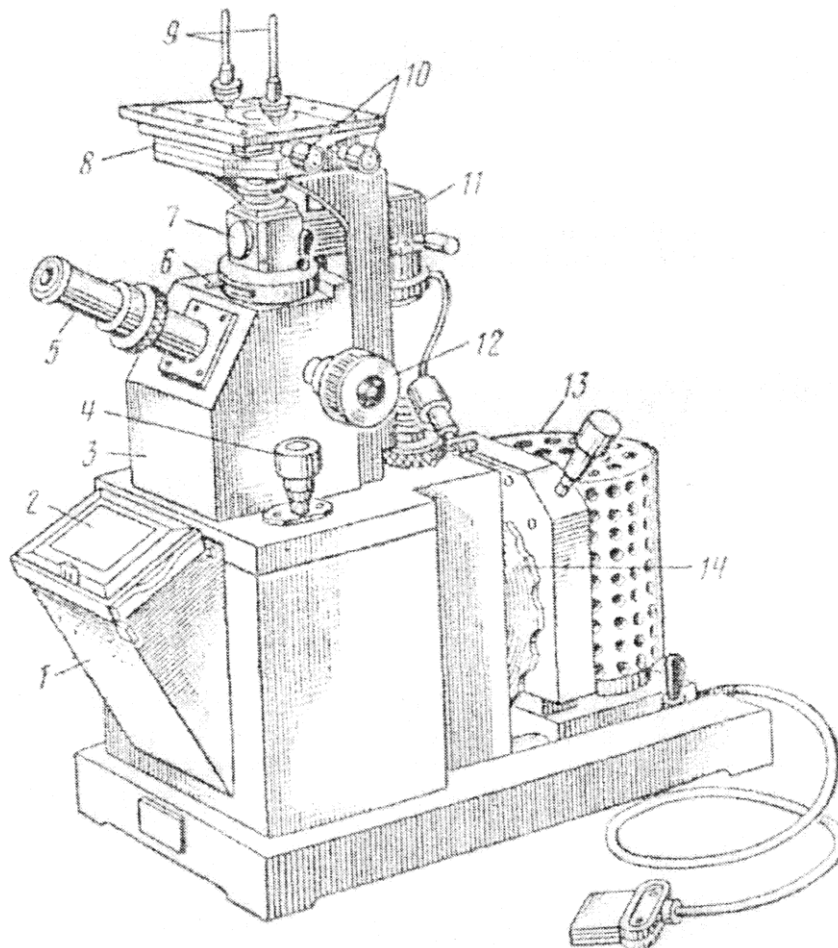


Рис. 7. Вертикальный металлографический микроскоп МИМ - 7

1 – фотокамера; 2 – кассета для фотопластинки; 3 – корпус; 4 – микрометрическая подача объектива; 5 – визуальный тубус; 6 – ручка диафрагмы; 7 – иллюминатор; 8 – стол; 9 – прижимы; 10 – рукоятки перемещения стола; 11 – кожух пентапризмы; 12 – рукоятка подачи стола; 13 – осветитель; 14 – светофильтр.

Оптическая схема металлографического микроскопа МИМ – 7 показана на рисунке 8.

Свет от лампы 1 посредством коллектора 2 проектируется на плоскости апертурной диафрагмы 5. Затем проходит через линзы и диафрагмы, преломляется пентапризмой 9, проходит через линзу 10, попадает на отражательную пластинку 11. Отражательная пластинка 11 направляет в объектив лучи, которые, отразившись от объекта, вновь проходят через объектив и выходят из объектива параллельным пучком, проходят отражательную пластинку и попадают на ахроматическую линзу 14. Таким образом, объектив служит не только для получения изображения, но и является частью осветительной системы. Выходящие из объектива параллельные лучи, при помощи линзы 14 образуют изображение объекта в фокальной плоскости окуляра. При визуальном наблюдении в ход лучей вводится зеркало 15, которое отклоняет лучи в сторону окуляра 16. При фотографировании зеркало 15 выключается,

и лучи направляются непосредственно к фотографическому окуляру 17, за фото окуляром находится зеркало 18, которое направляет лучи на фотопластинку.

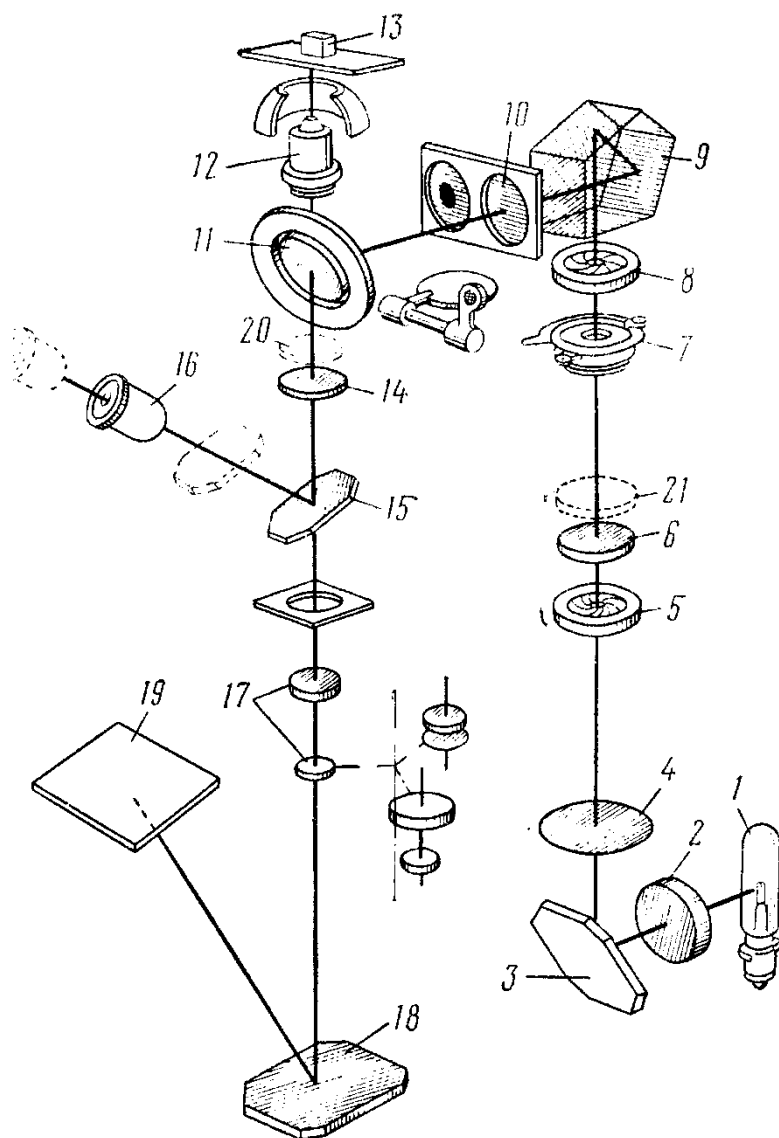


Рис.9. Оптическая схема микроскопа МИМ – 7.

1 – лампа; 2 – коллектор; 3 – зеркало; 4 – светофильтр; 5 – диафрагма; 6 – линза; 7 – фотозатвор; 8 – полевая диафрагма; 9 – пентапризма; 10 – линза; 11 – отражательная пластинка;
12 – объектив; 13 – микрошлиф; 14 – ахроматическая линза; 15 – зеркало; 16 – окуляр; 17 – фотоокуляр; 18 – зеркало; 19 – матовое стекло; 20 – вкладной анализатор; 21 – поляризатор.

Работа на микроскопе МИМ – 7:

1. Выбрать увеличение микроскопа (объектив и окуляр) для визуального наблюдения. Подбор необходимо начинать с меньших увеличений.
2. В отверстие визуального тубуса (5 рис.7) вставить окуляр.
3. В посадочное отверстие, расположенное в верхней части иллюминаторного тубуса (7 рис.7) вставить объектив.

4. В окно предметного столика вставить подкладку с нужным отверстием в зависимости от размера шлифа и установить столик в таком положении, чтобы объектив был в центре отверстия подкладки.
5. Поместить исследуемый шлиф полированной и протравленной поверхностью вниз на подкладку предметного столика над объективом.
6. Визуальный тубус вдвинуть до упора.
7. Наблюдая в окуляр, вращением винта (12 рис.7) произвести грубую наводку на фокус.
8. Наблюдая в окуляр, вращением микрометрического винта (4 рис.7) произвести точную наводку на фокус.
9. Наблюдая в окуляр, при помощи винтов (9 рис.7) передвигать предметный столик и просматривать структуру в разных местах шлифа. Перемещать шлиф по подкладке предметного столика нельзя.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методикой проведения макро- и микроанализа;
2. Изучить последовательность изготовления шлифов для макро- и микроанализа;
3. Зарисовать какой-либо вид излома и дать его описание;
4. Зарисовать строение слитка с описанием;
5. Ознакомиться с устройством и принципом работы металлографического микроскопа;
6. С помощью металлографического микроскопа изучить микроструктуры образцов различных сплавов;
7. Зарисовать оптическую схему микроскопа МИМ – 7;
8. Зарисовать в квадратах 60×60 мм или в кругах диаметром 60 мм макро- и микроструктуры.

3. Контрольные вопросы

1. Что называется микроструктурным анализом?
2. С какой целью проводится макроанализ металлов и сплавов?
3. Какие виды макроанализа вы знаете?
4. Опишите методику проведения макроанализа по излому.
5. Какие бывают виды изломов?
6. Опишите строение металлического слитка.
7. Опишите строение деформированной структуры.
8. Что называют ликвацией, укажите методы определения ликваций.
9. Что называется микроструктурным анализом?
10. Что определяют микроанализом?
11. Что называют макро- и микрошлифами?
12. Опишите последовательность изготовления шлифов;
13. Опишите конструкцию и принцип действия микроскопа.

Лабораторная работа №2.

Тема: «Испытание металлов и сплавов на растяжение»

Цель – Научиться производить испытание на растяжение и определять показатели прочности и пластичности. Изучить: порядок подготовки образца для испытания на растяжение; схему испытательной машины; методику обработки диаграммы растяжения; методику определения относительного удлинения δ и относительного сужения ψ .

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

Испытание металлов и сплавов на растяжение является способом определения большой группы механических свойств. *Механические свойства характеризуют поведение материала под действием внешней нагрузки.* К механическим свойствам обычно относят сопротивление металла или сплава деформации и его сопротивление разрушению. Эта группа свойств включает показатели прочности, жесткости (упругости), пластичности, твёрдости, вязкости, усталости, трещиностойкости.

В результате механических испытаний получают числовые значения механических свойств, т. е. значения напряжений или деформаций, при которых происходят изменения физического и механического состояний материала.

Основные признаки, позволяющие классифицировать виды механических испытаний, являются:

- способ нагружения (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, срез, циклическое нагружение и др.);
- скорость нагружения (статическое, динамическое);
- протяжённость процесса испытания во времени (кратковременное, длительное).

Одним из статических испытаний является испытание на растяжение, которое проводится по ГОСТ 1497 – 84. Для этого применяют специальные образцы, имеющие в поперечном сечении форму круга (цилиндрические образцы) или прямоугольника (плоские образцы).

По ГОСТ 1497 – 84 геометрические параметры образцов должны иметь следующие соотношения:

$$l_0 = 2.82\sqrt{F_0} \quad - \text{короткий}$$

$$l_0 = 5.62\sqrt{F_0} \quad - \text{средний}$$

$$l_0 = 10.3\sqrt{F_0} \quad - \text{длинный, где } l_0 \text{ — начальная расчетная длина}$$

образца, F_0 – начальная площадь поперечного сечения расчетной части образца. Для цилиндрических образцов отношение расчетной длины l_0 к начальному диаметру d_0 , т.е. l_0/d_0 , называют кратностью образца, от которой зависит его конечное относительное удлинение. На практике применяют образцы с кратностью 2,5; 5 и 10. Самым распространенным является образец с кратностью 5.

На рабочей части образцов не должно быть следов механической обработки, забоин и других дефектов; образцы должны быть без кривизны и закалочных трещин.

На рабочей части образцов не должно быть следов механической обработки, забоин и других дефектов; образцы должны быть без кривизны и закалочных трещин.

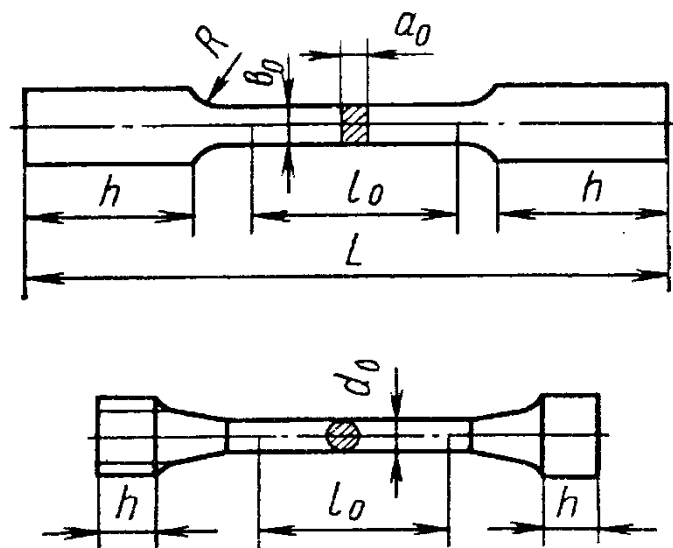


Рис. 1 Стандартные образцы для испытания на растяжение

h – длина головки, при помощи которой образец закрепляется в захватах машины; l_0 – расчетная начальная длина образца; R – радиус закругления переходной части; d_0 – диаметр цилиндрического образца; a_0, b_0 – размеры сечения плоского образца; L – общая длина образца.

Испытание на растяжение проводят на испытательной машине, снабженной прибором, записывающим диаграмму растяжения в координатах: усилие (P) и абсолютное удлинение (Δl).

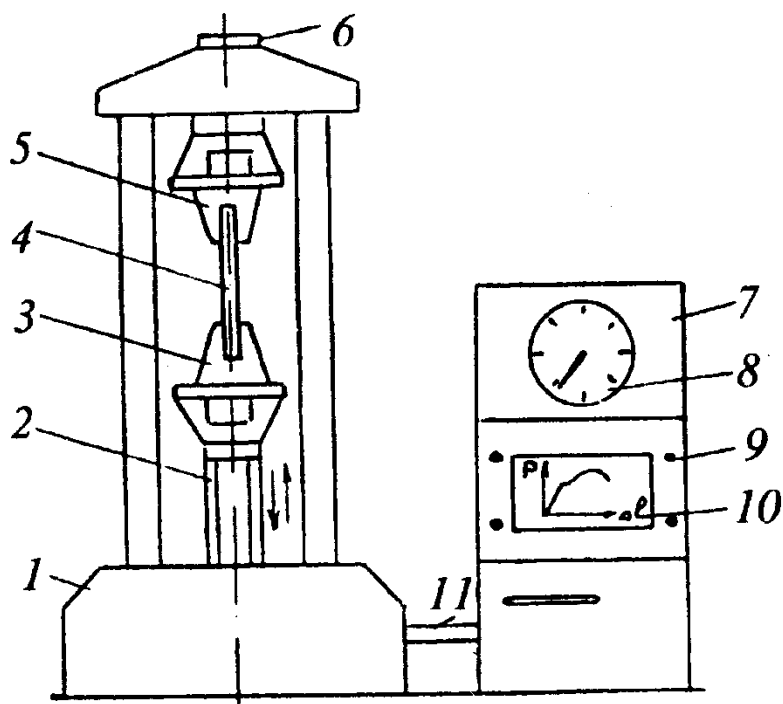


Рис.2 Схема испытательной машины

1 – собственно машина; 2 – винт грузовой; 3 – нижний захват (активный); 4 – образец; 5 – верхний захват (пассивный); 6 – силоизмерительный датчик; 7 – пульт управления с электроприводной аппаратурой; 8 – индикатор нагрузок; 9 – рукоятки управления; 10 – диаграммный механизм; 11 – кабель.

Основными элементами испытательной машины являются: приводной нагружающий механизм, обеспечивающий плавное нагружение образца вплоть до его разрыва; силоизмерительное устройство для измерения силы сопротивления образца растяжению; механизм для автоматической записи диаграммы растяжения.

Подготовка и проведение испытания

Перед испытанием образцы измеряют при помощи микрометра и штангенциркуля. Точность измерения не ниже 0,01мм – при измерении диаметров до 10мм и не ниже 0,05мм при измерении диаметров выше 10мм.

Измерение производят не менее чем в трех местах по длине рабочей части образца, диаметр измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Полученные наименьшие размеры, записывают в графу 2 протокола испытания, по ним вычисляют площадь поперечного сечения образца F_0 и записывают в графу 3 протокола испытания. Чтобы после испытания определить удлинение, измеряют начальную расчетную длину ℓ_0 образца и записывают в графу 4 протокола испытания. Установленная начальная расчетная длина ℓ_0 ограничивается неглубокими кернами или рисками.

Подготовленный для испытания образец помещают в зажимы испытательной машины. Включают электродвигатель и наблюдают за процессом испытания и моментом появления на образце шейки. В процессе испытания записывается диаграмма растяжения, так называемая «машинная» диаграмма в координатах «усилие (P) – удлинение (Δl)».

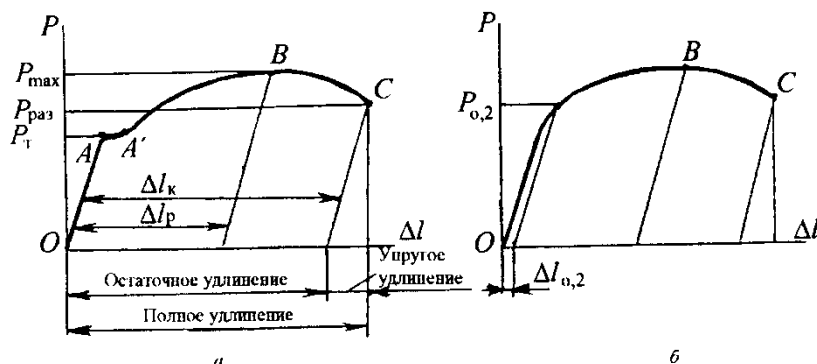


Рис. 3 Схема машинных (первичных) диаграмм растяжения пластичных материалов: *а* – с площадкой текучести; *б* – без площадки текучести

На диаграмме растяжения пластичных металлических материалов можно выделить три характерных участка: OA – прямолинейный, соответствующий упругой деформации; AB – криволинейный, соответствующий упругопластической деформации при возрастании нагрузки; участок BC – также криволинейный, соответствующий упругопластической деформации при снижении нагрузки. В точке C происходит окончательное разрушение образца с разделением его на две части.

