

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине
«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТКМ»

для студентов специальности 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии
специализации «Технология бурения нефтяных и газовых скважин»

Ставрополь, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа 1. Макро- и микроанализ металлов и сплавов	7
Лабораторная работа 2. Определение твердости стали и сварных швов....	32
Лабораторная работа 3. Структура и свойства сталей и чугунов в равновесном состоянии.....	43
Лабораторная работа 4. Термическая обработка сталей.....	65
Лабораторная работа 5. Исследование характеристик электросварочных аппаратов.....	78
Лабораторная работа 6. Определение режимов и технологических коэффициентов при ручной электродуговой сварке.....	85
Лабораторная работа 7. Исследование литейных свойств и определение коэффициентов усадки.....	90
Лабораторная работа 8. Исследование влияния температуры нагрева металла на усилие деформации.....	99
Лабораторная работа 9. Изучение методов и режимов резания при обработке на токарном и сверлильном станках.....	104
Список литературы.....	121

Введение

Материаловедение и технология конструкционных материалов относятся к числу основополагающих учебных дисциплин для специальностей нефтегазового профиля. Это связано прежде всего с тем, что получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современного производства и во многом определяют уровнем своего развития научно-технический и экономический потенциал государства. Проектирование рациональных, конкурентоспособных изделий, организация их производства невозможны без должного технологического обеспечения и достаточного уровня знаний в области материаловедения и технологии. Последние являются важнейшим показателем образованности инженера в области техники.

Материаловедение и ТКМ располагает многими методами изучения физико-химических основ строения и свойств конструкционных металлических и неметаллических материалов; методами определения механических свойств материалов при различных видах нагружения, основами термической обработки и поверхностного упрочнения деталей.

Технический прогресс, решение задач требуют от специалистов, работающих в нефтегазовой промышленности, определенных знаний в области материаловедения и технологии конструкционных материалов, умения рационально использовать обширную номенклатуру материалов и методы их обработки для достижения необходимых эксплуатационных свойств изделий.

При изготовлении изделий и испытаниях машин на производстве постоянно проводится текущий контроль качества материалов. С этой целью используется ряд методов, к числу которых, прежде всего, относятся макро- и микроструктурные методы анализа.

Настоящий лабораторный практикум состоит из 9 лабораторных работ, задач по выбору материалов и методов упрочняющей обработки деталей

машин и инструмента, методов и способов получения из этих материалов заготовок и готовых деталей.

Дисциплина «Материаловедение и ТКМ» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Задачи дисциплины:

- знакомство с физической сущностью явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации;
- изучение теории и практики различных способов упрочнения материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин, инструментов и других изделий;
- изучение основных групп металлических и неметаллических материалов, их свойств и области применения;
- изучение современных технологических методов формообразования заготовок и деталей машин: литьем, давлением, сваркой, резанием и другими методами;
- изучение принципиальных схем работы технологического оборудования (станков, машин, автоматов и т.д.) инструментов, приспособлений и оснастки, их назначение и применение;
- практическое ознакомление и выполнение отдельных методов изготовления заготовок и деталей с применением соответствующего оборудования.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен освоить следующие компетенции:

УК-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни.

ИД-2_{УК-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных

возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Лабораторная работа 1

Макро- и микроанализ металлов и сплавов

Цель работы

Ознакомление с методикой проведения макроструктурного анализа.

Получение практических навыков изготовления макрошлифов, изучения поверхностей деталей, изломов, макрошлифов, выявления макродефектов, неоднородности, причин разрушения металла. Приобретение навыков зарисовки макроструктур.

Ознакомление с процессом приготовления микрошлифов. Изучение устройства металлографического микроскопа и приобретение практических навыков работы на нем. Проведение микроанализа сплавов и приобретение навыков зарисовки простейших микроструктур.

Формируемые компетенции

ИД-2_{ук-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Макроскопический анализ (макроанализ) металлов и сплавов заключается в исследовании их строения невооруженным глазом или при помощи небольших увеличений (до 30 раз). Макроанализ позволяет оценить качество материала, выявить наличие в нем макродефектов, характер его предшествующей обработки (литье, обработка давлением, резание, сварка, наплавка, термическая и химико-термическая обработка и др.), структурную и химическую неоднородность, волокнистость, причины и, характер разрушения. Структура материалов, наблюдаемая невооруженным глазом или при

небольших увеличениях, называется макроструктурой. Ее можно зафиксировать фотоснимком или рисунком.