В области упругой деформации (участок OA) зависимость между нагрузкой P и абсолютным упругим удлинением образца Δl пропорциональна и известна под названием закона Гука: $P = k \cdot \Delta l$, где $k = EF_0 / l_0$ – коэффициент, зависящий от геометрии образца и свойств материала (параметр E). Тангенс угла наклона прямолинейного участка характеризует модуль упругости E .

Параметр E (МПа) – модуль нормальной упругости, характеризующий жесткость материала, которая связана с силами межатомного взаимодействия. Чем выше E , тем жестче материал и тем наименьшую упругую деформацию вызывает одна и та же нагрузка. Закон Гука чаще представляют в следующем виде: $\sigma = E \cdot \delta$, где $\sigma = \frac{P}{F_0}$ – нормальное напряжение; $\delta = \frac{\Delta l}{l_0}$ – относительная упругая деформация.

При растяжении определяют следующие показатели прочности и пластичности – предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, относительное удлинение, относительное сужение.

Определение предела пропорциональности. Проводят прямую, совпадающую с прямолинейным участком кривой растяжения. В том месте (т.е. при той нагрузке), где кривая растяжения впервые отойдет от прямой, т.е. в точке A (см. рис.3) и будет расположена нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности. Таким образом, нагрузку соответствующую пределу пропорциональности $P_{пл}$ определяет,

в соответствующем масштабе, ордината OA . Предел пропорциональности ($\sigma_{пц}$) определяется как отношение $\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0} [МПа]$, где F_0 – площадь сечения образца до испытания.

Определение предела упругости. Напряжения, не превышающие предела пропорциональности, практически вызывают только упругие (в микроскопическом смысле) деформации, поэтому нередко $\sigma_{пц}$ отождествляют с условным пределом упругости. Предел упругости определяется как напряжение, при котором остаточная деформация достигает 0,05 % первоначальной длины образца:

$$\sigma_{упр} = \frac{P_{0,05}}{F_0} [МПа].$$

Определение предела текучести. При наличии на диаграмме растяжений ясно выраженной площадки текучести по ней определяют нагрузку, соответствующую физическому пределу текучести (участок $A-A'$ на рис.3, а).

Если на диаграмме нет площадки текучести, то определяют нагрузку $P_{0,2}$, соответствующую условному пределу текучести (рис.3, б), для чего надо от точки O вправо отложить отрезок, величина которого равна 0,2 % от начальной длины образца, увеличенного до масштаба диаграммы растяжения. Из полученной точки проводят прямую параллельную OA до пересечения с кривой диаграммы. Эта точка и определяет высоту ординаты, т.е. нагрузку $P_{0,2}$, соответствующую условному пределу текучести. Таким образом, определяем :

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} [МПа] ; \quad \sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} [МПа].$$

Определение предела прочности (временное сопротивление). Нагрузка, соответствующая пределу прочности, является максимальной и соответствует точке B на кривой растяжения. (Рис. 3).

$$\sigma_s = \frac{P_{\max}}{F_0} [МПа].$$

Результаты измерений и расчетов записывают в таблицу.

Определение относительного удлинения. Для определения длины расчетной части образца после разрыва l_k обе части образца после разрыва плотно прикладывают одну к другой и измеряют штангенциркулем между рисками, ограничивающими расчетную длину образца. Относительное удлинение вычисляют по формуле:

$$\delta = \frac{l_r - l_0}{l_0} 100\%.$$

Определение относительного сужения. Для определения относительного сужения измеряют размеры образца в месте разрушения (диаметр шейки) и рассчитывают площадь сечения. Относительное сужение ψ вычисляют по формуле:

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

Полученные результаты записывают в таблицу протокола испытаний. (Табл.1)

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с устройством разрывной машины;
2. Измерить размеры образца с помощью микрометра и штангенциркуля и занести результаты измерений в протокол.
3. Закрепить образец в зажимах разрывной машины.
4. Включить электродвигатель и произвести испытание.
5. По диаграмме растяжения определить нагрузки, соответствующие пределу пропорциональности, пределу текучести, пределу прочности.
6. Измерить с помощью штангенциркуля расчетную длину и размеры поперечного сечения образца после испытания.
7. Произвести расчеты: площади до испытания, площади после испытания, предела пропорциональности, предела текучести, предела прочности, относительного удлинения и относительного сужения по соответствующим формулам.
8. Полученные результаты занести в протокол испытаний.

3. Контрольные вопросы

1. Под действием, каких факторов возникают напряжения в материалах?
2. В чём состоит различие упругой и пластической деформации?
3. Какие показатели механических свойств характеризуют прочность и пластичность материалов при их растяжении?
4. Как определяются, обозначаются и в каких единицах выражаются показатели прочности и пластичности материалов?
5. Как влияют размеры образца на показатели прочности и пластичности материала?

Лабораторная работа №3

Тема: «Испытание металлов и сплавов на твёрдость»

Цель – изучить методы испытаний на твёрдость; оборудование для испытаний на твёрдость; выбор нагрузки и индентора для испытаний; порядок проведения испытаний на твёрдость.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть.

Твёрдость – это свойство материалов оказывать сопротивление контактной деформации или хрупкому разрушению при внедрении индентора в образец материала. Испытания на твёрдость – самый доступный и распространённый вид механических испытаний. Для этого испытания не требуются специальные образцы – проверку твёрдости можно проводить на готовых деталях.

Наибольшее применение в технике получили статические методы испытания на твёрдость при вдавливании индентора: метод Бринелля, метод Роквелла и Виккерса.

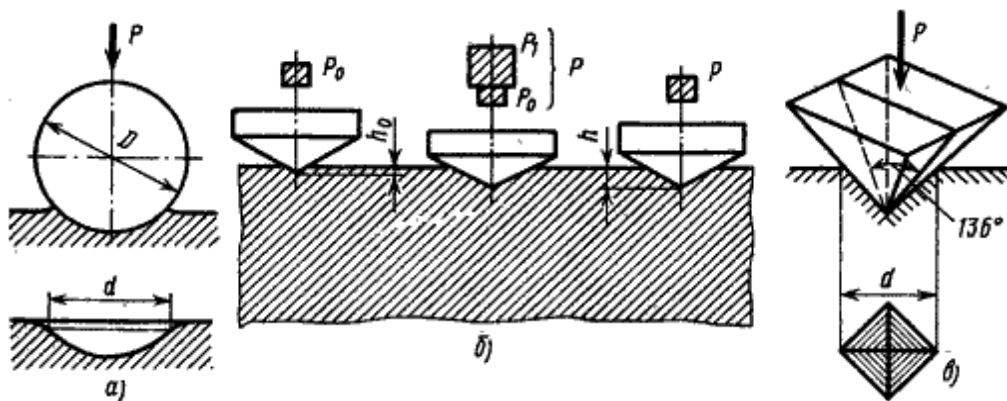


Рис.1. Схемы определения твердости: а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис.2)

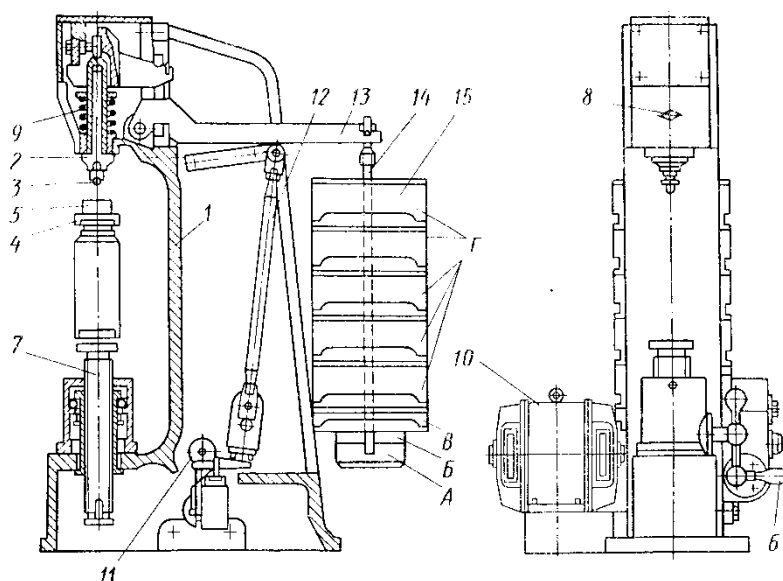


Рис.2. Схема пресса Бринелля

Схема автоматического рычажного пресса (Бринелля) показана на рис.2. В верхней части станины 1 имеется шпиндель 2, в который вставляется наконечник с шариком 3, диаметром 10; 5 и 2,5мм. Столик 4 служит для установки на нем испытываемого образца 5. Вращением по часовой стрелке рукоятки 6 приводят в движение винт 7, который, перемещаясь вверх, поднимает столик 4, и образец 5 прижимается к шарiku 3 до упора.

Электродвигатель 10, который включают нажатием кнопки, расположенной сбоку пресса, приводит во вращение эксцентрик 11. При вращении эксцентрика шатун 12, перемещаясь вниз, опускает рычаг 13 и соединенную с ним подвеску 14 с грузами 15, создавая этим нагрузку на шарик, который вдавливаются в образец. При дальнейшем вращении эксцентрика шатун, шатун, перемещаясь вверх, перемещает рычаг и подвеску с грузами, снимая этим нагрузку с шарика. Когда рычаг и подвеска с грузами достигнут исходного положения, автоматически выключается электродвигатель.

Выбор диаметра шарика и нагрузки.

Шарики различного диаметра ($D = 10; 5$ и $2,5\text{мм}$) применяют в зависимости от толщины испытываемого материала.

Нагрузку P выбирают в зависимости от качества испытываемого материала по формуле $P = KD^2$, где K – постоянная для данного материала величина, равная 30; 10 или 2,5. Для твердых металлов ($140 - 450\text{HB}$) $P = 30D^2$, для менее твердых ($<140\text{HB}$) – $P = 10D^2$ и очень мягких ($8 - 35\text{HB}$) – $P = D^2$. (ГОСТ 9012 – 59).

При испытании стали и чугуна обычно принимают $D = 10\text{мм}$ и $P = 3000\text{кгс}$, при испытании алюминия, меди, никеля и их сплавов $D = 10\text{мм}$ и $P = 1000\text{кгс}$, а при испытании мягких металлов (Pb , Sn и их сплавов) $D = 10\text{мм}$ и $P = 250\text{кгс}$.

Продолжительность выдержки τ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

Твердость по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими величину твердости и буквами HB, например 189HB (при $D = 10\text{мм}$ и $P = 3000\text{кгс}$). Стандартными условиями являются $D = 10\text{ мм}$; $P = 3000\text{ кгс}$; $\tau = 10\text{ с}$. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB $D/P/\tau$, например, HB $5/250/30$ 80.

Твердость определяют или формуле:

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

где P – приложенная нагрузка, F – площадь поверхности отпечатка, D – диаметр шарика, d – диаметр отпечатка, или по специальным таблицам, исходя из диаметра отпечатка d . Чем меньше диаметр отпечатка, тем меньше твердость.

Подготовка образца для испытания.

Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавливаться шарик, обрабатывают наждачным камнем или напильником, чтобы она была ровной, гладкой, не было окалины или других дефектов.

Порядок проведения испытания.

1. Установить на подвеску грузы, соответствующие выбранной для испытания нагрузке.

2. Наконечник с шариком вставить в шпиндель и укрепить.

3. На столик поместить испытываемый образец. Центр отпечатка должен находиться от края на расстоянии не менее диаметра шарика.

4. Вращением рукоятки поднять столик и прижать образец к шарiku до упора.

5. Нажатием кнопки включить электродвигатель.

6. После отключения электродвигателя опустить столик и снять с него образец с полученным отпечатком.

7. Измерить полученный отпечаток специальной лупой со шкалой, цена деления которой равна $0,1\text{мм}$ в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений.

8.Определить твердость.

Протокол испытания на твердость по Бринеллю.

Толщина и материал образцов...

№ п/п	Условия испытания (диаметр шарика и нагрузка)	Диаметр отпечатка в мм		Твердость НВ		
		отпечаток		отпечаток		среднее
		1-й	2-й	1-й	2-й	

Метод Роквелла ГОСТ 9013.

Метод наиболее универсален и наименее трудоёмок. Здесь не нужно измерять размеры отпечатка, так как число твёрдости отсчитывают непосредственно по шкале твердомера. Число твёрдости зависит от глубины вдавливания наконечника h .

Метод Роквелла основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис.1 б)

Индентор для мягких материалов (до НВ 230) – стальной шарик диаметром $1/16''$ ($\varnothing 1,588$ мм), для более твердых материалов – конус алмазный с углом при вершине 120° .

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P_0 (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой P_0 .

В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 1)

Таблица 1.Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P_0	P_1	P	
A	HRA	Алмазный конус $<120^\circ$	10	50	60	Для очень твёрдых и тонких материалов
B	HRB	Стальной закалённый шарик	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный	10	140	150	Для твердых

Пределы измерений твёрдости по шкале А – 70 – 85, по шкале В – 25 – 100, по шкале С – 20 – 67.

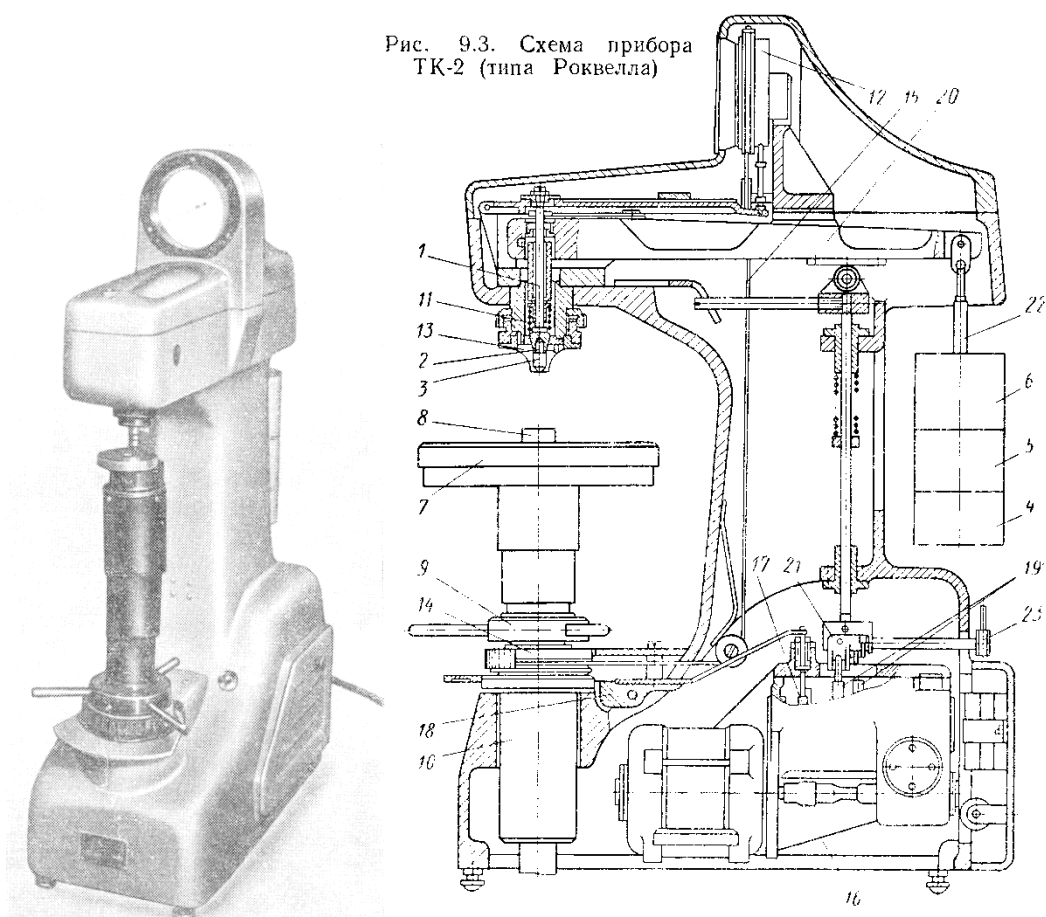


Рис. 3. Внешний вид и схема прибора для измерения твёрдости по методу Роквелла
 1 – шпиндель, 2 – винт, 3 – оправка с наконечником, 4 – груз 50 кг, 5 – груз 40 кг, 6 – груз 50 кг, 7 – стол, 8 – образец, 9 – маховик, 10 – винт, 11 – пружина, 12 – шкала индикатора, 13 – ограничительный чехол, 14 – барабан, 15 – тросик, 16 – привод электродвигателя, 17 – тумблер, 18 – клавиша, 19 – кулачковый блок, 20 – грузовой рычаг, 21 – шток, 22 – подвеска грузов, 23 – указатель продолжительности цикла.

Подготовка прибора и проведение испытания.

1. В зависимости от твердости образца выбрать наконечник и нагрузку.
2. Установить образец на стол прибора.
3. Вращением маховика по часовой стрелке стол поднимать до тех пор, пока малая стрелка индикатора не станет против красной точки, а большая, с погрешностью ± 5 делений, на нуль шкалы индикатора.
4. Вращением барабана установить нуль шкалы С (черного цвета) против конца большой стрелки индикатора.
5. Клавишей или рычагом включить в работу привод механизма нагружения.

6. После окончания цикла нагружения произвести отсчет по шкале индикатора.

7. Вращением маховика против часовой стрелки опустить стол и повторить испытание в другом месте образца. На каждом образце должно быть проведено не менее трех испытаний. Расстояние от центра отпечатка до края образца или до другого отпечатка должно быть не менее 3 мм.

8. Записать результаты испытаний в протокол.

Метод Виккерса ГОСТ 2999 - 75

Твердость определяется по величине отпечатка (рис. 1 в).

В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида. с углом при вершине 136°.

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки Р к площади поверхности отпечатка F:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка Р составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои, высокая точность и чувствительность метода.

Контрольные вопросы:

1. Какую нагрузку следует принять при испытании твёрдости по Бринеллю стали, медного и алюминиевого сплава?
2. Каким способом надо измерять твёрдость листовой мягкой стали толщиной 1 мм?
3. Какими способами можно измерить твёрдость стали после закалки?
4. В каких единицах измеряется твёрдость?

Лабораторная работа №4.

«Микроструктуры железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии»

Цель работы: Изучить микроструктуры технического железа, углеродистых сталей и белых чугунов в равновесном состоянии в связи с диаграммой состояния железо – цементит; порядок определения содержания углерода в стали по её микроструктуре.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

Микроструктуры сталей

Микроструктура технического железа и углеродистых сталей для равновесных условий характеризуется нижней левой частью диаграммы состояния железо – цементит. Содержание углерода в них до 2,14% С. (Рис.1).

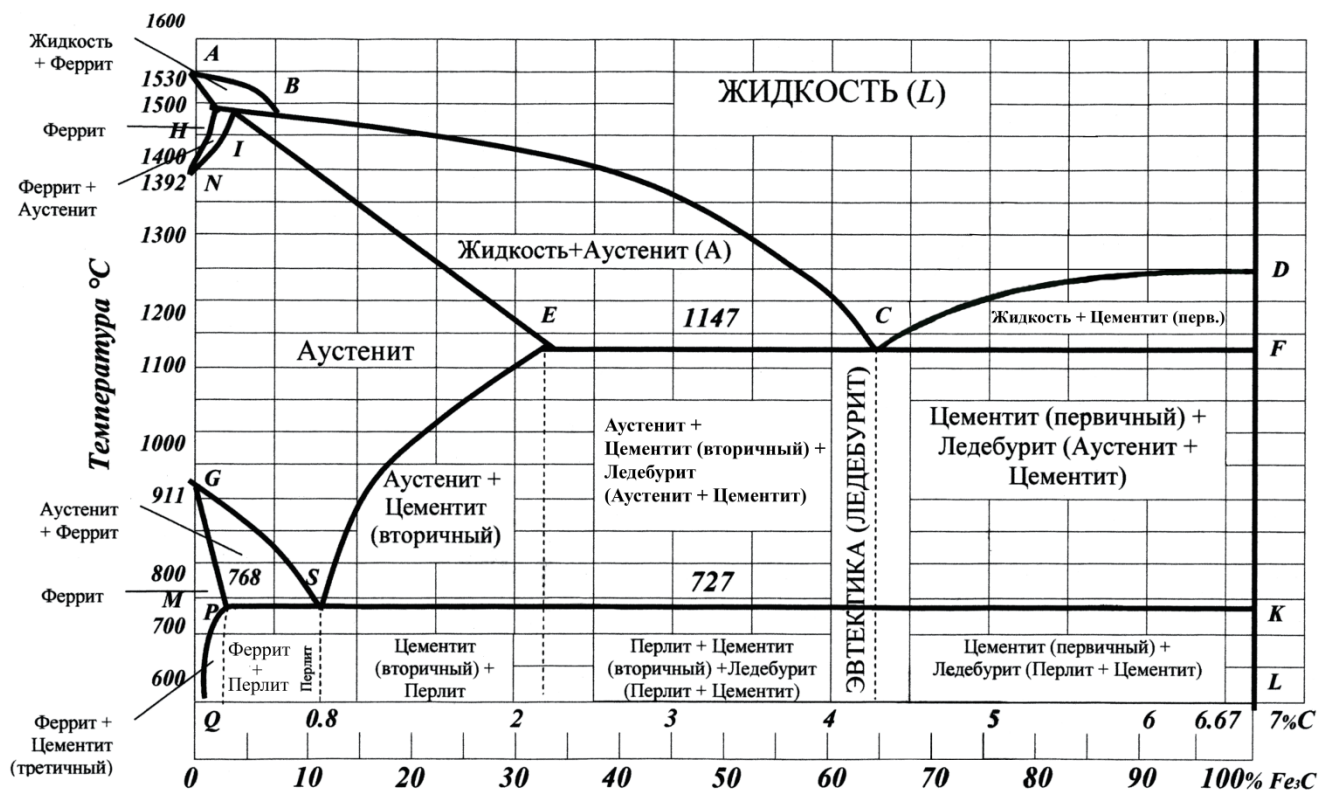


Рис. 1. Диаграмма состояния железо – цементит

Сплавы с содержанием до 0,02% С называются техническим железом, от 0,02 до 0,8% С – доэвтектоидными сталями, и от 0,8 до 2,14% С – заэвтектоидными сталями. Сплав с содержанием 0,8% С называется эвтектоидной сталью.

Растворимость углерода в α -железе переменная (линия PQ на диаграмме железо - цементит). С понижением температуры растворимость углерода понижается. При 27° С в α -железе растворяется 0,02% С, а при комнатной температуре 0,006% С. Поэтому сплавы железа с содержанием до 0,006% имеют структуру только твёрдого раствора углерода в α -железе, т.е. феррита. На рис. 2 (а) показана микроструктура феррита.

В сплавах с содержанием от 0,006 до 0,02% С в связи с понижением растворимости углерода в α -железе при понижении температуры из феррита выделяется цементит, называемый третичным. Этот цементит выделяется по границам зёрен феррита.

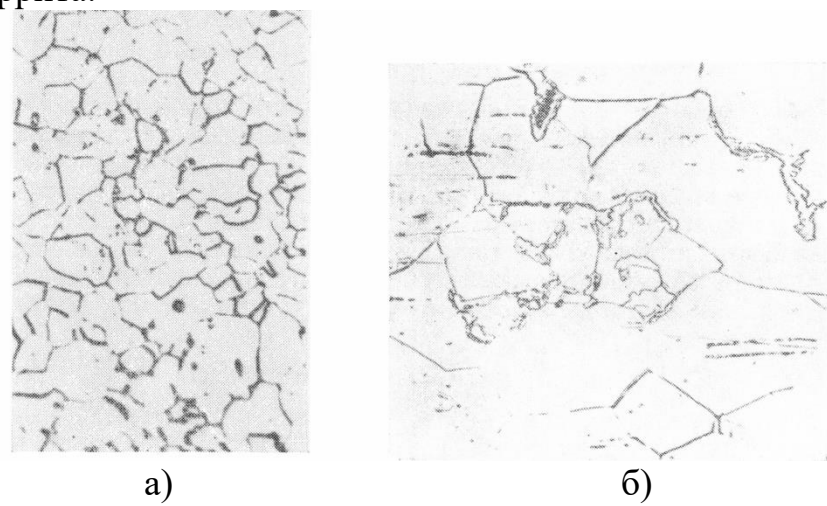


Рис. 1. Железо – феррит (а), увеличение $\times 200$; сталь с 0,015% С (б) – феррит и третичный цементит, увеличение $\times 500$.

Микроструктура доэвтектоидной стали (до 0,8% С) состоит из перлита и феррита. Микроструктура эвтектоидной стали (0,8% С) состоит из одного перлита – механической смеси феррита и цементита, получающаяся в результате распада аустенита с 0,8% С (Рис. 2). Аустенит это твёрдый раствор углерода в γ -железе – высокотемпературная фаза. Микроструктура заэвтектоидной стали (более 0,8% С) состоит из перлита и вторичного цементита.

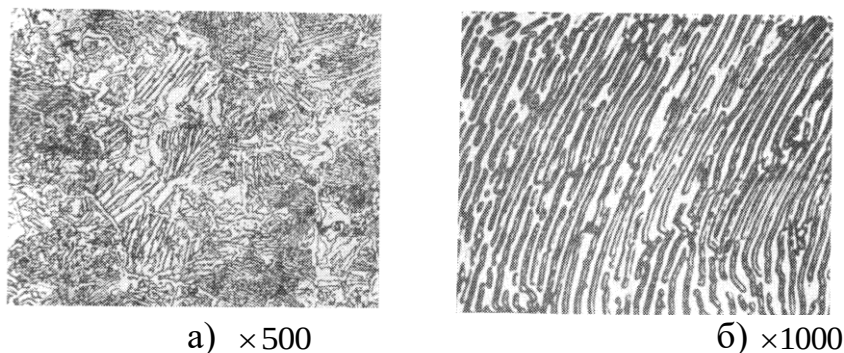


Рис. 2. Эвтектоидная сталь с 0,8% С - перлит

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит – в виде полей полосчатого строения, более тёмных, чем феррит. (Рис.3). Чем больше увеличение, тем более отчетливо видно полосчатое строение перлита. При малых увеличениях перлит наблюдается в виде тёмных зёрен.

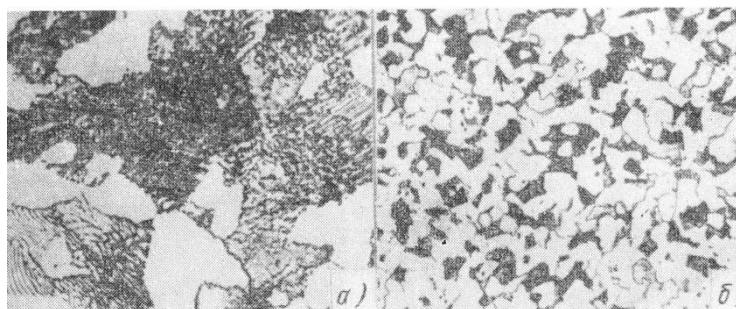


Рис.3. Доэвтектоидная сталь – феррит и перлит; а - $\times 600$; б - $\times 200$.

Количество перлита и феррита в доэвтектоидной стали зависит от содержания углерода. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а количество перлита увеличивается. (Рис.4).



Рис.4. Доэвтектоидные стали – феррит и перлит ($\times 500$): а – 0,2% С, б – 0,4% С, в – 0,6% С.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего по микроструктуре нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую перлитом – $F_{\text{п}}$. Тогда содержание углерода можно определить по формуле:

$$C = \frac{F_{\text{п}} \cdot 0.8}{100} \%,$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь, занимаемая перлитом в %.

Заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита. Вторичный цементит выделяется из аустенита при охлаждении от температуры $A_{\text{ст}}$ (линия SE) до температуры Ar_1 (линия PSK) (см. рис. 1) вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените.

При медленном охлаждении вторичный цементит выделяется в виде сетки по границам аустенитных зёрен. При достижении температуры Ar_1 аустенит превращается в перлит. В результате медленного охлаждения Заэвтектоидная сталь имеет структуру перлита и сетку цементита.



Рис. 5. Заэвтектоидная сталь с 1,2% С – перлит и цементит вторичный ($\times 500$).

Чем больше углерода в эвтектоидной стали, тем более массивной получается цементитная сетка.

Микроструктура белых 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% С), эвтектический (4,3% С) и заэвтектический (от 4,3 до 6,67% С).

Микроструктура эвтектического белого чугуна состоит только из одного ледебурита (цементитной эвтектики), образующегося при 1147°C при эвтектической кристаллизации жидкого сплава с содержанием 4,3% С и состоящего (при 1147°C) из эвтектического цементита и аустенита, содержащего 2,14% С.

При 727°C ледебурит 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 состоит из цементита и перлита (Рис.6).



Рис. 6. Эвтектический белый чугун с 4,3% С – ледебурит ($\times 500$).

Дозэвтектический белый чугун после полного охлаждения имеет следующую структуру: ледебурит + перлит + вторичный цементит. Вторичный цементит выделяется из аустенита из-за уменьшения растворимости углерода с понижением температуры (с 2,14 % при 1147° С до 0,8 % при 727°С) (Рис.7 а).

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из ледебурита и первичного цементита (Рис. 7 б).

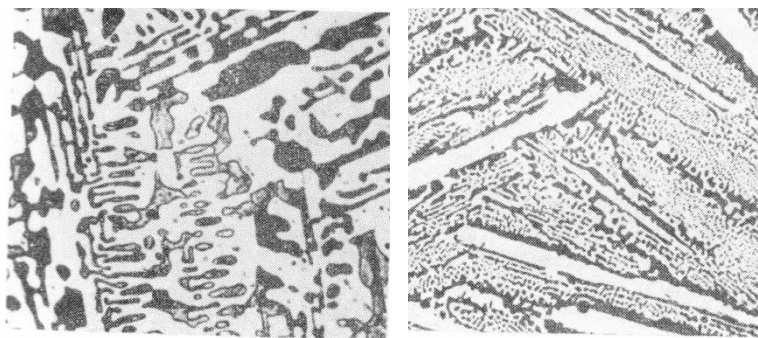


Рис. 7. Микроструктуры белого доэвтектического(а), и заэвтектического (б) чугуна ($\times 500$).

3. Контрольные вопросы

1. Какую структуру имеет сталь, содержащая 0,5 % С, 0,01% С, 0,1% С?
2. Какую структуру имеет сталь, содержащая 1,0 % С, 0,8 % С?
3. Какой чугун имеет структуру ледебурит?
4. Какая структура у чугуна, содержащего 3,4% углерода?
5. Как определить примерное содержание углерода в доэвтектоидной стали?

Лабораторная работа № 5.

Тема: «Термическая обработка углеродистых сталей. Технологические режимы термообработки»

Цель: ознакомиться с методикой проведения термообработки стали; научиться по заданному химическому составу и твёрдости стали определять виды термообработки, научиться определять температуру нагрева, время нагрева и скорость охлаждения сталей при термообработке.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

Основные параметры термообработки

Термическая обработка - это технологический процесс, состоящий из нагрева и охлаждения металлических изделий с целью получения заданных свойств путём изменения структуры сплава без изменения его состава, формы и размеров изделия.

На стадии изготовления деталей необходимо, чтобы металл был пластичным, нетвердым, имел хорошую обрабатываемость резанием.

В готовых изделиях всегда желательно иметь материал максимально прочным, вязким, с необходимой твердостью.

Такие изменения в свойствах материала позволяет сделать термообработка. Любой процесс термообработки может быть описан графиком в координатах

температура – время и включает нагрев, выдержку и охлаждение. При термообработке протекают фазовые превращения, которые определяют вид термической обработки.

Температура нагрева стали зависит от положения ее критических точек и выбирается по диаграмме состояния Fe - Fe₃C в зависимости от вида термической обработки. Критические точки (температуры фазовых превращений) определяют: линия PSK - точку A_с, GS - точку A₃ и SE - точку A_т. Нижняя критическая точка A₁, соответствует превращению А → П при 727°С. Верхняя критическая точка соответствует началу выделения феррита из аустенита (при охлаждении) или концу растворения феррита в аустените (при нагреве). Температура линии SE, соответствующая началу выделения вторичного цементита из аустенита, обозначается A_т.

Время нагрева до заданной температуры зависит, главным образом, от температуры нагрева, степени легированности стали, конфигурации изделий, мощности и типа печи, величины садки, способа укладки изделий и других факторов.

Выдержка при температуре термообработки необходима для завершения фазовых превращений, происходящих в металле, выравнивания температуры по всему объему детали. Продолжительность выдержки зависит от химического состава стали и для углеродистых и низколегированных сталей определяется из расчета 60 с. на один миллиметр сечения.

Скорость охлаждения зависит, главным образом, от химического состава стали, а также от твердости, которую необходимо получить.

Самыми распространенными видами термообработки сталей являются закалка и отпуск. Производятся с целью упрочнения изделий.

Закалка сталей

ЗАКАЛКОЙ называется фиксация при комнатной температуре высоко-температурного состояния сплава. Основная цель закалки - получение высокой твердости, прочности и износостойкости. Для достижения этой цели стали нагревают до температур на 30 - 50 С выше линии GSK (рис. 1), выдерживают определенное время при этой температуре и затем быстро охлаждают.

Процессы, происходящие в сплаве на различных стадиях закалки, можно рассмотреть на примере эвтектоидной стали У8. В исходном отожженном состоянии эта сталь имеет структуру перлита (эвтектоидная смесь феррита и цементита).

При достижении температуры A₁ (727 °С) произойдет поли морфное превращение, т.е. перестройка кристаллической решетки феррита (ОЦК) в решетку аустенита (ГЦК), вследствие чего растворимость углерода резко возрастает. В процессе выдержки весь цементит растворится в аустените и концентрация углерода в нем достигнет содержания углерода в стали, т.е. 0,8 %. Следующий этап - охлаждение стали из аустенитной области до комнатной

температуры - является определяющим при закалке. При охлаждении стали ниже температуры A_1 происходит обратное полиморфное превращение, т.е. решетка аустенита (ГЦК) перестраивается в решетку феррита (ОЦК) и при этом растворимость углерода уменьшается в 40 раз (с 0,8 до 0,02). Если охлаждение происходит медленно, то "лишний" углерод успевает выйти из решетки феррита и образовать цементит. В результате формируется структура феррито-цементитной смеси. Если же охлаждение производится быстро, то после полиморфного превращения углерод остается вследствие подавления диффузионных процессов в решетке ОЦК. Образуется пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе, который называется МАРТЕНСИТОМ.

Перенасыщенность мартенсита углеродом создает в его решетке большие внутренние напряжения, которые приводят к искажению ее формы и превращению из кубической в тетрагональную. Уровень внутренних напряжений оценивается степенью тетрагональности, т.е. отношением длины ребра с параллелепипеда к ребру a .

Чем выше степень тетрагональности решетки мартенсита, тем выше его твердость. Степень тетрагональности, в свою очередь, будет зависеть от содержания углерода в стали.

Получить структуру мартенсита (или закалить сталь) можно только в том случае, если обеспечить скорость охлаждения больше или равную критической ($V_{кр}$) (рис 5.3), чтобы не успели пройти процессы распада аустенита в верхнем районе температур.

КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ закалки или минимальная скорость охлаждения ($V_{кр}$) - это скорость, при которой аустенит переходит в мартенсит. Если же скорости охлаждения будут меньше $V_{кр}$, при распаде аустенита получим феррито-цементитные смеси различной дисперсности ТРООСТИТ, СОРБИТ И ПЕРЛИТ или промежуточные структуры БЕЙНИТА верхнего и БЕЙНИТА нижнего

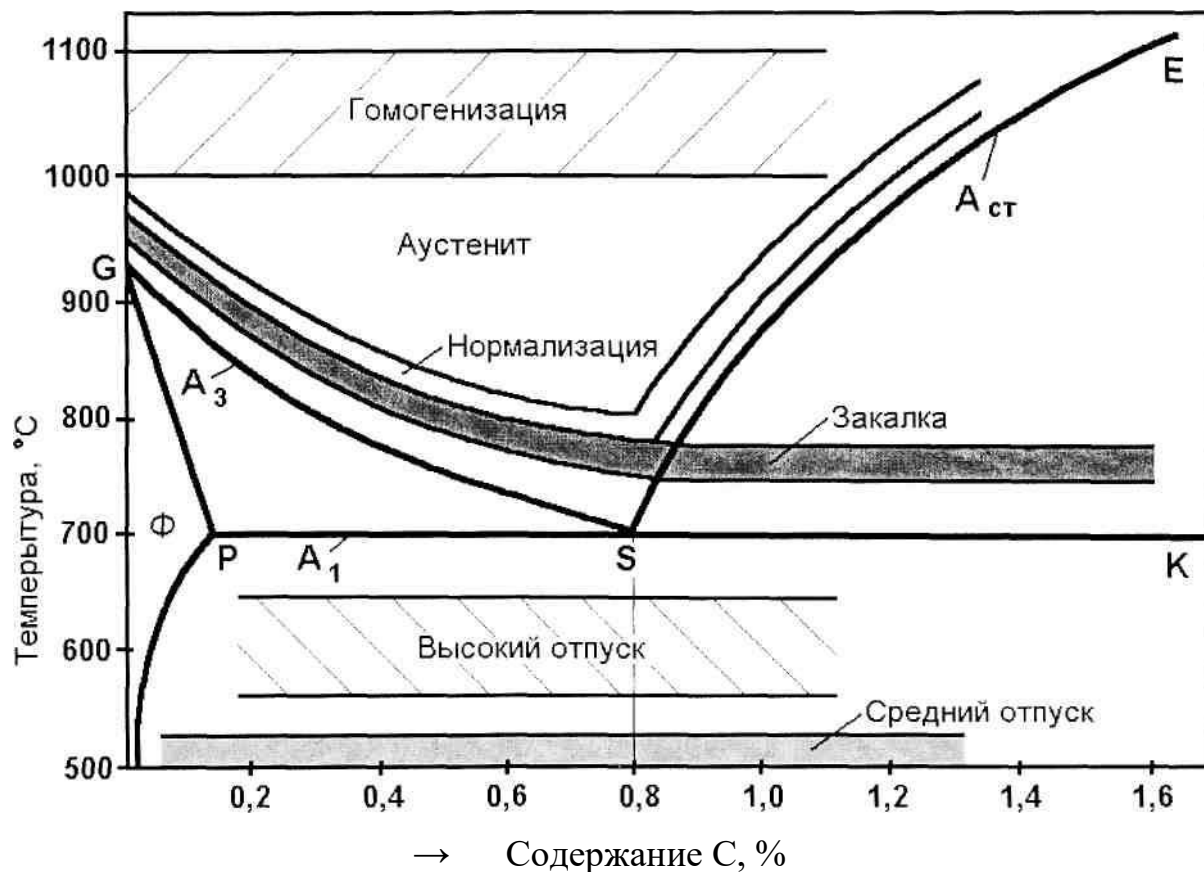
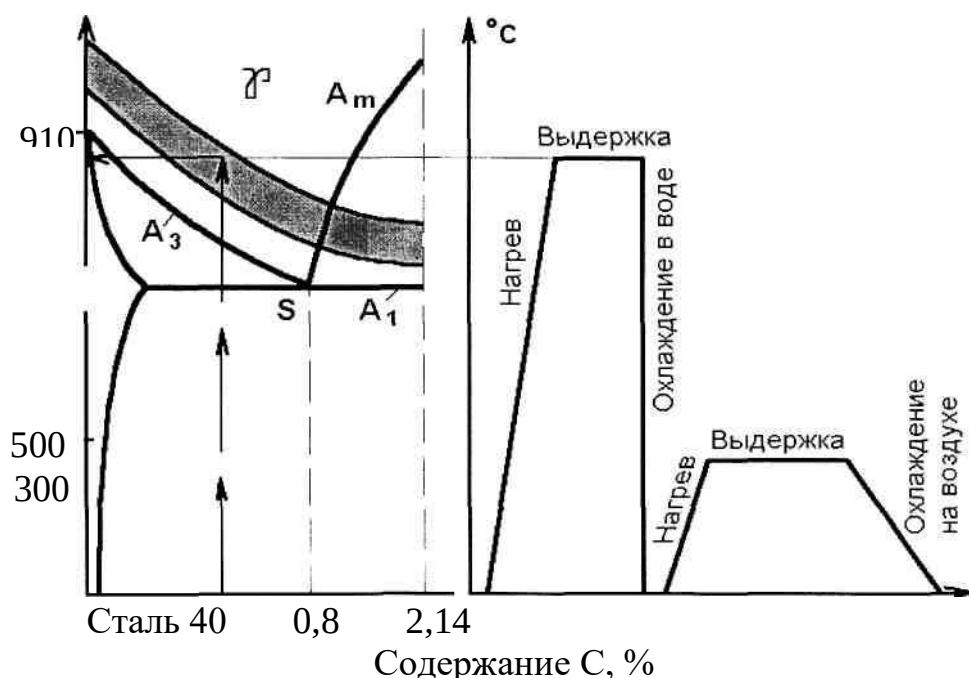


Рис. 1. Диапазон оптимальных температур нагрева при различных видах термообработки

Перлит (грубодисперсионная смесь феррита и цементита) может быть получен при очень медленных скоростях охлаждения (на рис. 3 это скорость V_1). Такие скорости охлаждения характерны для отжига (охлаждение вместе с печью).

При охлаждении углеродистых сталей на воздухе (вид термообработки - нормализация) со скоростями V_2 и V_3 получаем структуры сорбита и троостита. Сорбит - механическая смесь феррита и цементита средней дисперсности. Троостит - мелкодисперсная феррито-цементитная смесь. Свойства сорбита и троостита занимают промежуточное положение между свойствами перлита (П) и мартенсита (М).

Практической целью закалки является получение максимальной прочности и твердости стали. Достигается эта цель при следующих режимах: нагрев стали на 30 - 50°C выше линии GSK, выдержка при этой температуре и охлаждение со скоростью $>V_{кр}$.



По температуре нагрева различают полную и неполную закалку. Полная закалка осуществляется из аустенитной области. После охлаждения с критической скоростью заковки у всех углеродистых сталей образуется структура мартенсита. Полной закалке подвергают изделия из доэвтектоидных сталей, при этом исключается образование мягких ферритных включений.

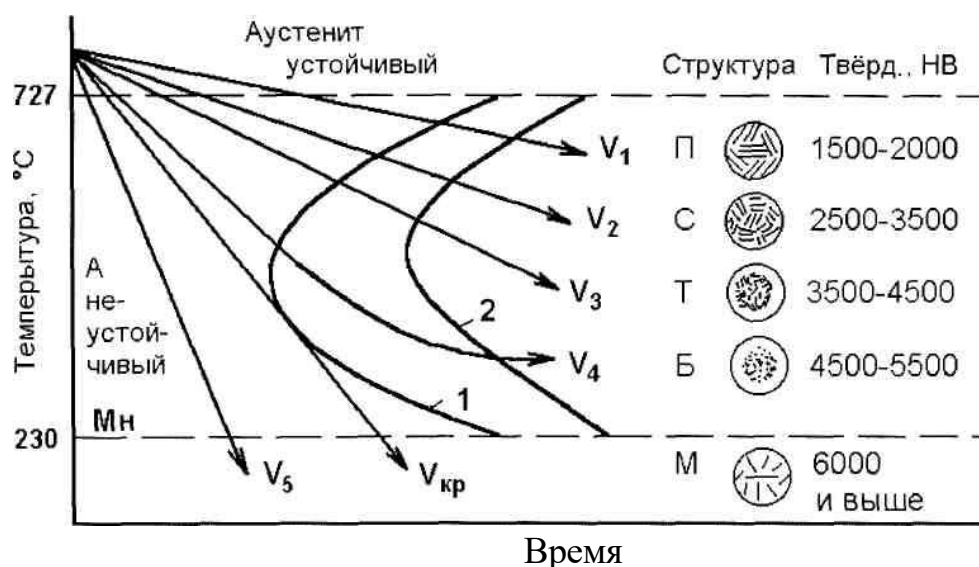


Рис. 3. Диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной стали со схемами микроструктур и их примерной твёрдостью: 1 - кривая начала диффузионного распада аустенита; 2 - кривая конца диффузионного распада аустенита; Мн - линия начала мартенситного превращения; Укр - критическая скорость охлаждения

Неполная закалка - закалка из промежуточных, двухфазных областей ($A + \Phi$), ($A + \text{Цц}$). В результате охлаждения с критической скоростью в доэвтектоидных сталях образуется структура $\Phi + M$, а в заэвтектоидных - $M + \text{Цц}$. Неполной закалке подвергают инструмент из заэвтектоидной стали, поскольку наличие включений вторичного цементита увеличивает твердость закаленного инструмента, т.к. цементит по твердости превосходит мартенсит.

К важнейшим механическим свойствам сталей наряду с твердостью относится и пластичность, которая после закалки очень мала. Структура резко неравновесная, возникают большие закалочные напряжения. Чтобы снять закалочные напряжения и получить оптимальное сочетание свойств для различных групп деталей, обычно после закалки проводят отпуск стали.

Отпуском стали является термообработка, состоящая из нагрева закаленной стали до температуры ниже линии PSK (критическая точка A_1), выдержки при этой температуре и дальнейшего произвольного охлаждения. Этот процесс связан с изменением строения и свойств закаленной стали.

При отпуске происходит распад мартенсита, переход к более устойчивому состоянию. При этом повышается пластичность, вязкость, снижается твердость и уменьшаются остаточные напряжения в стали. Механизм протекающих превращений при отпуске сталей - диффузионный, он определяется температурой и продолжительностью нагрева.

Первое превращение, протекающее в интервале 80 - 200 °C, соответствует выделению из мартенсита тонких пластин ϵ , - карбида Fe_2C . Выделение углерода из решетки приводит к уменьшению степени ее тетрагональности.. Полученный при этом мартенсит, имеющий степень тетрагональности, близкую к 1, называется отпущенным.

При нагреве закаленной стали выше 300°C происходит полное выделение углерода из раствора и снятие внутренних напряжений. Сталь состоит из мелкодисперсной смеси феррита и цементита (троостит отпуска).

При нагреве до температуры выше 480°C идет процесс коагуляции (укрупнения) карбидных частиц и максимальное снятие остаточных напряжений. Формируется структура сорбита отпуска.

В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск. Низкий отпуск проводят в интервале температур 180 - 250°C для инструментов - изделий, которым необходимы высокая твердость и износостойкость. Получаемая структура $M_{отп}$ или $M_{отп} + Ц_{ц}$ (мартенсит отпуска + цементит вторичный).

Средний отпуск (350 - 500°C) применяется для рессор, пружин, штампов и другого ударного инструмента, т.е. для тех изделий, где требуется достаточная твердость и высокая упругость. Получаемая структура - $T_{отп}$ (троостит отпуска).

Высокий отпуск (500 - 650°C) полностью устраняет внутренние напряжения. Достигается наилучший комплекс механических свойств: повышенная прочность, вязкость и пластичность. Применяется для изделий из конструкционных сталей, подверженных воздействию высоких напряжений. Структура - $S_{отп}$ (сорбит отпуска).

Термообработку, заключающуюся в закалке на мартенсит и последующем высоком отпуске, называют улучшением.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое мартенсит?
2. Какую кристаллическую решетку имеет мартенсит в стали после закалики?
3. Что такое критическая скорость закалики?
4. Как выбирается температура нагрева под закалку для доэвтекоидных и заэвтекоидных сталей?
5. Что такое полная и неполная закалка?
6. Почему для доэвтекоидных сталей применяется полная, а для заэвтекоидных - неполная?
7. Как влияет содержание углерода в доэвтекоидной стали на температуру нагрева под закалку?
8. В чем отличие структуры сталей 45, У8 и У12, закаленных с температуры 760° С?
9. Какое состояние сплава должно предшествовать операции отпуска?
10. Какие фазовые превращения протекают при отпуске закаленных сплавов?
11. При каких температурах проводится низкий, средний и высокий отпуск?
12. Какая структура образуется после низкого, среднего и высокого отпуска?
13. Для каких изделий проводится низкий, средний и высокий.
14. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?

Лабораторная работа № 6.

Тема: «Основы доменного производства»

Цель: Ознакомиться с металлургическими методами производства основных конструкционных металлов. Доменное производство.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

Металлургия (от греч. metallurged - обрабатываю металлы, добываю руду) - область науки, техники и отрасли промышленности, охватывающие процессы получения металлов из руд или других материалов, а также процессы, сообщающие металлическим сплавам путем изменения их химического состава и строения свойства, соответствующие назначению.

К металлургии относятся процессы обработки руд с целью их подготовки к извлечению металлов, процессы извлечения металлов из руд и других материалов, очистка металлов от нежелательных примесей и др. процессы.

Исторически сложилось так, что металлургическое производство подразделяют на черную металлургию (металлургию железа и его сплавов) и цветную металлургию (металлургию всех остальных металлов).

Черная металлургия - основа развития большинства отраслей народного хозяйства. Несмотря на бурный рост продукции химической промышленности и цветной металлургии, черные металлы и сплавы на их основе остаются главным конструкционным материалом в судостроении.

Полный производственный цикл в черной металлургии включает в себя следующие основные этапы:

- добыча руды, ее обогащение и переработка в агломерат или окатыши (рудоуправления и горно-обоганительные комбинаты - ГОКи);
- добыча коксующихся углей и их переработка в кокс;
- производство ферросплавов (как элемента для легирования или раскисления металла);
- производство передельного чугуна;
- выплавка стали;
- производство проката;
- производство труб, метизов и другой продукции более высоких переделов.

Важнейший фактор, определяющий долгосрочные перспективы, как отдельных предприятий, так и отрасли в целом, - технологии. В черной металлургии в зависимости от используемого сырья выделяют:

- доменное производство (сырьем служит обогащенная до агломерата или окатышей железная руда и кокс) передельного чугуна, из которого затем выплавляют сталь;
- бескоксовую технологию, когда в установке металлизации идет прямое восстановление обогащенной железной руды газом (direct reduction iron - DRI) до металлизированного продукта, годного для производства электростали;
- технологию, использующую лом (для электропечей оптимальна смесь металлолома и продуктов прямого восстановления).

В первых двух случаях сырьем для выплавки стали служит железная руда. В последние десятилетия в мире преобладает тенденция увеличения доли стали, выплавляемой с использованием технологии прямого восстановления.

Доменное производство.

Доменное производство является отраслью черной металлургии и представляет собой производство чугуна восстановительной плавкой железных руд или окискованных железорудных концентратов в доменных печах.

Первые доменные печи в Европе появились в середине XIVв., а в России – около 1630 года, вблизи Тулы и Каширы.

Исходными материалами (шихтой) в доменном производстве являются железная и марганцевая руда, флюсы и каменноугольный кокс, агломерат и окатыши.

К железным рудам относят красный, бурый, магнитный и шпатовый железняки. Эти руды содержат значительное количество рудного вещества или соединений железа, из которых оно извлекается, и относительно небольшое количество пустой породы, легко отделяющейся при переработке. Пустой породой в железных рудах чаще всего являются кремнезем, каолин, реже доломит и магнезит. В рудах обычно содержатся и вредные примеси, которые осложняют металлургические переделы и, загрязняя основной металл, снижают его свойства. В железных рудах к вредным примесям обычно относят серу, мышьяк и фосфор.

Красный железняк {гематит} содержит железо главным образом в виде Fe_2O_3 - безводной окиси железа. Цвет меняется от ярко до темно-красного. Пустой породой в нем обычно бывает кремнезем. Содержание железа в красном железняках по массе составляет 50-60 % при малом содержании вредных примесей. Красный железняк хорошо восстанавливается в доменных печах.

Бурый железняк (лимонит) содержит железо главным образом в виде водных окислов железа $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$. Цвет меняется от коричнево-желтого до темно-бурого. Обычно бурый железняк содержит 30-50 % железа, но кристаллическая вода, удаляемая при плавке, делает руду пористой и легко поддающейся восстановлению. Ее пустая порода состоит из глины. Бурые

железняки многих месторождений содержат значительное количество серы, фосфора и других примесей.

Магнитный железняк (магнетит) содержит железо главным образом в виде Fe_3O_4 , обладающего хорошо выраженными магнитными свойствами. Цвет черный. Пустой породой, сопутствующей магнетиту, бывают кремнеземистые минералы. Магнетиты являются наиболее богатыми железными рудами (железа от 40 до 70 %), но восстанавливать их труднее, т.к. они являются плотными горными породами. Если они залегают вместе с пиритами, то руда иногда может содержать до 2 % серы в виде FeS_2 .

Шпатовый железняк (сидерит) содержит железо главным образом в виде карбоната FeCO_3 . Его пустая порода содержит алюмосиликаты и магнезит, а содержание железа колеблется от 30 до 40 %. Для повышения содержания железа эти руды обжигаются, удаляющийся при этом углекислый газ делает руду пористой и легко поддающееся восстановлению. Мрамо-ровидные скопления шпатового железняка имеют светло-серый и желтовато-белый цвет.

В природе часто встречаются руды, содержащие несколько полезных ископаемых. Такие руды принято называть полиметаллическими, или комплексными. В некоторых железных рудах кроме железа содержатся марганец, хром, никель и другие элементы, которые при плавке восстанавливаются и растворяются в железе, легируя его.

Марганцевая руда загружается вместе с железными рудами в доменную печь, если поступающая на плавку железная руда содержит недостаточное количество марганца. Марганцевые руды содержат марганец в виде различных окислов (MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4) с содержанием 25-40 % Mn. Их пустая порода в большинстве случаев состоит из глинистых песчаников, которые могут быть частично отделены простой промывкой.

Флюсы вводят в доменную печь для уменьшения содержания пустой породы руды за счет образования легкоплавких соединений с пустой породой. Легкоплавкие соединения, образуемые флюсами с пустой породой руды, концентрата и золой топлива, называют шлаками. В качестве флюсов используется известняк, иногда доломит.

Каменноугольный кокс в современном доменном производстве играет двоякую роль. Во-первых, служит топливом и обеспечивает нагрев печного пространства до необходимой температуры и, во-вторых, обеспечивает восстановление окислов железа. Каменноугольный кокс содержит 82-88 % твердого углерода, от 5 до 10 % золы и от 0,5 до 2 % серы.

Агломерат и окатыши. Для нормальной работы доменной печи ее необходимо загружать кусковым материалом оптимального размера. Наиболее удобным материалом для доменной плавки являются куски руды размером от 30 до 100 мм в поперечнике.

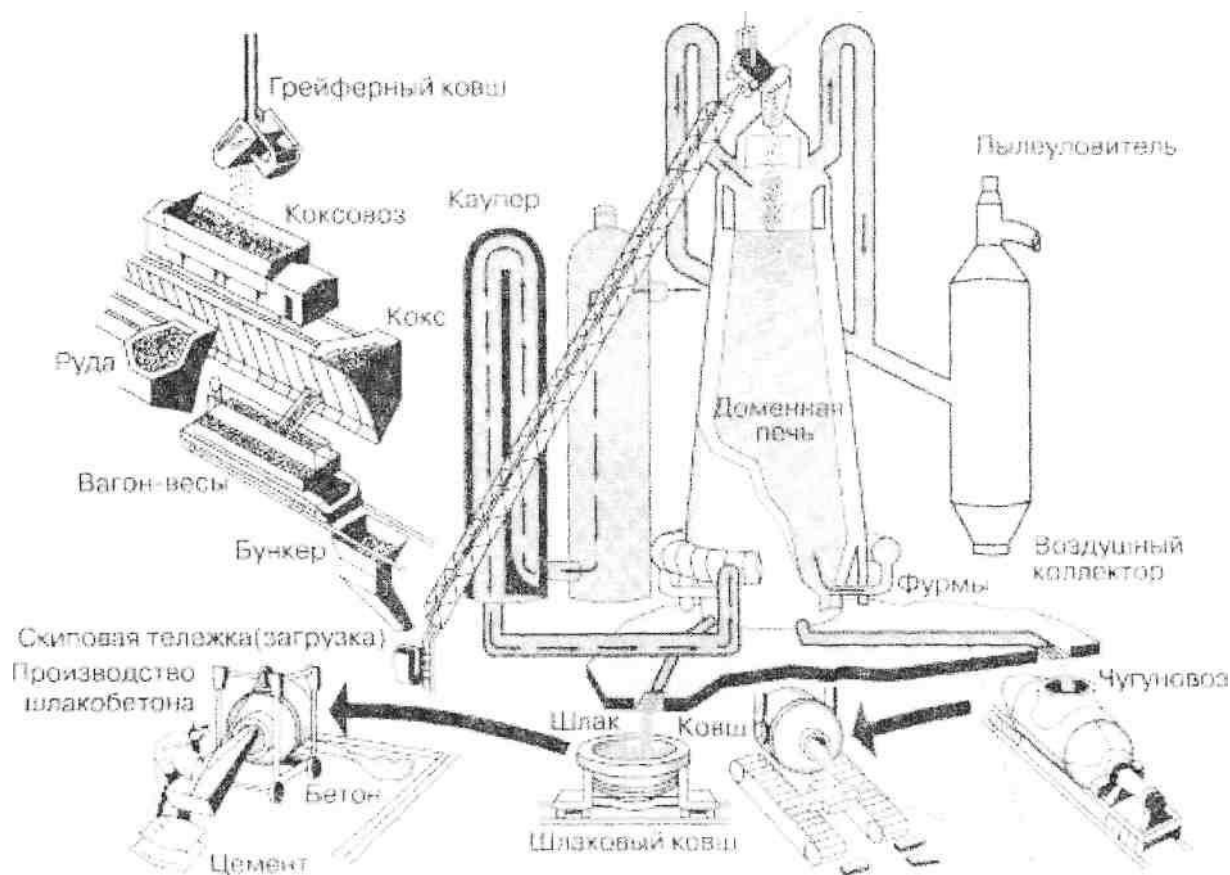
Подготовка руд к доменной плавке способствует ускорению плавки и снижает расход дорогостоящего топлива.