С помощью макроанализа можно дать общую оценку состояния больших поверхностей материала или детали в целом и выбрать небольшие наиболее важные и типичные участки для дальнейшего углубленного изучения. Макроанализ проводят путем изучения изломов, макрошлифов или внешних поверхностей заготовок и деталей.

Наружные, или поверхностные, макродефекты, расположенные непосредственно на поверхности изделий, позволяет выявить исследование поверхностей этих изделий. Если изделия литые, т. е. получены методом литья, то на их поверхности наиболее часто встречаются следующие дефекты:

1) *пригар*, представляющий собой трудноотделимую корку, состоящую из смеси металла, формовочного песка и шлака;

2) *усадочные пустоты* (раковины, рыхлости, пористость), образующиеся в результате усадки металла (уменьшение объема) при его затвердевании;

3) *газовые раковины* (пузыри), возникающие в кристаллизующемся металле чаще всего из-за его большой газонасыщенности;

4) *ужимины*, создающиеся вследствие частичного отслоения внутренних поверхностных слоев песчаной формы, что приводит к образованию в твердом металле полостей, заполненных формовочным материалом;

5) *трещины*, появляющиеся как результат высоких напряжений в отливках из-за сопротивления формы их усадке, а также неодинаковых скоростей охлаждения различных частей литой заготовки;

6) *неметаллические включения*, которые по происхождению разделяются на эндогенные и экзогенные. Эндогенные образуются в результате взаимодействия компонентов сплава, например железа, с растворенными в нем кислородом, серой, азотом; экзогенные – шлаковые включения и засоры от разрушающихся стенок формы.

В термически обработанном металле чаще всего обнаруживаются *обезуглероживание* и *закалочные трещины*. Обезуглероживание

поверхностных слоев стальных изделий является результатом окислительного действия печной газовой среды. На поверхности изделий возникают участки с пониженной твердостью – мягкие пятна. Закалочные трещины имеют зигзагообразный характер, часто образуют сетку. Края закалочных трещин, в отличие от трещин горячедеформированного металла, не обезуглероживаются, поскольку такие трещины образуются в процессе закалки при охлаждении изделий до температур ниже 100°C или после полного охлаждения.

В сварных изделиях основными дефектами являются трещины, как результат высоких напряжений, и *непровар*. Непровар – местное отсутствие соединения основного металла и наплавленного. Этот дефект возникает при загрязнении свариваемых поверхностей или недостаточном разогреве основного металла. Возможен также пережог из-за высокой температуры нагрева металла в процессе сварки. Он образуется при нарушении режима тепловой обработки (высокая температура нагрева в кислородсодержащей среде), вызывающем интенсивное окисление металла вдоль границ зерен. Это сильно охрупчивает металл. Дефект неисправим.

Внутренние дефекты, которые могут привести к разрушению изделия, выявляются при изучении изломов.

Изломом называется поверхность, образующаяся вследствие разрушения металла. Изломы металлов могут существенно отличаться по цвету. Так, стали и белые чугуны, в которых весь углерод связан в цементите, имеют излом светло-серого цвета. У графитизированных сталей и чугунов, в которых углерод находится преимущественно в виде графита, излом черного цвета.

На поверхности изломов можно видеть дефекты, которые способствовали разрушению. В зависимости от состава, строения металла, наличия дефектов, условий обработки и эксплуатации изделий изломы могут иметь вязкий, хрупкий или усталостный характер.

Вязкий (волокнистый) излом, (рисунок 1.1 а) имеет бугристосглаженный рельеф и свидетельствует о значительной пластической деформации,

предшествующей разрушению. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла.