Выплавка чугуна. Доменный цех завода с полным металлургическим циклом имеет, как правило, не менее 3-х доменных печей с воздухонагревателями и системой газоочистки. Запас шихты (кокса, агломерата или руды, а также флюсов) хранится в бункерах эстакады (общей для всех доменных печей). На многих металлургических заводах в состав доменного цеха входит так называемый рудный двор (рис. 1), где хранится основной запас железных руд, укладываемых в штабеля рудными перегружателями. В доменном цехе имеются также машины для разлива чугуна.

Доменная печь представляет собой шахтную печь круглого сечения, футерованную огнеупорной кладкой (верхняя часть шамотным кирпичом, нижняя - преимущественно углеродистыми блоками). Для предотвращения разрушения кладки и защиты кожуха печи от высоких температур используют холодильники, в которых циркулирует вода. Кожух печи и ко-

лошниковое устройство поддерживаются колоннами, установленными на фундаменте. Основные части доменной печи - колошник, шахта, распар, заплечики и горн.

Шихту загружают в домну определенными порциями - колошами - по мере сгорания топлива и выпуска чугуна и шлака. Шихта подается скипами, реже ленточными конвейерами. Скипы разгружаются в печь через приемную воронку. Из приемной воронки шихта поступает в



засыпной аппарат сначала на малый конус, а затем на большой конусы. Большой конус опускается при закрытом малом, что предотвращает прорыв газов из печи в атмосферу. Для приемки шихтовых материалов и отвода газов предназначена верхняя часть доменной печи - колошник.

Коническая часть шахты облегчает опускание проплавленных материалов и распределение газов по поперечному сечению печи. Сужение заплечиков книзу связано с уменьшением объема материалов при переходе в жидкое состояние.

Через фурмы, установленные по окружности горна, в печь под давлением 300 КПа подается воздух, предварительно подогретый до 900-1200°C в воздухонагревателях. Через фурмы вводится также дополнительное топливо (природный газ, мазут или угольная пыль). Нижнюю часть горна называют лещады, на ней скапливаются продукты доменной плавки. Продукты доменной плавки выпускаются в чугуновозные и шлаковые ковши через чугунные и шлаковые летки, расположенные в нижней части горна. Образующийся в печи колошниковый газ отводится через газоотводы, расположенные в верхней части доменной печи.

Расстояние между осью чугунной летки и нижней кромкой большого загрузочного конуса в опущенном состоянии называется полезной высотой доменной печи, а соответствующий объем - полезным объемом доменной печи.

Доменная печь работает по принципу противотока. Шихтовые материалы загружают сверху, и по мере сгорания топлива и плавления руды они опускаются вниз. Навстречу им движется поток горячих газов. При этом происходят процессы горения топлива, восстановления и науглероживания железа и других элементов, образования шлака.

Физико-химические процессы, протекающие в доменной печи, очень сложны и многообразны. Условно процесс, протекающий в доменной печи, разделяют на следующие этапы: горение углерода топлива, разложение компонентов шихты, восстановление оксидов, науглероживание железа и шлакообразование. Эти этапы процесса проходят в печи одновременно, переплетаясь друг с другом, но с разной интенсивностью, на разных уровнях печи.

Горение углерода топлива происходит главным образом возле фурм, где основная масса кокса, нагреваясь, встречается с нагретым до температуры 900-1200°C кислородом воздуха, поступающим через фурмы. Образовавшийся при этом углекислый газ ($2C + O_2 = CO_2$) вместе с азотом воздуха, поднимаясь, встречается с раскаленным коксом и взаимодействует с ним по экзотермической реакции $CO_2 + C_{\text{ТВ}} = 2CO$. Эта реакция обратима, причем ее равновесие сдвигается в зависимости от изменения температуры. Иногда в фурмы вводят природный газ или пар, который, реагируя с раскаленным коксом, окисляет его при высоких температурах: $H_2O_{\text{пар}} + C_{\text{ТВ}} = CO + H_2O$.

Разложение компонентов шихты протекает различно - в зависимости от ее состава. Например, при работе на буром железняке разрушаются гидраты окиси железа и разлагается известняк по реакции: $CaCO_3 = CaO + CO_2$.

Восстановление окислов может происходить окисью углерода, углеродом и водородом. Главной целью доменного процесса является восстановление железа из его оксидов.

Главную роль в восстановлении оксидов играет окись углерода. Для начала процесса восстановления необходима температура не ниже 570°C и значительный избыток CO. Согласно теории академика А.А. Байкова, восстановление оксидов железа идет ступенчато по следующей схеме: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$.

Образующееся в печи металлическое железо находится сначала в твердом виде (губчатое железо), поскольку имеет высокую температуру плавления. В присутствии окиси углерода губчатое металлическое железо постепенно взаимодействует с углеродом по реакции: $3Fe + CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$. Температура плавления этого железа понижается до 1150-1200°C. Науглероженное железо (1,8-2,0 % C) переходит в жидкое состояние и стекает каплями между кусками раскаленного кокса на лещады печи. Во время перемещения капельки железа дополнительно насыщаются углеродом до примерно 3,5-4,0 % C, т.е. до обычного содержания углерода в жидком чугуна.

Одновременно с восстановлением и науглероживанием железа происходит восстановление из шихты других элементов (Mn, Si, P), которые также переходят в чугун. Окислы марганца MnO_2 , Mn_2O_3 и Mn_3O_4 восстанавливаются газами с выделением тепла. В дальнейшем MnO восстанавливается до Mn только углеродом с затратой тепла примерно в два раза большей, чем при восстановлении Fe. Кремний также восстанавливается только углеродом при высоких температурах по эндотермической реакции.

Шлакообразование активно развивается при прохождении шихты в области распара после окончания процессов восстановления окислов железа. Шлак состоит из невосстановившихся окислов SiO_2 , Al_2O_3 и CaO (90-95 %), MgO (2-10 %), FeO (0,1-0,4 %), MnO (0,3-3 %), золы топлива, а также флюса, специально добавляемого в шихту, чтобы обеспечить достаточную жидкотекучесть шлака при температуре 1400-1450°C.

Состав шлака зависит от состава пустой породы руды, а также от того, какой чугун получают в доменной печи.

Продукты доменной плавки. Продуктами доменной плавки являются чугун, шлаки и газы, выделяющиеся из доменной печи.

К основным видам чугуна, выплавляемого в доменных печах, относятся передельный чугун, литейный чугун и специальные чугуны, например, зеркальный чугун (10-25 % Мп и примерно 2 % Si) и ферросплавы.

Передельные чугуны предназначены для производства стали в сталеплавильных агрегатах. Различают мартеновский, фосфористый и высококачественный чугуны. Мартеновский чугун содержит 3,5-4,5 % С; 0,15-0,3 % Р и сотые доли % S. Фосфористый - 1-2 % Р; 0,32-0,35 % S; высококачественный - до 4 % С; не более 0,05 % Р и не более 0,025 % S.

В значительных количествах в доменных печах выплавляются и литейные коксовые чугуны, содержащие 3,5-4,6 % С и 0,81-3,6 % Si, и используемые для производства чугунных отливок.

Разложение компонентов шихты протекает различно - в зависимости от ее состава. Например, при работе на буром железнике разрушаются гидраты окиси железа и разлагается известняк по реакции: $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Восстановление окислов может происходить окисью углерода, углеродом и водородом. Главной целью доменного процесса является восстановление железа из его оксидов.

Главную роль в восстановлении оксидов играет окись углерода. Для начала процесса восстановления необходима температура не ниже 570°C и значительный избыток СО. Согласно теории академика А.А. Байкова, восстановление оксидов железа идет ступенчато по следующей схеме: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$.

Образующееся в печи металлическое железо находится сначала в твердом виде (губчатое железо), поскольку имеет высокую температуру плавления. В присутствии окиси углерода губчатое металлическое железо постепенно взаимодействует с углеродом по реакции: $3\text{Fe} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$. Температура плавления этого железа понижается до 1150-1200°C. Науглероженное железо (1,8-2,0 % С) переходит в жидкое состояние и стекает каплями между кусками раскаленного кокса на лещады печи. Во время перемещения капельки железа дополнительно насыщаются углеродом до примерно 3,5-4,0 % С, т.е. до обычного содержания углерода в жидком чугуне.

Одновременно с восстановлением и науглероживанием железа происходит восстановление из шихты других элементов (Mn, Si, P), которые также переходят в чугун. Окислы марганца MnO_2 , Mn_2O_3 и Mn_3O_4 восстанавливаются газами с выделением тепла. В дальнейшем MnO восстанавливается до Mn только углеродом с затратой тепла примерно в два раза большей, чем при восстановлении Fe. Кремний также восстанавливается только углеродом при высоких температурах по эндотермической реакции.

Шлакообразование активно развивается при прохождении шихты в области распара после окончания процессов восстановления окислов железа. Шлак состоит из невосстановившихся окислов SiO_2 , Al_2O_3 и CaO (90-95 %), MgO (2-10 %), FeO (0,1-0,4 %), MnO (0,3-3 %), золы топлива, а также флюса, специально добавляемого в шихту, чтобы обеспечить достаточную жидкотекучесть шлака при температуре 1400-1450°C.

Состав шлака зависит от состава пустой породы руды, а также от того, какой чугун получают в доменной печи.

Продукты доменной плавки. Продуктами доменной плавки являются чугун, шлаки и газы, выделяющиеся из доменной печи.

К основным видам чугуна, выплавляемого в доменных печах, относятся передельный чугун, литейный чугун и специальные чугуны, например, зеркальный чугун (10-25 % Мп и примерно 2 % Si) и ферросплавы.

Передельные чугуны предназначены для производства стали в сталеплавильных агрегатах. Различают мартеновский, фосфористый и высококачественный чугуны. Мартеновский чугун

содержит 3,5-4,5 % С; 0,15-0,3 % Р и сотые доли % S. Фосфористый - 1-2 % Р; 0,32-0,35 % S; высококачественный - до 4 % С; не более 0,05 % Р и не более 0,025 % S.

В значительных количествах в доменных печах выплавляются и литейные коксовые чугуны, содержащие 3,5-4,6 % С и 0,81-3,6 % Si, и используемые для производства чугунных отливок.

К побочным продуктам доменной плавки относятся газы, шлаки и пыль. Доменный газ, имеющий теплоту сгорания 3,6-4,6 Мдж/м³ (850-1100 ккал/м³), после очистки от пыли используется в воздухонагревателях, а также в заводских котельных установках, коксохимических, агломерационных и некоторых др. цехах. Доменный шлак применяется главным образом в промышленности строительных материалов (шлаковата, шлакобетон и пр.). Колошниковая пыль, выносимая из доменной печи и улавливаемая системой газоочистки, содержащая 30-50 % Fe, возвращается в шихту доменных печей после ее предварительного окускования (главным образом путем агломерации).

Показатели работы доменной печи зависят главным образом от качества сырых материалов и степени подготовки их к плавке. Основные показатели: суточная производительность доменной печи (т) и расход кокса на 1 т чугуна.

Производительность доменных печей иногда характеризуется коэффициентом использования полезного объема (КИПО), т.е. отношением полезного объема (м³) к суточной выплавке передельного чугуна (т). Производительность доменной печи объемом 3000 м³ - 7000 т чугуна в сутки. Большой экономический эффект дает эксплуатация крупных доменных печей объемом 5000-6000 м³ в которых за сутки производят более 10000 т чугуна, их КИПО достигает 0,5-0,6.

Расход кокса на единицу выплавляемого чугуна имеет большое экономическое значение вследствие высокой стоимости кокса. Применение дополнительного топлива позволяет уменьшить расход кокса на 8-20 % и снизить благодаря этому себестоимость чугуна. Совершенствование доменной плавки направлено на улучшение подготовки сырых материалов к плавке, увеличение мощности (объема) доменных печей, внедрение прогрессивной технологии, автоматического управления ходом доменной плавки.

Выпускаемый из доменной печи чугун поступает в ковши вместимостью 80-100 т, футерованные огнеупорным кирпичом и установленные на железнодорожных платформах. Передельный чугун перевозят в ковшах в сталеплавильные цеха и заливают в миксеры - цилиндрические хранилища жидкого чугуна, вмещающие иногда до 2000 т металла. Литейный чугун отвозят к разливочной машине, где его разливают в изложницы.

3. Контрольные вопросы

1. Назовите основные этапы полного производственного цикла в черной металлургии?
2. Какие технологии выделяют в черной металлургии в зависимости от используемого сырья?
3. Перечислите и кратко охарактеризуйте исходные материалы, применяемые в доменном производстве.
4. Какие руды принято называть полиметаллическими?
5. В чем заключается подготовка руды к доменной плавке?
6. Опишите технологию производства окатышей и агломерата.
7. Охарактеризуйте наиболее применимые способы обогащения.
8. Что представляет собой доменная печь?
9. Какие основные физико-химические процессы протекают в доменной печи?

10. Что является главной целью доменного производства?
11. Перечислите продукты доменной плавки и опишите их назначение.
12. Назовите основные показатели работы доменной печи.

Лабораторная работа № 7.

Тема: «Основы сталеплавильного производства»

Цель: Ознакомиться с металлургическими методами производства основных конструкционных металлов. Сталеплавильное производство.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

Сталеплавильное производство включает два основных технологических процесса – выплавку и разливку стали.

В современной металлургии важнейшие способы выплавки стали – кислородно-конвертерный процесс, мартеновский процесс и электросталеплавильный процесс.

Шихтовые материалы. К основным материалам, используемым для производства стали, относятся собственный и привозной стальной лом (скрап), передельный чугун, руда, прокатная окалина, ферросплавы, топливо, кислород и шлакообразующие.

Процессы выплавки стали осуществляются в несколько этапов.

1. Расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла.

Происходит под воздействием теплоты, подводимой извне или образующейся при окислении примесей железа. На этом этапе температура металла невелика, интенсивно происходит окисление железа, т.к. оно в наибольшем количестве

содержится в жидком металле, а также окисление примесей (Si, P, Mn) по реакциям: $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$; $2\text{FeO} + 2\text{Si} \rightarrow \text{Fe} + \text{SiO}_2$; $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$; $5\text{FeO} + 2\text{P} \rightarrow 5\text{Fe} + \text{P}_2\text{O}_5$; $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{Fe}$.

Наиболее важная задача этого этапа: удаление фосфора - одной из вредных примесей стали. Присутствие оксида кальция CaO, являющегося более сильным основанием, чем оксид железа FeO, обеспечивает протекание реакции: $2\text{P} + 5\text{FeO} + 4\text{CaO} \rightarrow (\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{Fe}$ и переводит фосфор в шлак.

Для удаления фосфора из металла необходимы невысокие температуры ванны металла и шлака, но достаточное количество в шлаке окиси железа. Для повышения содержания FeO в шлаке в сталеплавильную печь в этот период плавки добавляют окалину, железную руду, наводя железистый шлак.

2. «Кипение» металлической ванны.

Этот этап начинается по мере прогрева металлической ванны до более высоких температур, чем на первом этапе. При повышении температуры металла более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты: $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$.

Поскольку в металле содержится больше углерода, чем других примесей, то для окисления углерода в металл вводят значительное количество руды, окалины или вдувают кислород. Образующийся в металле оксид железа реагирует с углеродом, пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение» ванны.

При «кипении» металлической ванны уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO, а также другие газы, проникающие в пузырьки CO. Все это способствует повышению качества металла. Поэтому этап «кипения» ванны является основным этапом в процессе выплавки стали.

В этот же период создаются условия для удаления серы из стали. Сера в стали находится в виде сульфида FeS, который растворяется также в шлаке. Сульфид железа FeS, растворенный в шлаке, взаимодействует с оксидом кальция CaO, также растворенным в шлаке: $\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{CaS} + \text{FeO}$. Эта же реакция протекает на границе металл - шлак (между FeS, растворенном в стали, и CaO, растворенном в шлаке). Образующееся соединение CaS растворимо в шлаке, но не растворимо в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Поэтому при плавке в печах с основной футеровкой, где в качестве флюса используют CaCO₃, можно снизить содержание вредных примесей в стали, и, следовательно, в этих печах можно выплавлять сталь из шихты любого химического состава.

В сталеплавильных печах с кислой футеровкой нет условий для уменьшения количества фосфора и серы, т.к. использовать основной шлак с высоким содержанием CaO нельзя из-за возможности разрушения футеровки. Поэтому в кислых печах можно выплавить сталь только из шихтовых материалов с малым количеством серы и фосфора.

3. Раскисление стали.

Раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле.

При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород - вредная примесь, т.к. понижает механические свойства особенно при высоких температурах.

При раскислении стали содержание кислорода в металле снижается до уровня, исключающего возможность окислительных реакций в слитке. Образующиеся при этом твердые, жидкие или газообразные продукты раскисления необходимо удалить до затвердевания слитка, т.к. они снижают качество стали. Содержание кислорода в стали после раскисления снижается на порядок.

К основным стадиям процесса раскисления относятся: растворение раскислителя в жидком металле, реакции между кислородом, и раскислителем и выделение продуктов раскисления.

Для раскисления и легирования стали применяют специальные чугуны или доменные ферросплавы, составляющие 2-3 % всего производства чугуна. Ферросплавы - это сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. К ним относятся: ферросилиций (до 18 % Si до 3 % Mn), ферромарганец (до 85 % Mn и до 2 % Si), зеркальный чугун (10-25 % Mn и до 2 % Si).

Марганец и кремний являются важнейшими компонентами современных судокорпус-ных сталей повышенной прочности. Марганец вводят в сталь при выплавке для ее раскисления, а также для уменьшения вредного влияния серы. Содержание марганца обычно ограничивают 1,4-1,6 %. При содержании более 1,5 % Mn наряду с интенсивным повышением прочности наблюдается резкое падение ударной вязкости и характеристик пластичности. Кремний при концентрациях, превышающих 0,5 %, также отрицательно влияет на пластичность и вязкость судокорпусных сталей.

Основными способами раскисления стали являются осаждающее раскисление, диффузионное раскисление, специальные способы раскисления (обработка синтетическими шлаками, раскисление в вакууме).

Осаждающее раскисление - в жидкую сталь вводят раскислители, содержащие Mn, Si, Al и др. элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо. Образующиеся продукты раскисления MnO , SiO_2 , Al_2O_3 и др. имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляют шлак.

Наиболее сильным раскислителем является Al, т.к. обладает очень высоким сродством к кислороду. Лучше всего использовать комплексные раскислители. По согласованию с Регистром РФ, применяющийся для раскисления стали алюминий, может быть частично заменен титаном или ниобием, измельчающими зерно.

Диффузионное раскисление осуществляют раскислением шлака. Раскислители в измельченном виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. В соответствии с законом распределения оксид железа, растворенный в стали, начнет переходить в шлак. Образующиеся при таком способе раскисления оксиды остаются в шлаке, а восстановленное железо переходит в сталь, что уменьшает содержание в ней неметаллических включений и повышает ее качество.

Обработка расплава железа синтетическими шлаками широко применяется на практике. Синтетический шлак, состоящий в основном из Al_2O_3 и CaO, выплавляют в электропечи. Шлак заливают в ковш и туда же с высоты 3-6 м выливают струю металла из печи. При перемешивании стали и шлака поверхность их взаимодействия резко возрастает, и реакции между ними протекают гораздо

быстрее, чем в плавильной печи. Обработанная таким способом сталь содержит меньше кислорода и серы, неметаллических включений. Повышается ее прочность и пластичность. Такие стали применяют для изготовления ответственных деталей машин.

Раскисление в вакууме проводят для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений. При понижении давления (0,27-0,67 кПа) из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Все это улучшает прочность и пластичность стали.

В зависимости от степени раскисления (раскисленности) выплавляют спокойные, кипящие и полуспокойные стали.

Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и в ковше. В такой стали весь кислород находится в связанном состоянии, газов нет, она плотнее. Спокойная сталь используется для изготовления деталей ответственного назначения (рессор и коленвалов).

Кипящая сталь раскислена в печи не полностью. Ее раскисление продолжается в изложнице, при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в металле. Образующийся оксид углерода выделяется из стали, способствует удалению из стали азота и водорода. Газы выделяются в виде пузырьков, вызывая ее «кипение». Кипящая сталь практически не содержит неметаллических включений - продуктов раскисления, поэтому обладает хорошей пластичностью, но менее плотная и имеет газовые включения. Кипящие стали применяют для неответственных деталей (корпусные детали).

Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а частично в изложнице благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали. Содержит немного газов, служит для изготовления проволоки и мостовых конструкций.

4. Легирование стали.

Легирование стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав.

Легирующие элементы, сродство к кислороду которых меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Si), в печь в любое время, т.к. при плавке и разливке эти элементы практически не окисляются.

Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti и др.), вводят в металл в конце плавки после или одновременно с раскислителем, а иногда непосредственно в ковш.

Для получения необходимого комплекса свойств судостроительные стали легируют никелем, хромом, молибденом, медью, ниобием и ванадием.

Для измельчения зерна в судокорпусные стали обычно добавляют алюминий, который образует с растворенными в жидком металле азотом и кислородом соединения AlN и Al_2O_3 . Наибольший эффект обеспечивает модифицирование алюминием, титаном и ванадием. Образующиеся при затвердевании высокодисперсные включения нитридов и карбидов типа AlN , VN , TiN , $V(CN)$ и других способствуют получению мелкозернистой структуры стали.

В состав высокопрочных судостроительных сталей, применяемых для изготовления тяжело нагруженных сварных конструкций, кроме углерода (до 0,14 %), кремния и

марганца, используемых в качестве раскислителей, входят около 1 % Сг, 2-3 % Ni, до 0,3 % Мо и до 1 % Си.

Продукты сталеплавильного производства: сталь, шлаки, отходящие газы и пыль.

Основные способы выплавки стали

Конвертерные способы

Изобретателем конвертерного способа получения стали считают англичанина Г. Бессемера, впервые предложившего и осуществившего в 1854-1856 гг. получение стали без расхода топлива, путем продувки воздуха через расплавленный чугун {бессемеровский процесс). Перед применившимися ранее способами получения стали бессемеровский способ имел два неоспоримых преимущества - очень высокую производительность, отсутствие топлива. Конвертеры бессемеровского способа имели кислую (динасовую) футеровку, поэтому не все чугуны могли в них перерабатываться. Получаемая сталь загрязнялась серой, фосфором и была хрупка из-за насыщения ее азотом, содержащимся в воздухе.

Бессемеровский процесс развил в 1878 г. английский металлург С. Дж. Томас. Он внедрил в практику основную футеровку конвертеров (доломитом). Такая футеровка позволяла удалять из чугуна фосфор и частично серу (томасовский процесс). Недостатки этого процесса - повышенное содержание азота и кислорода, большая степень загрязнения шлаковыми неметаллическими включениями.

В настоящее время получили широкое распространение конвертерные способы, где для продувки вместо воздуха применяют кислород (кислородно-конвертерное производство).

Кислородно-конвертерный процесс

Конвертером называют большую стальную реторту, футерованную огнеупором. Конвертер имеет цилиндрическую часть, легко заменяемое днище и конусообразную горловину. Рабочее пространство - цилиндрическая часть конвертера крепится в литом, стальном кольце с двумя цапфами. В процессе работы конвертер может проворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на 360° при помощи приводных механизмов (спецпривода) для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Кислородный конвертер (рис. 2) с верхней продувкой представляет собой грушевидный сосуд (с открытой верхней горловиной) диаметром около 6 м и высотой около 10 м, облицованный изнутри основным кирпичом. В кислородно-конвертерном производстве преобладают конвертеры емкостью 100-350 т.

В вертикальном положении конвертера его горловина находится под вытяжным колпаком дымоотводящего камина. Боковое выпускное отверстие, имеющееся с одной стороны, позволяет отделить металл от шлака при сливе.

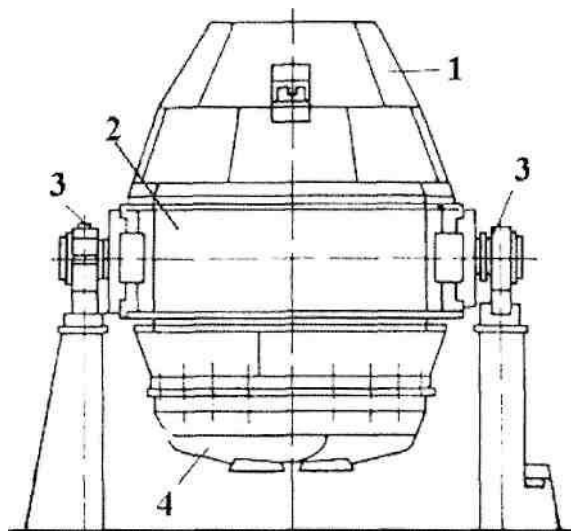


Рис. 2. Кислородный конвертер: 1 - горловина для загрузки, 2 - цилиндрическая часть, 3- стальное кольцо с цапфами; 4 - съемное днище

Шихтовыми материалами кислородно-конверторного процесса являются жидкий передельный чугун; стальной лом (не более 30 %); известь для наведение шлака; железная руда; боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 , применяемые для разжижения шлака.

Перед плавкой конвертер наклоняют, через горловину с помощью завалочных машин загружают скрап и заливают чугун при температуре 1250-1400°C. После этого конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение. Внутри его вводят водоохлаждаемую форму и через нее подают технический чистый кислород под давлением 0,9-1,4 МПа.

Одновременно с началом продувки в конвертер загружают известь, боксит, железную руду. Струи кислорода проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой развивается температура до 2500°C.

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают в ковш, раскисление производят в ковше осаждающим методом; затем из конвертера сливают шлак.

Плавка в конвертерах заканчивается через 25-50 мин.

В кислородных конвертерах выплавляют конструкционные стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные. Можно выплавлять низколегированные (до 2-3 % легирующих элементов) стали, при этом легирующие элементы вводят в ковш. Сортамент стали, получаемой этим способом, непрерывно расширяется, по качеству кислородно-конвертерная легированная сталь не уступает мартеновской стали и электростали соответствующих марок.

Кислородно-конвертерный процесс более производительный (400-500 т/ч стали), чем плавка стали в мартеновских печах. Общий расход технического кислорода на получение 1 т стали в конвертере составляет 50-60 м³.

Недостатком кислородно-конвертерного способа получения стали является большое пылеобразование, обусловленное обильным окислением и испарением железа. Это требует обязательного сооружения при конвертерах сложных и дорогих пылеочистительных установок. В настоящее время разработаны методы и алгоритмы конвертерного процесса, позволяющие контролировать и регулировать ход плавки.

Мартеновский способ

В 1864 г. во Франции инженеру П. Мартену после многочисленных попыток удалось получить на поду пламенной печи жидкую сталь, до этого этим путем получали сталь в тестообразном состоянии. П. Мартен применил для сталеплавильной печи принцип регенерации тепла отходящих пенных газов для подогрева топлива и воздуха, подаваемого в печь.

Современные мартеновские печи отапливают обычно смесью доменного и коксового (иногда природного или мазута) газов и оборудуют 4 регенераторами с насадками. Продукты горения из рабочего пространства печи направляются в одну пару регенерата и нагревают их садку, затем впускаются в дымовую трубу. В это время газовое топливо и воздух подают в печь через вторую пару регенераторов, насадка которых была нагрета раньше. Через некоторое время с помощью автоматически переключающихся клапанов меняется направление входа печных газов и подачи топлива.

Мартеновские печи строят разной вместимостью (10-500 т). Мартеновская печь имеет рабочее пространство, ограниченное снизу подиной, сверху сводом, а с боков - передней и задней стенками. Загружают в печь твердые материалы через завалочные окна.

Газ подают в печь по центральному каналу, воздух по двум боковым. Сходясь в рабочем пространстве печи, эти каналы образуют так называемую головку печи, формирующую газовое пламя. Образовавшийся факел направлен на шихту. Факел имеет температуру 1750-1800°С и нагревают рабочее пространство печи и шихту, в результате чего происходит окисление примесей шихты при плавке.

Отходящие газы, имеющие температуру 1500-1600°С, проходят очистные устройства и направляются в регенератор, где нагревают футеровку (насадку) до 1250-1280°С. Когда футеровка достаточно нагрета, направление потоков через печь меняется на обратное. Поступающие воздух и газ воспринимают тепло от кирпичей насадки, а отходящие газы нагревают вторую камеру. Таким образом, достигается экономия топлива и повышается рабочая температура.

Выпуск стали и шлака из мартеновской печи после завершения плавки проводят через летку в задней продольной стенке печи. На время плавки летку заделывают магнезитовым порошком и огнеупорной глиной.

Мартеновская печь - крупное сооружение, и процесс выплавки стали занимает довольно много времени (в среднем 12-14 часов). На загрузку печи рудой, металлоломом и чугуном уходит около 5 часов, на расплавление - 4 часа и на рафинирование и корректировку окончательного состава стали - еще 3-4.

Несмотря на резкое сокращение доли мартеновского металла в общем объеме производства стали, роль мартеновского процесса в черной металлургии многих стран еще достаточно высока. Использование кислорода, природного газа, огнеупоров высокого качества позволяет значительно интенсифицировать мартеновский процесс. Вместе с тем строительство новых мартеновских печей повсеместно прекращено. Мартеновским способом в основном выплавляют высококачественную углеродистую и низколегированную сталь. Широко используют мартеновские способы производства для выплавки судостроительных сталей (например корпусных).

Мартеновский способ получил широкое применение благодаря возможности использования различного сырья и разнообразного топлива. Различают следующие разновидности мартеновского производства в зависимости от используемого сырья: скрап-процесс и скрап-рудный процесс.

При скрап-процессе шихта состоит из 60-70 % стального лома и 30-40 % твердого чушкового чугуна, эта разновидность процесса применяется на заводах, не имеющих доменного производства. При скрап-рудном процессе применяют шихту, состоящую из 20-50 % скрапа и 50-80 % жидкого чугуна, хранящегося после выпуска из доменных печей в миксерах. Название этого процесса объясняется тем, что для ускорения окисления примесей чугуна в печь загружают красный железняк в количестве 15-30 % от массы металлической части шихты. Скрап-рудным процессом выплавляется основная масса мартеновской стали, которая идет на изготовление проката.

В современном сталеплавильном производстве для кладки стен и пода печей применяются как кислые, так и основные огнеупоры, этим отличается устройство основных и кислых мартеновских печей.

В основных мартеновских печах выплавляют углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества, низко- и среднелегированные. Кислым мартеновским способом выплавляют более качественные стали. Стали, выплавляемые в кислых мартеновских печах, содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений, чем выплавленные в основной печи.

Электросталеплавильное производство

Для выплавки стали применяются дуговые и индукционные электрические печи. Емкость дуговых печей от 3 до 300 т, индукционных - от 5 кг до 25 т. При плавке в электропечах благодаря достижению высоких температур (до 2000°C) возможны выплавка высоколегированных сталей специального назначения, вакуумная плавка или плавка в контролируемой

атмосфере. Время плавки в дуговых электропечах зависит от емкости печей и может составлять от 1 до 3 часов.

В кислородном конвертере и мартеновской печи окислительные условия сохраняются в течение всей плавки, а в дуговой печи легко создать окислительную, восстановительную и нейтральную атмосферы. Угар легирующих и раскислителей в электропечи на 25-30 % меньше, чем в других плавильных агрегатах. Электропечь незаменима для переработки металлизированного сырья, доля которого с каждым годом увеличивается.

Дуговые печи питаются трехфазным переменным током. Они имеют три графитовых электрода, проходящих через свод в камеру печи (рис. 3). Между электродами и металлической шихтой возникает электрическая дуга, теплота которой расплавляет металл. Внутри печь облицована основным или кислым кирпичом в зависимости от ее назначения. Плавильное пространство цилиндрической формы снизу ограничено подом и сверху съемным сводом, который отодвигается во время загрузки печи. Для управления процессом плавки в стенках предусмотрены рабочее окно и летка с желобом для выпуска стали и шлака. При выпуске печь поворачивается вокруг горизонтальной оси в сторону летки. В основной печи ведут плавку, применяя окисление примесей или метод переплава.

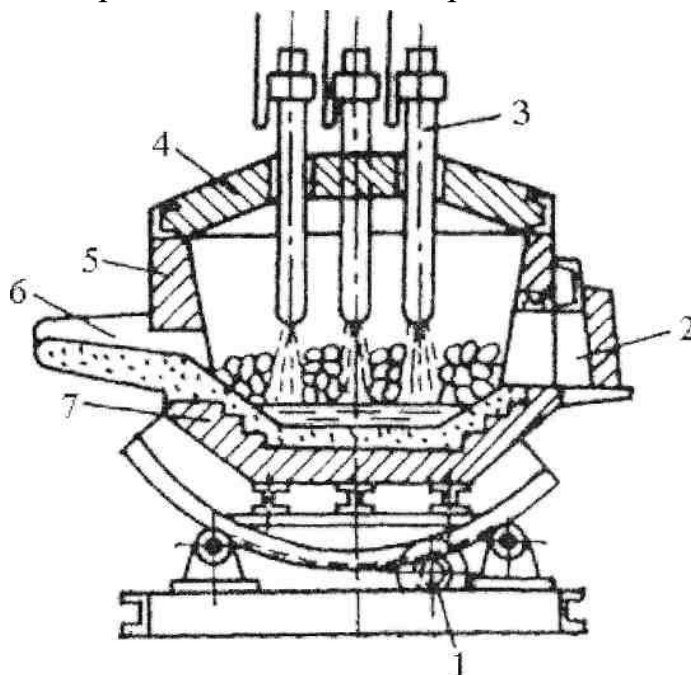


Рис. 3. Схема трехфазной дуговой печи: 1 - механизм поворота печи; 2 - загрузочное окно; 3 - электроды; 4 - свод; 5 - корпус; 6 - желоб для выпуска стали; 7 - под печи

Плавка с окислением во многом сходна с мартеновским скрап-рудным процессом. Обычно ее применяют для получения углеродистых сталей. Шихтой в этом случае служат стальной лом, передельный чугун, кокс и известь в небольшом количестве (2-3 %). Плавка имеет два периода: окислительный и восстановительный. Во время окислительного периода Si, Mn, C, Fe окисляются кислородом, поступающим из воздуха, оксидов шихты

и окислы. Полученные оксиды вместе с известью образуют шлак. Благодаря наличию оксида кальция шлак связывает и удаляет фосфор. Восстановительный период включает раскисление стали, удаление серы и доведение содержания всех компонентов до заданного количества.

Для выплавки качественных высоколегированных сталей специального назначения применяется плавка в индукционных печах. Индукционная плавильная печь представляет собой электротермическую установку для плавки материалов с использованием индукционного нагрева. В промышленности применяют в основном индукционные тигельные печи и индукционные каналные печи.

Тигельная индукционная печь (рис. 4) состоит из индуктора, представляющего собой соленоид, выполненный из медной водоохлаждаемой трубки, и тигля, который в зависимости от свойств расплава изготавливается из керамических материалов, а в специальных случаях - из графита, стали и др.