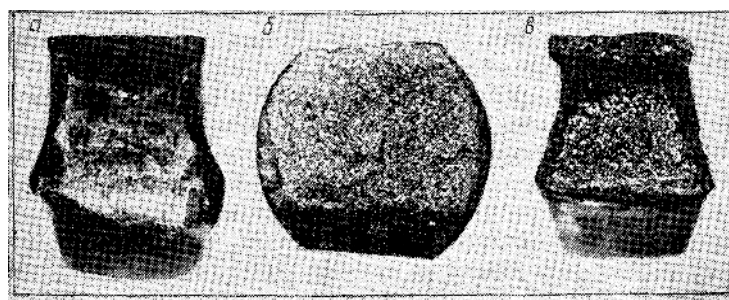


Рисунок 1. Изломы стали: *а* – вязкий; *б* – хрупкий; *в* – смешанный. X 2,5

Хрупкий (кристаллический) излом (рисунок 1 *б*) характеризуется наличием на поверхности плоских блестящих участков (фасеток). Так как разрушение протекает без заметной пластической деформации и форма зерна не искажается, то на хрупком изломе видны исходные форма и размер зерен металла. При этом разрушение может происходить через зерна (транскристаллический излом) либо по границам зерен (интеркристаллический, или межкристаллический, излом). Разрушение по границам зерен имеет место при наличии на границах неметаллических включений (фосфиды, сульфиды, оксиды) или других выделений, ослабляющих прочность границ зерна.

Хрупкое разрушение наиболее опасно, так как происходит чаще всего при напряжениях ниже предела текучести материала. Его возникновению способствуют наличие поверхностных дефектов, конструктивные просчеты (резкое изменение сечения, толстостенность деталей), низкая температура и ударные нагрузки при работе, крупнозернистость металла, выделения по границам зерен хрупких фаз, межзеренная коррозия. Разновидностями хрупкого излома являются нафталинистый, камневидный, фарфоровидный и др.

Нафталинистый излом – транскристаллический с крупным зерном и избирательным блеском, подобным блеску кристаллов нафталина. Он свидетельствует о повышенной хрупкости стали и наблюдается в легированных, преимущественно быстрорежущих сталях. Причиной возникновения такого излома является перегрев стали, вызывающий укрупнение зерен и образование определенной ориентации структурных составляющих (текстура). Внешне в изломе текстура проявляется как одно крупное зерно. Нафталинистый излом устраняется путем многократных повторных фазовых перекристаллизации металла.

Хрупкий *излом* называют *камневидным*, если металл имеет крупнозернистое строение, а разрушение носит преимущественно межкристаллический характер. Причина образования такого излома – перераспределение примесей при перегреве металла с выделением их в приграничных участках зерен. Камневидный излом можно устранить путем гомогенизирующего отжига.

Обычно изломы бывают смешанными. При смешанном изломе (рисунок 1 в) на его поверхности наблюдаются участки вязкого и хрупкого разрушения.

Фарфоровидный излом характерен для правильно закаленной стали, вид излома матовый, мелкозернистый.

Усталостный излом (рисунок 2) образуется в результате длительного воздействия на металл циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций. Излом состоит из трех зон: зарождения трещины, собственно усталостного распространения трещины и долома. Механизм усталостного разрушения следующий. Усталостная трещина возникает в местах, где имеются концентраторы напряжений или дефекты. Первая зона плоская и гладкая. Увеличиваясь при работе детали, трещина образует зону собственного усталостного распространения с характерными концентрическими бороздками или дугами и мелкозернистым, фарфоровидным изломом. Зачастую она имеет отдельные участки гладкой

притертой поверхности. Долом происходит внезапно, когда ослабленное трещиной сечение детали не способно выдержать прикладываемой механической нагрузки. Долом бывает вязким или хрупким.

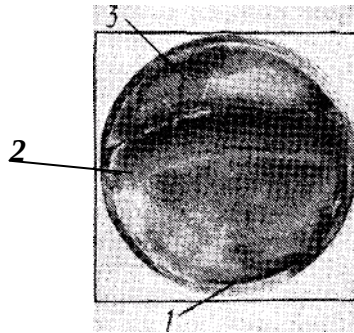


Рисунок 2. Усталостный излом штока компрессора:

1 – зона зарождения трещины;

2 – зона распространения трещины; 3 – зона долома

В практике широко применяют такой метод макроанализа, как исследование макрошлифов. Макрошлиф – это образец с плоской шлифованной и протравленной поверхностью, вырезанный из исследуемого участка детали или заготовки. Его получают следующим образом. На металлорежущем станке или ножовкой вырезают образец, одну из плоских поверхностей которого ровняют напильником или на плоскошлифовальном станке. Затем образец шлифуют вручную или на шлифовально-полировальном станке шлифовальной шкуркой различной зернистости. Шлифование одной шкуркой нужно проводить в одном направлении, после чего следует смыть остатки абразива водой. Переходя на более мелкую шкурку, поворачивают образец на 90° и проводят обработку до полного исчезновения рисок, образованных предыдущей шкуркой. Образец промывают водой, просушивают и подвергают глубокому или поверхностному травлению. Состав некоторых реактивов для травления приведен в таблице 1.

Перед травлением образец обезжиривают и очищают, как правило, этиловым спиртом. Травление большинством реактивов, приведенных в таблице 1, осуществляют, погружая в них образец. При этом следует строго соблюдать правила техники безопасности.

Реактив, активно взаимодействуя с участками, где имеются дефекты и неметаллические включения, протравливает их более сильно и глубоко. Поверхность макрошлифа получается рельефной. С помощью реактивов для глубокого травления выявляются даже внутренние дефекты (поры, раковины, ликвация, волосовины, трещины, флокены и др.), не выходящие непосредственно на поверхность детали. Поверхностное травление, проводимое менее агрессивными реактивами, позволяет выявить в сталях, чугунах и цветных сплавах ликвацию, макроструктуру литого или деформированного металла, дефекты, качество сварных соединений, структурную неоднородность материала, подвергнутого термической или химико-термической обработке.

Протравленный макрошлиф промывают водой для удаления травителя, обрабатывают спиртом, высушивают с целью предотвращения коррозии.

Макроанализ макрошлифов позволяет выявить *структурную* (например, в стали, закаленной токами высокой частоты) или *химическую* (например, в стали, науглероженной или наплавленной износостойким сплавом) *неоднородность*, возникшую при обработке готовых изделий (рисунок 3).

Химическая неоднородность сплава, возникающая при его производстве, называется *ликвацией*. Особенно склонны к ликвации в стали углерод, сера и фосфор. Важно знать распределение в стали вредных примесей серы и фосфора, оказывающее существенное влияние на строение металла и его свойства. Сера вызывает красноломкость стали, т. е. охрупчивание при высоких температурах, а фосфор – хладноломкость, т. е. охрупчивание при низких температурах. Поэтому содержание серы и фосфора в сталях строго регламентируется. Характер распределения

названных элементов зависит от процесса кристаллизации металла в отливке или в сварном соединении и от вида обработки давлением.

При взаимодействии шлифа и реактива железо из поверхностного слоя стали переходит в реактив, на его место осаждается медь, которая защищает сталь от дальнейшего воздействия реактива.

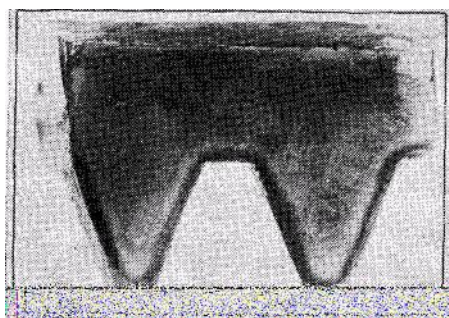


Рисунок 3. Макроструктура науглероженного зубчатого колеса

Таблица 1. Реактивы, используемые при травлении макрошлифов, и особенности травления

Сплавы	Реактив			Особенности травления
	номер	назначение	состав	
1	2	3	4	5
Углеродистые и низколегированные стали, чугуны	1	для глубокого травления		Температура –20 либо 70 °С, длительность несколько часов Температура –20 либо 60–70 °С, длительность 1– 60 мин.
	2	выявление ликвации, дефектов, дендритности, неоднородности, волокнистости; выявление ликвации, дефектов, волокнистости, макроструктуры сварных соединений	10 –20 мл серной кислоты 90 – 80 мл воды 50 мл соляной кислоты, 50 мл воды	
Коррозионно-стойкие хромоникелевые стали	3	оценка склонности к межкристаллической коррозии	10 мл серной кислоты, 3 г сернокислой меди, 87 мл воды	Погружение предварительно нагретой до 625 °С стали в кипящий реактив, длительность 72 ч.
Медные сплавы	4	выявление общей макроструктуры	50 мл азотной кислоты, 50 мл воды	Температура –20° С, длительность – несколько минут

Различные стали и чугуны	5	выявление ликвации серы, фосфора и углерода, полосчатости деформированной стали, грубой зернистости, поверхностных дефектов; выявление ликвации серы	8 г хлористого аммиака меди, 100 мл воды 5 мл серной кислоты, 100 мл воды (реактив Баумана)	
--------------------------	---	--	---	--

Места скоплений углерода, серы и фосфора оказываются в меньшей степени защищенными медью и протравливаются сильнее. После удаления под струей воды слоя меди эти участки выглядят темнее (рисунок 4).