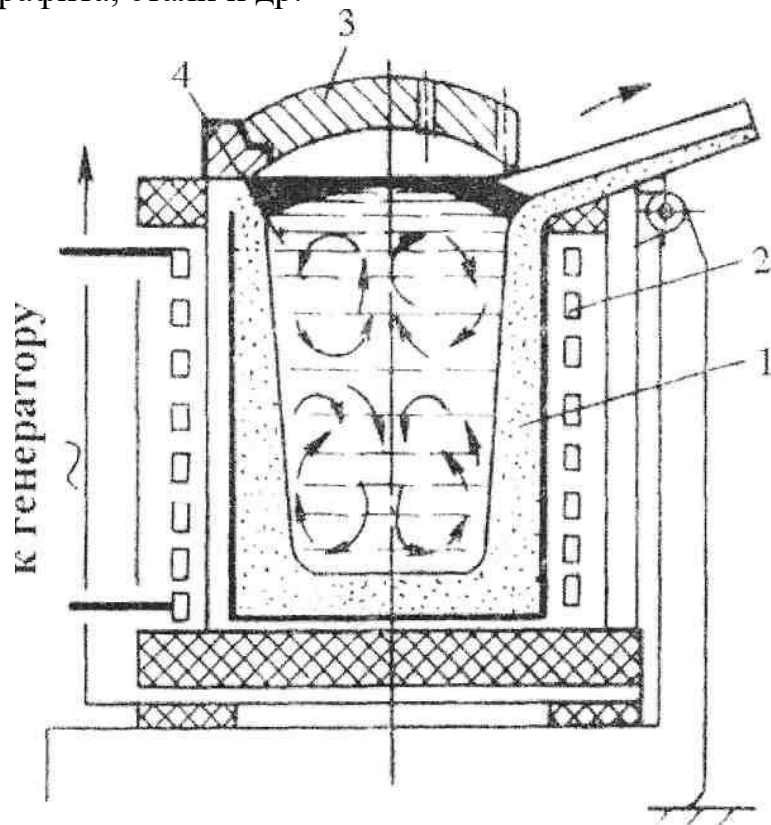


Рис. 4. Схема индукционной тигельной печи: 1 - тигель; 2 - индуктор; 3 - съемный свод; 4 - металл

В тигельных индукционных печах выплавляют сталь, чугун, драгоценные металлы, медь, алюминий и магний. Печи изготавливают с емкостью тигля от нескольких килограммов до нескольких сотен тонн. Питание печей осуществляется токами низких, средних и высоких частот. В каналных индукционных печах выплавляют цветные металлы и их сплавы, чугун. Емкость плавильных ванн печей может быть от нескольких сотен килограммов до сотен тонн. Питание печей осуществляется токами промышленной частоты.

Продолжительность плавки в индукционной печи емкостью 1 т составляет около 45 мин.

Индукционные печи применяют для переплава и рафинирования металлов, а также в качестве миксеров (копильников) для хранения и перегрева жидкого металла перед разливкой.

По сравнению с дуговыми печами индукционные печи обладают рядом преимуществ. Отсутствие дуги позволяет выплавлять в индукционных печах металлы с малым содержанием углерода и газов. Возникающие электродинамические силы перемешивают жидкий металл, способствуя выравниванию химического состава и всплыванию неметаллических включений.

Благодаря небольшим размерам индукционные печи помещаются в специальные камеры, где можно создавать любую атмосферу или вакуум. В результате при плавке в индукционных печах получается очень чистая сталь, не содержащая оксидов. Вакуумная плавка дорогостояща и применяется лишь в тех случаях, когда требуется особо прочная и надежная сталь, например для шасси самолетов.

Рафинирование стали.

Для уменьшения концентрации газов в расплавленной стали применяют методы вне-печного рафинирования (очистки от посторонних примесей), а также рафинирующие (очищающие) переплавы. Эти процессы, в результате которых уменьшается концентрация газов и вредных примесей, позволяют повысить прочность и особенно пластичность сталей, ударную вязкость и сопротивляемость усталости.

Выплавленную в кислородных конвертерах, мартеновских или электрических печах сталь подвергают вакуумированию в исходном состоянии. Ее выдерживают в ковше в течение 10-15 мин в специальных вакуумных камерах с остаточным давлением 265-665 Па. При понижении давления растворимость газов в стали (азота, водорода) уменьшается, и они в виде пузырьков всплывают на поверхность, частично захватывая с собой и неметаллические включения. Чем глубже вакуум, т.е. чем больше разрежена атмосфера над жидким металлом, тем меньше остается в нем кислорода, тем чище и лучше сталь.

Из методов внепечного рафинирования стали широкое применение получила также обработка жидкими синтетическими шлаками. Это наиболее простой и дешевый способ очистки стали от примесей. При обработке синтетическим шлаком в разливочный ковш перед выпуском стали из плавильного агрегата наливают предварительно выплавленный в электропечи жидкий шлак, содержащий 55 % CaO, 42 % Al_2O_3 , до 3 % SiO_2 и MgO и не более 1 % FeO. Затем в ковш по возможности с большей высоты мощной струей выпускают сталь. В результате интенсивного перемешивания стали и шлака поверхность их взаимодействия увеличивается в сотни раз по сравнению с той, которая имеется в печи. Поэтому процессы рафинирования резко ускоряются, и для их протекания требуется уже не 1,5-2 часа, как обычно в печи, а примерно столько времени, сколько уходит на выпуск

плавки, т.е. 5-10 мин. Рафинированная сталь отличается низким содержанием кислорода, серы и неметаллических включений, что обеспечивает ей высокую пластичность и ударную вязкость.

Специальная электрометаллургия, которая включает различные виды рафинирующих переплавов заготовки, полученной в обычных сталеплавильных агрегатах (чаще всего в дуговых или индукционных печах) начала интенсивно развиваться примерно в середине 60-х гг.

В результате рафинирующего переплава исходный металл эффективно очищается от неметаллических включений и других нежелательных примесей, повышаются плотность и однородность его структуры, улучшаются свойства стали.

К видам рафинирующих переплавов относятся плавка в дуговых вакуумных печах и в индукционных вакуумных печах, электрошлаковый переплав, электроннолучевая плавка, плазменная плавка.

Электрошлаковый переплав - электрометаллургический процесс, существенно повышающий качество металлов и сплавов, разработан в начале 50-х г. XX в. в институте электросварки им. Е.О. Патона (Украина). Электрошлаковому переплаву (рис. 5) подвергают ранее выплавленный и прокатанный на расходуемые электроды металл.

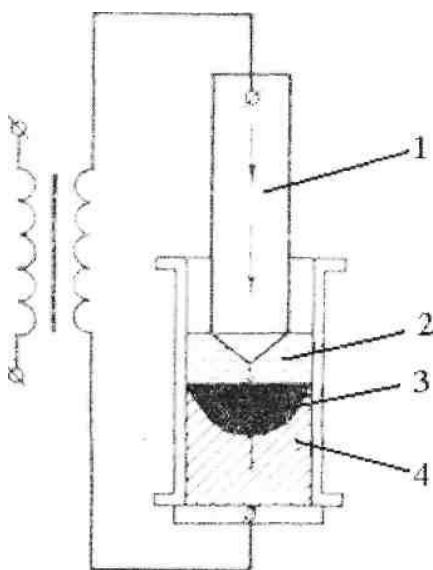


Рис. 5. Установка электрошлакового переплава: 1-расходуемый электрод; 2 - синтетический шлак; 3 - расплавленный металл; 4 – слиток

Электрод опускают в водоохлажденный кристаллизатор со шлаком. К нему и поддону кристаллизатора подводят электрический ток. Выделяющееся в шлаковой ванне тепло вызывает оплавление электрода. Капли жидкого металла, проходя через шлак, образуют под ним

металлическую ванну, при затвердевании которой получается слиток. Перенос капель металла через основной шлак способствует удалению из сплава серы (содержание серы снижается в 2-5 раз), неметаллических включений и газов (в 1,5-2,5 раза). Направленная кристаллизация слитка обеспечивает получение плотного и однородного металла.

Способом электрошлакового переплава получают слитки массой от десятков грамм до 200 тонн практически любой формы, определяемой формой кристаллизатора. Наряду с передельными (для прокатки сортовых профилей, труб и листа) и кузнечными (дляковки, прессования и штамповки) слитками производят фасонные отливки (коленчатые валы, корпуса запорной арматуры, сосуда давления, зубчатые колеса и др.).

Вакуумно-дуговой переплав применяют для удаления из металла газов и неметаллических включений. Этот процесс осуществляется в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом. При подаче напряжения между электродом и затравкой, находящейся в охлаждаемой водой медной изложнице, возникает дуга, которая расплавляет металл. Капли его, проходя через зону дугового разряда, дегазируются, заполняют изложницу и, кристаллизуясь, образуют слиток массой до 50 т. Слитки содержат мало газов и неметаллических включений и имеют повышенные характеристики механических свойств.

Разливка стали

Полученную в сталеплавильном агрегате сталь выпускают в сталеразливочный ковш, а затем либо разливают в металлические формы - изложницы, либо направляют на установки непрерывной разливки стали; лишь около 3-5 % всей производимой стали идет на фасонное литье. В результате затвердевания металла получают стальные слитки или заготовки, которые в дальнейшем подвергают обработке давлением (прокатке, ковке).

Изложницы представляют собой чугунные (реже стальные) толстостенные формы для получения слитков. Поперечное сечение изложницы выбирают в зависимости от последующей обработки давлением получаемого слитка. Для сортовой прокатки удобнее использовать слитки квадратного сечения, для листовой - слитки прямоугольного сечения, дляковки - слитки многогранного или круглого сечений. Наиболее часто масса слитков составляет от 1-1,5 до 10-12 т.

Существует два способа разливки стали в изложницы - разливка сверху и разливка сифоном (рис. 6).

Для изготовления слитков большой массы сталь обычно заливают сверху. При разливке сверху каждую изложницу заполняют отдельно. При такой разливке поверхность слитков вследствие попадания брызг жидкого металла на стенки изложницы может быть загрязнена корочками (каплями затвердевшего металла) и пленками оксидов. Преимущества разливки сверху - более простое разливочное оборудование, меньшая стоимость, отсутствие потерь металла на литники. Недостатки - большая длительность, менее качественная поверхность (наличие плен оксидов от брызг металла,

затвердевающих на стенках изложницы). Для уменьшения разбрызгивания струи применяют промежуточные ковши или воронки.

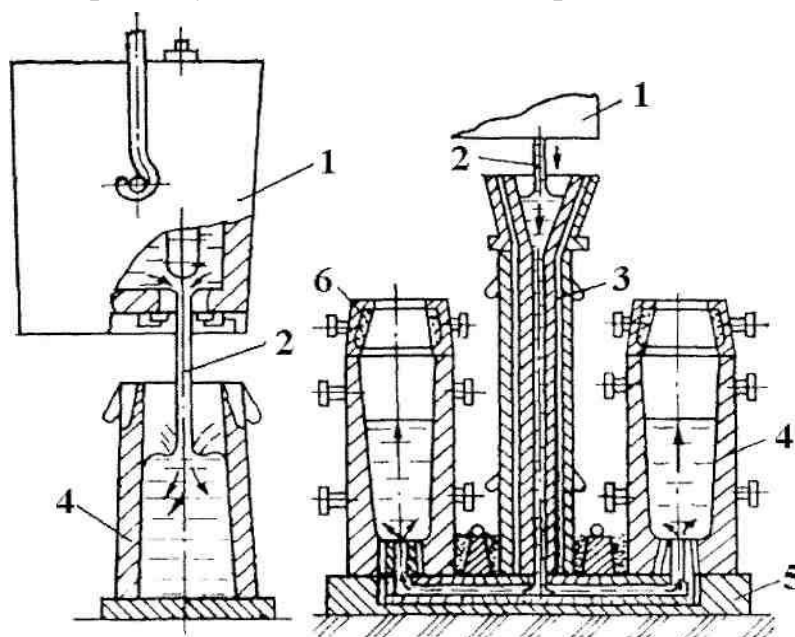


Рис. 6. Разливка стали в изложницы: а - сверху; б - сифоном: 1 - ковш; 2- металл; 3 - центральной литник; 4 - изложницы; 5 - поддон; 6 - надставка для утепления прибыли

При разливке сифоном сталь из ковша поступает в центральной литник, протекает по каналам и снизу поступает в изложницы, установленные на чугунном поддоне. В этом случае сталь поступает в изложницы снизу, что обеспечивает плавное, без разбрызгивания их заполнение. Поверхность слитка получается чистой, сокращается время разливки. Но при этом способе разливки получается удлиненная усадочная раковина вследствие того, что последние порции горячего металла поступают снизу.

При разливке сифоном производительность значительно выше, поверхность слитка более чистая. Недостатки сифонной разливки - сложность сборки поддонов и центральных литников, потери металла на литники, возможность загрязнения стали неметаллическими включениями при протекании по центральному литнику и литниковым каналам.

Непрерывная разливка стали производится на установках непрерывной разливки стали (рис. 7).

При непрерывной разливке жидкую сталь из ковша через промежуточное устройство непрерывно заливают сверху в водоохлаждаемую сквозную изложницу-кристаллизатор. Стенки кристаллизатора, изготовляемого обычно из меди, интенсивно охлаждаются водой, циркулирующей по имеющимся в них каналам.

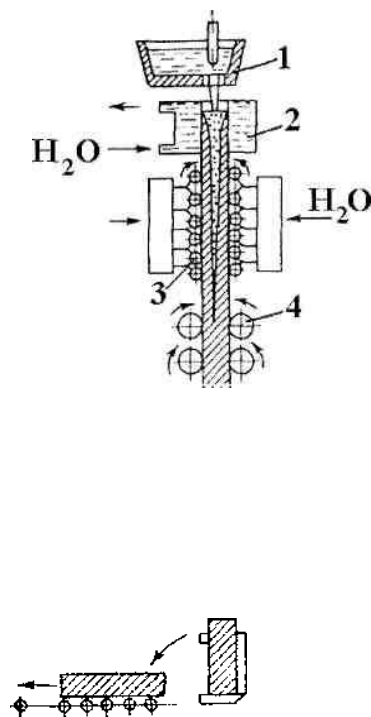


Рис. 7. Схема установки непрерывной разливки стали: 1 - ковш; 2 - водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 - зона охлаждения; 4 - тянущие валки; 5 - резак; 6 - кантователь для укладки слитков на тележку

В начале процесса в кристаллизатор вводится временное дно - так называемая затравка. Металл затвердевает у стенок кристаллизатора и затравки, и затвердевающий слиток с помощью валков со скоростью 1-2,5 м/мин начинает извлекаться из кристаллизатора.

Выходящая из кристаллизатора заготовка с жидкой сердцевиной попадает в зону вторичного охлаждения, где на ее поверхность подается из форсунок распыленная вода. После прохождения тяговых роликов затравку отделяют. В нижней части установки непрерывный слиток разрезается на заготовки мерной длины.

Благодаря непрерывному питанию и направленному затвердеванию в слитках, полученных на машинах непрерывной разливки стали, отсутствуют усадочные раковины. Поэтому выход годных заготовок может достигать 96-98 % массы разливаемой стали, поверхность получаемых слитков отличается хорошим качеством, а металл слитка - плотным и однородным строением. Большая степень химической однородности заготовок обеспечивает стабильные механические свойства и повышает надежность работы металлоизделий. Установки непрерывной разливки стали избавляют предприятие от необходимости содержать блюминги и слябинги и дают возможность существенно экономить на потерях металла.

На установках непрерывной разливки отливают заготовки квадратного сечения (размерами от 50x50 до 300x300 мм), плоские слябы (толщиной от 50 до 300 мм и шириной от 300 до 2000 мм), круглые заготовки (диаметром от 100 до 550 мм), из которых получают трубы, сортовой и листовой прокат, поковки.

В среднем в мире свыше 75 % всей производимой стали разливается на установках непрерывной разливки, причем в таких странах, как Япония, Франция, Италия, Испания, США, Великобритания, Южная Корея, непрерывным способом производится свыше 90 % стали. В то же время в Китае этот показатель менее 50 %, в России - чуть более 40 %, на Украине - 13,5 %, в Польше - около 13 %.

Существенным недостатком вертикальных установок является их большая высота - до 45 метров. Поэтому в последние годы все более широко применяют установки радиального типа. Общая высота таких установок, как правило, не превышает 12 метров.

Наибольшая производительность установок непрерывной разливки обеспечивается при их работе в сочетании с кислородными конвертерами.

Перспективны агрегаты, в которых непрерывная разливка стали совмещается с непрерывной прокаткой в едином потоке. При этом снижаются затраты энергии, повышается качество слитка и выход годного, сокращается цикл производственных операций от выплавки стали до получения готового проката.

3. Контрольные вопросы

1. Какие основные технологические процессы включает в себя сталеплавильное производство?
2. Что является сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь?
3. Перечислите основные материалы, применяемые при получении стали.
4. Охарактеризуйте основные этапы выплавки стали.
5. Какие элементы используют в качестве раскислителей?
6. Перечислите и охарактеризуйте основные способы раскисления стали.
7. Какие выплавляют стали по степени раскисления и чем они отличаются друг от друга?
8. В чем заключается сущность производства сталей в кислородно-конвертерных, мартеновских и электроплавильных печах?
9. Перечислите отличительные особенности различных способов производства сталей?
10. Как получают стали особо высококачественные?
11. Что представляет собой внепечное рафинирование?
12. Что представляет собой электрошлаковый переплав?
13. Какие способы разливки стали применяют в настоящее время?
14. Назовите основные достоинства и недостатки разливки сверху и разливки сифоном.

Лабораторная работа № 8.

Тема: «Выбор электродов для ручной дуговой сварки. Ручная дуговая сварка»

Цель: Изучить конструкцию электродов; Ознакомиться с видами электродов для РДС; Изучить маркировку электродов; Изучить показатели эффективности использования электродов; Научиться определять расход электродов; Ознакомиться с элементами техники сварки.

Знать:

- строения металлов, диффузионных процессов в металле, формирования структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластической деформации; строения конструкционных металлов и сплавов; механические свойства металлов и сплавов;
- теорию и технологию термической обработки стали; пластмасс;
- современные способы получения конструкционных материалов;
- влияния нагрева на структуру и свойства деформированного металла;

Уметь:

- выполнять работы в области научно-технической деятельности по проектированию для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- применять методы проведения комплексного технико-экономического анализа в машиностроении для обоснованного принятия решений в случае возникновения проблем при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
- применять на практике фундаментальные знания и технологические навыки при обработке стали и сплавов
- проводить расчет и анализ при возникновении технических и технологических проблем с целью их решения при эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

2. Теоретическая часть

1. Предмет и содержание работы

1.1. Общие сведения об электродах для РДС

Электроды для РДС бывают:

Неплавящиеся электроды для РДС служат для возбуждения и поддержания горения дуги. В качестве электродов для сварки используют:

-вольфрамовые электроды: вольфрамовые прутки диаметром от 0,2 до 12 мм;

-угольные электроды: угольные стержни диаметром от 4 до 18 мм и длиной от 250 до 700 мм;

-графитовые электроды: графитовые стержни диаметром от 4 до 18 мм и длиной от 250 до 700 мм.

Плавящиеся электроды для РДС представляют собой стержни длиной от 250 до 450 мм из сварочной проволоки или литые прутки: чугунные, латунные, силуминовые. Стальная сварочная проволока, предназначенная для всех видов сварки плавлением и изготовлением электродов, выпускается по ГОСТ 2246-70 различных марок, химического состава и диаметров от 0,3 до 12 мм.