Ликвацию серы в стали или чугуне можно оценить методом Баумана (реактив 5 в таблице 1). Сера находится в стали в составе сульфидов (FeS и MnS). При взаимодействии их с серной кислотой, оставшейся на фотобумаге, образуется сероводород ($FeS + H_2SO_4 + FeSO_4 + H_2S$). Сероводород взаимодействует с бромистым серебром фотоэмульсии ($2AgBr + H_2S = 2HBr + Ag_2S$). Образующиеся на фотобумаге темные участки Ag_2S выявляют форму и характер распределения серы в исследуемом металле. На рисунке 5 показан макроснимок (отпечаток по методу Баумана), на котором отчетливо видна ликвация серы по сечению рельса.



Рисунок 4. Химическая неоднородность сварного соединения

С ликвацией химических элементов также тесно связаны *дендритность* строения литых сплавов и *волокистость* строения деформированных металлов. Дендритам и называют кристаллы (зерна) литого металла, имеющие древовидную форму. Вредные примеси в виде неметаллических

включений (сульфидов, фосфидов, оксидов) и некоторые легирующие элементы скапливаются чаще всего в междендритных пространствах. Продукцией металлургических предприятий, как правило, является металл, претерпевший горячую обработку давлением – ковку или прокатку. При деформировании дендриты, вначале дезориентированные, постепенно поворачиваются и вытягиваются вдоль направления деформации. Вытягиваются и неметаллические включения. В результате этого формируется типичная для прокатанного металла полосчатая, волокнистая структура. Такое волокнистое строение металла называют первичной полосчатостью.

Вторичная полосчатость образуется в доэвтектоидной стали (и в некоторых легированных при их охлаждении от высоких температур) в результате выделения избыточного феррита из аустенита на вытянутых неметаллических включениях. Макроанализ позволяет установить и способ изготовления деталей – обработка давлением (рисунок 6 а) или резанием (рисунок 6 б).

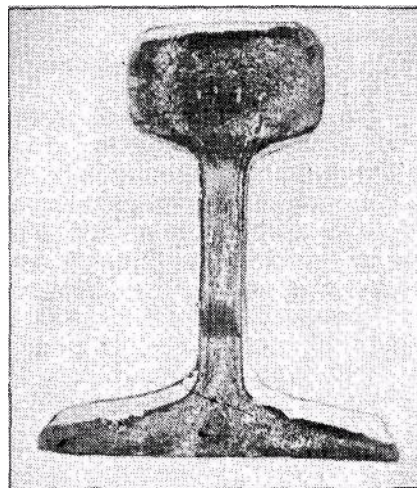


Рисунок 5. Ликвация серы в стали

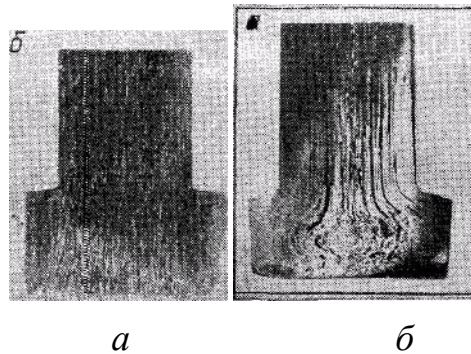


Рисунок 6. Макроструктура болтов, изготовленных:

а – штамповкой; *б* – резанием

Волокнистое строение металла обуславливает резко выраженную анизотропию его свойств (различие их показателей вдоль и поперек волокна).

Пластичность, ударная вязкость и прочность образцов, вырезанных вдоль волокон, выше. Поэтому ответственные детали, особенно работающие при высоких динамических нагрузках (коленчатые валы, шестерни, шатуны, молотовые штампы, клапаны, крюки), изготавливают так, чтобы волокна в них не перерезались, а соответствовали конфигурации изделия. При обработке резанием детали из деформированной стали ее волокна перерезаются, что резко снижает прочность детали.

Микроскопический анализ (микроанализ) металлов и сплавов заключается в исследовании строения (структуры) металла с помощью оптического или электронного микроскопа. Строение металлов и сплавов, наблюдаемое при помощи микроскопа, называется микроструктурой.

Между микроструктурой металлов и их свойствами существует четкая связь. Микроанализ позволяет определить форму и размеры отдельных зерен и фаз, а также их содержание, относительное расположение, выявить наличие имеющихся в металле включений, микродефектов и судить о свойствах металлов и сплавов, о предшествующей обработке этих материалов (литье, деформирование, термическая обработка). Микроанализу подвергают специально подготовленные образцы, называемые микрошлифами.

Микрошлифы готовят следующим образом. Место вырезки образца выбирают в зависимости от задач исследования (в ряде случаев порядок и место вырезки строго регламентируются ГОСТами). В случае выяснения причин разрушения деталей во время эксплуатации образцы вырезают вблизи места разрушения ножовкой, фрезой, резцом, алмазными, вулканитовыми кругами или электроискровым способом. При вырезании и последующем шлифовании образца зачастую необходимо охлаждение. Значительный нагрев недопустим, так как он может вызвать существенные структурные изменения металла.

Обычно образцы имеют форму цилиндра или четырехгранника с линейными размерами 10 – 20 мм. В случае, когда размеры микрошлифов малы (проволока, тонкий лист, мелкие детали), последние закрепляют в специальных зажимах (струбцины) или заливают в оправках легкоплавкими материалами (сплав Вуда, эпоксидные или акриловые смолы, сера, пластмассы).

Поверхность образца делают плоской и шлифуют вручную либо на станках наждачными шкурками. При этом следует соблюдать последовательность и плавность перехода от грубозернистых к мелкозернистым шкуркам. Для сухого шлифования применяют шкурку, выпускаемую промышленностью по ГОСТ 6456–82, для мокрого – водостойкую бумажную шкурку (ГОСТ 10054–82). Если шлифование ведут вручную, шлифовальную бумагу кладут на ровную плоскую поверхность (например, на стекло). После шлифования остатки абразива смывают водой с поверхности шлифа. Затем для удаления мелких рисок образец полируют.

Механическое полирование ведут на полировальном станке, диск которого обтянут тканью (фетр, бархат, тонкое сукно). На ткань наносят пасту ГОИ или периодически поливают ее суспензией, содержащей мелкие абразивные частицы (окиси алюминия, хрома, железа и т. д.). Хорошим полирующим материалом являются алмазные пасты, содержащие алмазные микропорошки АСМ или АМ. Пасту наносят на бумажный лист, закрепленный на вращающемся диске, или на ткань. Когда поверхность приобретает зеркальный

блеск, полирование прекращают. На качественно отполированном микрошлифе при наблюдении под микроскопом отсутствуют риски, царапины, вырывы (хвосты).

Микрошлиф промывают водой или спиртом, просушивают сжатым воздухом или фильтровальной бумагой.

После полирования под микроскопом сначала изучают нетравленный шлиф, затем – протравленный.

При изучении нетравленного шлифа можно обнаружить различные микродефекты. Наблюдаемые на шлифе различного цвета участки небольших размеров представляют собой неметаллические включения (оксиды, сульфиды, силикаты), которые ухудшают механические свойства сплавов.

Черные включения больших размеров пластинчатой, хлопьевидной или шаровидной формы, обнаруживаемые в чугунах, представляют собой выделения графита. Чем больше дисперсность и изолированность графитных включений, чем совершенней их геометрическая форма, тем выше механические свойства чугунов.

После просмотра нетравленного микрошлифа его подвергают травлению, которое проводят в большинстве случаев погружением шлифа в соответствующий реактив (таблица 2). Продолжительность травления может составлять от нескольких секунд до нескольких минут в зависимости от его целей. Затем шлиф промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой и изучают с помощью металлографического микроскопа. Последний, в отличие от биологического позволяет рассматривать непрозрачные тела в отраженном свете. Если структура шлифа выявлена нечетко, его травят дополнительно, если слишком затемнена – снова полируют и травят. В силу различной интенсивности взаимодействия реактива с различными фазами создается микрорельеф поверхности. Наиболее протравившиеся (растворившиеся при протравливании) фазы, граничные зоны зерен при рассмотрении под микроскопом выглядят темными в отличие от светлых непротравившихся.