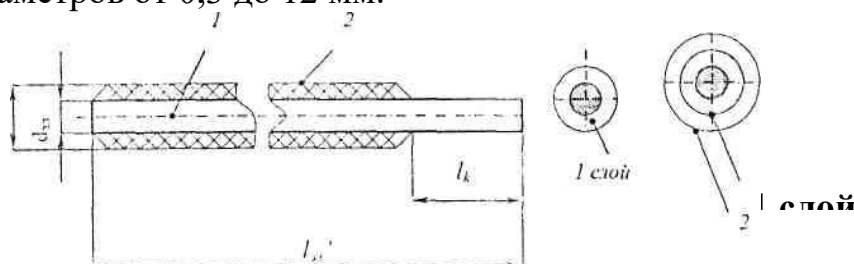


Рис.1 Сварочный электрод
1 – электродный стержень, 2 – покрытие

Например. Св – 08А - марка проволоки из низкоуглеродистой стали:

Св - сварочная;

Цифра - содержание углерода в сотых долях процента: 0,08% С;

А - высококачественная: S и P $\leq$ 0,025 %;

На сварочную проволоку, из которой изготовлены электроды, нанесен слой покрытия (обмазка) толщиной 0,5...2 мм на сторону.

В покрытие входят вещества:

- Ионизирующие: имеют низкий потенциал ионизации. Например, калий, натрий, кальций - что повышает устойчивость горения дуги;

- Газообразующие: при сгорании создают газовую защиту. Например, крахмал, целлюлоза - и предохраняют расплавленный металл от вредного воздействия кислорода и азота воздуха;

- Шлакообразующие: защищают расплавленный металл от кислорода и азота

воздуха и частично рафинируют (очищают) его. Они образуют шлаковые оболочки вокруг каплей электродного металла, проходящих через дуговой промежуток, и шлаковый покров на поверхности шва, защищая разогретый металл от действия воздуха. Шлаковый покров на поверхности шва уменьшает

скорость охлаждения металла, и шов получается более качественным, т.к. при

медленном затвердевании металла растворенные в нем газы успевают удалиться

полностью. Шлакообразующие вещества составляют основу покрытия. К

ним

относят марганцевую руду, полевопшпат, гранит, мел и др.;

- Раскисляющие: необходимы для раскисления расплавленного металла сварочной ванны. Например, марганец, кремний, титан, алюминий. Большинство раскислителей вводятся в электродное покрытие в виде ферросплавов;
- Легирующие: для получения шва заданного химического состава и механических свойств. Например, марганец, хром, титан, ванадий, молибден, никель, вольфрам;
- Связующие: используют для соединения элементов покрытия между собой и со стержнем электрода. Например, жидкое стекло.

Для повышения производительности труда при сварке в покрытие добавляют железный порошок до 60% массы покрытия.

Электродное покрытие обеспечивает следующие функции:

1. Стабильное горение дуги за счет присутствия в покрытии легко ионизируемых химических элементов с низким потенциалом ионизации;
2. Защиту металла сварочной ванны за счет создания газовой атмосферы, отесняющей воздух, и образованием шлака на поверхности сварочной ванны и капель металла;
3. Раскисление металла сварочной ванны;
4. Легирование металла шва.

1.2. Классификация электродов для РДС

Электроды для ручной дуговой сварки классифицируются по назначению (для сварки стали, чугуна, алюминия и т.п.), по виду покрытия, по физико-химическим и механическим свойствам (ГОСТ 9466 - 75).

По назначению:

У - для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа (60 кгс/мм²);

Д - для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа (60 кгс/мм²);

Т - для сварки легированных теплоустойчивых сталей;

В - для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

Н - для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами;

По толщине покрытия, которое характеризуется соотношением $D/d_{эл}$:

- тонкое - М : $D/d_{эл} = 1,2$;

- среднее - С : $D/d_{эл} = 1,4$;

- толстое - Д : $D/d_{эл} = 1,6$;

- особо толстое - Г : $D/d_{эл} = 1,8$.

По качеству изготовления, состоянию поверхности покрытия, прочности металла шва, содержанию серы и фосфора делится на группы: 1, 2, 3; Качество растет с увеличением номера.

По видам покрытия:

- кислое -А;
- основное - Б\
- целлюлозное - Ц;
- рутиловос – Р;
- смешанное - РБ. БР;
- прочес - П;
- с железным порошком > 20% - Ж.

По допустимым пространственным положениям сварки:

- для всех положений — 1;
- для всех положений, кроме вертикального сверху вниз - 2;
- для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх- 3;
- для нижнего и нижнего «в лодочку» - 4.

По выбору напряжения холостого хода и полярности (Таблица I):

Таблица 1

Обозначения	Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В	
		номинальное	Предельные отклонения
/	2	3	4
0	обратная	-	-
1	любая	50	±5
2	прямая		
3	обратная		
4	любая	70	±10
5	прямая		
6	обратная		
7	любая	90	±5
8	прямая		
9	обратная		

По ГОСТ 9467 - 75, ГОСТ 10051 - 75 и ГОСТ 10052 - 75 электроды для сварки и наплавки подразделяются по назначению на типы и марки (таблица 2).

Таблица 2

Тип электрода	Характер покрытия	Марка электрода	Марка сварочной проволоки	Ток и полярность
1	2	3	4	5
Э42	кислое	СМ-5, ОММ-5, УИЛ-1	Св – 08 Св – 08А	постоянный и переменный
	рутиловое	АНО-1, АНО-5, АНО-6		
	основное	УОНИ-13/45, СМ-11, УП-2/45		
	целлюлозное	ОМА-2, ВСП-1, ВСЦ-2		
Э46	рутиловое	АНО-3, АНО-4, МР-1, МР-3, ОЗС-4, ВСН-3		постоянный и переменный
Э46А	основное	Э138/45		постоянный
Э50	основное	ВСН-3, ВСЦ-3		постоянный
Э50А	основное	УОНИ-13/55		постоянный
		УП1/55, УП2/55, Э138/50Н		постоянный и переменный
Э55	основное	УОНИ-13/55У		постоянный
Э50А	основное	УОНИ-13/65		постоянный

Таблица 3

Типы электродов для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Группа сталей	Марка стали	Тип электродов	Дополнительные технологические требования
1	2	3	4
I	Ст.1, Ст.2, Ст.3, 15Л, 20Л, 20ФЛ	Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А	не предъявляются
	08, 10, 15, 20		
	09Г2, 09Г2Д, 10Г2Б		
	09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С	Э42А, Э46А, Э50А	не предъявляются
	10ХСНД, 10ХНДП		
	12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Г8Н2Т, 10Х17Н13М2Т		
	Ст.4	Э42А, Э46А, Э50А	Предварительный подогрев до 200-300°С
	25, 30		
	25Л, 20ГЛ, 20ГФЛ		
	18ХГТ		
	Ст.5	Э6А, Э50А	Предварительный подогрев до 200-300°С с
	35, 40, 45		

			последующей термообработкой
	55C2, 60C2	Э50А	Предварительный подогрев до 200- 300°С с посл.то.
	38ХС		

Маркировка электродов РДС

Например,

Э46Л - УОНИ - 13 / 45 - 3.0 - УД 2
 _____ ГОСТ 9466 – 75 или ГОСТ 9467
 - 75
 Е432(5) – Б10

где: Э – электроды для дуговой сварки;

46- минимальное гарантируемое временное сопротивление разрыву, кгс/мм²

А – улучшенный тип электрода;

УОНИ 13/45 - марка;

3,0 - диаметр стержня, мм;

У – для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Д- с толстым покрытием;

2 - вторая группа по качеству;

432(5) - характеристики наплавленного металла и металла шва;

Б-основной вид покрытия;

1- для сварки и наплавки во всех пространственных положениях;

0 - постоянный ток обратной полярности.

1.4. Показатели эффективности использования электродов.

К показателям эффективности использования электродов относят:

1) коэффициент расплавления, показывающий количество металла электродного стержня, которое может быть расплавлено за единицу времени при силе тока, равной одному амперу:

$$\alpha_p = G_p / I t_{гд}$$

где: α_p – коэффициент расплавления,

G_p -масса расплавленного металла, г;

I - сила тока дуги, А;

$t_{гд}$ – время в течение которого масса металла G расплавлялась дугой, ч

Коэффициент расплавления в значительной степени зависит от покрытия электрода, т.е. его марки.

2) коэффициент наплавки, характеризующийся массой металла шва, полученной в сварном шве за единицу времени при силе тока в один ампер:

$$\alpha_n = G_n / I t_{гд}$$

где: α_n – коэффициент наплавления,

G_n – масса металла в сварочном шве (наплавленного), г;

I – сила тока дуги, А;

$t_{гд}$ – время горения дуги, ч

$$G_n = F_{шв} \cdot l_{шв} \cdot \rho_{мет},$$

где: $F_{шв}$ – площадь поперечного сечения шва, мм²;

$l_{шв}$ – длина сварочного шва, мм;

$\rho_{мет} = 0,00785$ г/мм², плотность металла;

Значение коэффициента наплавки для большего числа марок электродов

$\alpha_n = 8 \dots 10$ г/А.ч.

3) Коэффициент потерь металла на угар, разбрызгивание и испарение

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100\%,$$

Обычно коэффициент потерь $\psi = 5 \dots 15\%$.

1.5. Определение расхода электродов.

Расход электродов определяется по массе наплавляемого металла и коэффициенту расхода.

Стандартом ГОСТ 9466 – 60 установлены размеры длины электродов в зависимости от их диаметра. В качестве рекомендуемых можно использовать размеры в таблице 4.

Таблица 4

Диаметр электрода, $d_{эл}$, мм	1,6; 2,0	2,5; 3,0	4,0	50 – 12,0
Длина электрода, $l_{эл}$, мм	225 или 250	350	400 или 450	450

При сварке используется не вся длина электрода $l_{эл}$, около 30 мм уходит на зажим в электродержателе и выбрасывается в виде «огарка».

Поэтому используемая длина $l_{эл.исп} = l_{эл.таб.} - 30 \text{ мм}$.

Расплавленная масса одного электрода q_p , г:

$$q_p = \frac{\pi d_{эл}^2}{4} l_{эл.исп} \cdot \rho_{мет}.$$

С учетом потерь на разбрызгивание, угар и испарение масса металла переходящего в наплавку $q_{исп}$, г:

$$q_{исп} = q_p (1 - \psi).$$

Количество электродов, необходимое для выполнения сварочных работ:

$$n = \frac{G_H}{q_{исп}}, \text{шт.}$$

Полученное значение округляется до ближайшего целого числа, которое и представляет собой количество расходуемых электродов на заданный сварочный процесс.

Если первый слой шва выполняется электродами меньшего диаметра, чем последующие слои, то рассчитывается число электродов на первый слой, а затем на последующие. Во всех случаях расчет следует выполнять раздельно по типоразмерам электродов.

2. Оборудование, инструмент, принадлежности, образцы.

При выполнении работы используется сварочный пост, оборудованный:

- выпрямителями ВД306СЭ, ВД306Б – 02;
- трансформаторами ТС – 250, ТС – 300;
- электродержателями ГОСТ 14651 – 78;
- электроды;
- образец для сварки.

3. Порядок выполнения работы.

- 3.1. Изучить конструкцию электродов;
- 3.2. Ознакомиться с видами электродов;
- 3.3. Изучить маркировку электродов;
- 3.4. Выполнить расчет показателей эффективности использования электродов, в соответствии с индивидуальным заданием;
- 3.5. Определить расход электродов, в соответствии с индивидуальным заданием;
- 3.6. ознакомиться с элементами техники сварки.

3. Контрольные вопросы

1. По какому принципу классифицируются методы сварки?
2. Что понимают под свариваемостью материалов?
3. С какой целью защищают дугу и расплавленный металл сварочной ванны?
4. Что такое эффективная тепловая мощность дуги и что характеризует КПД сварочной дуги?
5. Какие факторы учитывают при выборе режима сварки для данной марки электрода?
6. Какие параметры источников теплоты наиболее полно определяют их технологические возможности для сварки?
7. Как реализуется защита расплавленного металла в зависимости от вида сварки плавлением?
8. Перечислите причины, вызывающие напряжения и деформации при сварке.
9. Назовите способы исправления деформированных деталей.
10. Что является причиной образования пор в сварных швах?

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы

1. Груздев, В. С. Материаловедение : учебник / В.С. Груздев, И.А. Синявский. - М. : Академия, 2018. - 272 с. - (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 262. - ISBN 978-5-4468-6084-5
2. Моисеев, О.Н. Практикум по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» : в 2 ч. : [16+] / О.Н. Моисеев, Л.Ю. Шевырев, П.А. Иванов ; под общ. ред. О.Н. Моисеева. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. – Ч. 1. Материаловедение. – 150 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=566845> (дата обращения: 16.10.2019). – ISBN 978-5-4499-0366-2. – DOI 10.23681/566845. – Текст : электронный

Перечень дополнительной литературы:

1. Адаскин, А. М. Материаловедение (металлообработка) : учебник / А.М. Адаскин, В.М. Зуев. - 11-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 288 с. - (Профессиональное образование). - Библиогр.: с. 283. - ISBN 978-5-4468-1362-9
2. Чумаченко, Ю. Т. Материаловедение для автомехаников : учеб.пособие / Ю.Т. Чумаченко, Г.В. Чумаченко, А.И. Герасименко. - 2-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2003. - 440 с. : ил. - (НПО). - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр.: с. 475. - ISBN 5-222-03178-0

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line»
3. Электронно-библиотечная система Лань

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации самостоятельной работы
по дисциплине «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ»
для студентов направления подготовки
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение	26
1.Общая характеристика самостоятельной работы студента.....	27
2. План - график выполнения самостоятельной работы.....	28
3.Методические рекомендации по изучению теоретического материала	28
3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы.....	28
3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным занятиям	29
4. Методические указания	29
5.Методические указания по подготовке к экзамену.....	29
Список рекомендуемой литературы	30

Введение

Методические указания и задания для выполнения самостоятельной работы студентами по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» по направлению подготовки бакалавров: 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Методическое пособие содержит весь необходимый материал для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

В данном методическом пособии приведены темы и вопросы для самостоятельного изучения.

1.Общая характеристика самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый учащимся без непосредственного контакта с преподавателем или управляемый преподавателем опосредовано через специальные учебные материалы; неотъемлемое обязательное звено процесса обучения, предусматривающее прежде всего индивидуальную работу учащихся в соответствии с установкой преподавателя или учебника, программы обучения.

На современном этапе самостоятельную работу студента следует разделить на работу с бумажными источниками информации, т.е. учебниками, методическими пособиями, монографиями, журналами и т.д. и электронными источниками информации, т.е. доступ к электронным ресурсам через Интернет.

Сегодня самостоятельную работу студента невозможно представить без использования информационной сети – Интернет. Необходимость использования Интернета возникает не только при подготовке к практическим и семинарским занятиям, но, в большей степени, при написании различных исследовательских и творческих работ. Многие современные монографии, периодические журналы изданы только в электронном виде и с ними можно познакомиться только в Интернете.

Цели и задачи самостоятельной работы: формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Наименование компетенции		
Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ИД-1 _{ОПК-1} Основы естественнонаучных и инженерных наук, методов математического анализа и моделирования.	Готовность к контролю технического состояния транспортных средств с использованием средств технического диагностирования
	ИД-2 _{ОПК-1} Применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.	Готовность к организации и контролю качества и безопасности процессов сервиса, параметров технологических процессов с учетом требований потребителя

	ИД-3опк-1 Навыком применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.	Способен адаптировать и модифицировать специализированное программное обеспечение, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности
--	---	---

2. План - график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
3 семестр					
ОПК-1 (ИД-1; ИД-2; ИД-3)	Самостоятельное изучение литературы по темам № 1-9	Собеседование	109,38	11,82	121,2
ОПК-1 (ИД-1; ИД-2; ИД-3)	Подготовка к лабораторным занятиям	Отчёт (письменный)	1,62	0,18	1,8
Итого за 3 семестр			111	12	123
Итого			111	12	123

3. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

3.1. Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы

Изучать учебную дисциплину «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них в программе дисциплины. При теоретическом изучении дисциплины студент должен пользоваться соответствующей литературой. Примерный перечень литературы приведен в рабочей программе

Для более полного освоения учебного материала студентам читаются лекции по важнейшим разделам и темам учебной дисциплины. На лекциях излагаются и детально рассматриваются наиболее важные вопросы, составляющие теоретический и практический фундамент дисциплины.

Итоговый продукт: конспект лекций

Средства и технологии оценки: Собеседование

Критерии оценивания: Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены практические задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине.

Темы для самостоятельного изучения:

1. Основные способы обработки металлов. Строение, свойства и структура металлических сплавов.
2. Железо и его сплавы. Технология и термическая обработка стали.
3. Промышленные стали и сплавы. Стали и сплавы со специальными свойствами. Цветные металлы и сплавы.
4. Керамические материалы. Композитные материалы.
5. Порошковые материалы.
6. Общая характеристика, состав и строение полимеров, пластических масс, резин.
7. Клеящие материалы. Лакокрасочные материалы.
8. Классификация и виды износа. Смазочные материалы. Износостойкие стали.
9. Металлокерамические твердые сплавы. Антифрикционные материалы. Наноструктурные покрытия.

3.2. Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным занятиям

Итоговый продукт: отчет по лабораторной работе

Средства и технологии оценки: защита отчета

Критерии оценивания: Оценка «отлично» выставляется студенту, если в полном объеме изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если достаточно полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, недостаточно, если полно изучен курс данной дисциплины и выполнены лабораторные задания

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если отсутствуют знания и практические навыки по данной дисциплине

4. Методические указания

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», направления подготовки 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

5. Методические указания по подготовке к экзамену

Процедура проведения экзамена осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ.

В экзаменационный билет включаются три вопроса (один вопрос для проверки знаний и два вопроса для проверки умений и навыков студента).

Для подготовки по билету отводится 30 минут.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочными таблицами

При проверке лабораторного задания, оцениваются:

- знание параметра;
- последовательность и рациональность выполнения.

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы

1. Груздев, В. С. Материаловедение : учебник / В.С. Груздев, И.А. Синявский. - М. : Академия, 2018. - 272 с. - (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 262. - ISBN 978-5-4468-6084-5
2. Моисеев, О.Н. Практикум по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» : в 2 ч. : [16+] / О.Н. Моисеев, Л.Ю. Шевырев, П.А. Иванов ; под общ. ред. О.Н. Моисеева. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. – Ч. 1. Материаловедение. – 150 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=566845> (дата обращения: 16.10.2019). – ISBN 978-5-4499-0366-2. – DOI 10.23681/566845. – Текст : электронный

Перечень дополнительной литературы:

1. Адаскин, А. М. Материаловедение (металлообработка) : учебник / А.М. Адаскин, В.М. Зуев. - 11-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 288 с. - (Профессиональное образование). - Библиогр.: с. 283. - ISBN 978-5-4468-1362-9
2. Чумаченко, Ю. Т. Материаловедение для автомехаников : учеб.пособие / Ю.Т. Чумаченко, Г.В. Чумаченко, А.И. Герасименко. - 2-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2003. - 440 с. : ил. - (НПО). - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр.: с. 475. - ISBN 5-222-03178-0

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line»
3. Электронно-библиотечная система Лань