Устройство металлографического микроскопа и правила работы с ним (изучаются в лаборатории). По расположению основных узлов различают вертикальные (МИМ–7, ММР–2Р, ММР–4, ММУ–3) и горизонтальные (МИМ–8М, МИМ–9, Neophot–21) металлографические микроскопы.

Таблица 2. Реактивы для травления микрошлифов

Номер	Реактив	
	Назначение	Состав
1	Выявление структуры сталей, в том числе после термической или химико-термической обработки, чугунов, магния	1...5 мл азотной кислоты, 100 мл этилового спирта (реактив Ржешотарского)
2	Выявление структуры различных сталей, чугунов ферросплавов.	0,5...6 г пикриновой кислоты, 100 мл этилового спирта.
3	Выявление структуры коррозионно-стойких сталей с высоким содержанием никеля и кобальта, а также структуры сплавов никеля	30 мл азотной кислоты, 20 мл уксусного ангидрида
4	Выявление структуры высокохромистых коррозионно-стойких сталей	3 мл азотной кислоты, 10 мл соляной кислоты, 100 мл этилового спирта

Общее увеличение микроскопа при визуальном рассмотрении равно произведению увеличения объектива и окуляра:

$$V_o = V_{об} \cdot V_{ок} = \frac{250 \cdot l}{(F_{ок} \cdot F_{об})}, \quad (1)$$

где l – оптическая длина тубуса, м;

$F_{об}$, $F_{ок}$ – фокусные расстояния объектива и окуляра, м.

В настоящее время наиболее часто в лабораториях вузов используется металлографический микроскоп МИМ–7 (рисунок 7). Он состоит из следующих основных систем: оптической, осветительной с фотографической аппаратурой и механической.

Таблица 3. Увеличение микроскопа МИМ-7

Характеристики объективов		Увеличение, раз						
		при визуальном наблюдении				при фотографировании		
F,мм	A	7*	10*	15*	20*	7*	10*	15*
23,17	0,17	60	90	130	170	70	120	160
13,89	0,30	100	140	200	300	115	200	270
8,16	0,37	170	240	360	500	200	340	450
6,16	0,65	---	320	500	650	---	440	600
2,77	1,25	500	720	1080	1440	575	1000	1350

Оптическая система микроскопа включает объектив и окуляр, от которых зависит увеличение микроскопа, и ряд вспомогательных элементов (призмы, зеркала, линзы и др.). Объектив, представляющий собой сложное сочетание линз, дает действительное увеличенное обратное изображение микроструктуры микрошлифа. Окуляр состоит из нескольких линз и предназначен для увеличения изображения, полученного объективом, и преобразования его из обратного в прямое. В таблице 3 содержатся характеристики объективов и окуляров для микроскопа МИМ-7 и создаваемые им увеличения.

Механическая система микроскопа включает макровинт, стопорное устройство для него (стопор), микровинт, предметный столик с двумя винтами, корпус, штатив и ряд других элементов.

Работу на микроскопе рекомендуется проводить таким образом. На предметный столик 8 (см. рисунок 7) над прорезью помещают образец, обращенный полированной поверхностью к объективу. Затем включают микроскоп в электросеть, устанавливая при этом необходимый накал лампы освещения. Затем, опустив рукоятку стопора, плавным вращением макровинта 11 поднимают или опускают предметный столик, чем обеспечивают приблизительное фокусирование. При этом непрерывно ведут наблюдение в окуляр. Приближение поверхности микрошлифа к фокальной плоскости характеризуется значительным ростом освещенности поля зрения и появлением изображения микроструктуры. Затем, придерживая правой рукой

макрвинт, левой – стопорят его. Точное фокусирование проводят вращением микровинта 4. Перемещая предметный столик с помощью винтов 10 в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях, можно изучить различные участки микрошлифа. Регулируя диафрагму и светофильтры, устанавливают такие интенсивность и контрастность света, которые обеспечивают необходимое качество изображения при наименьшей утомляемости глаза.

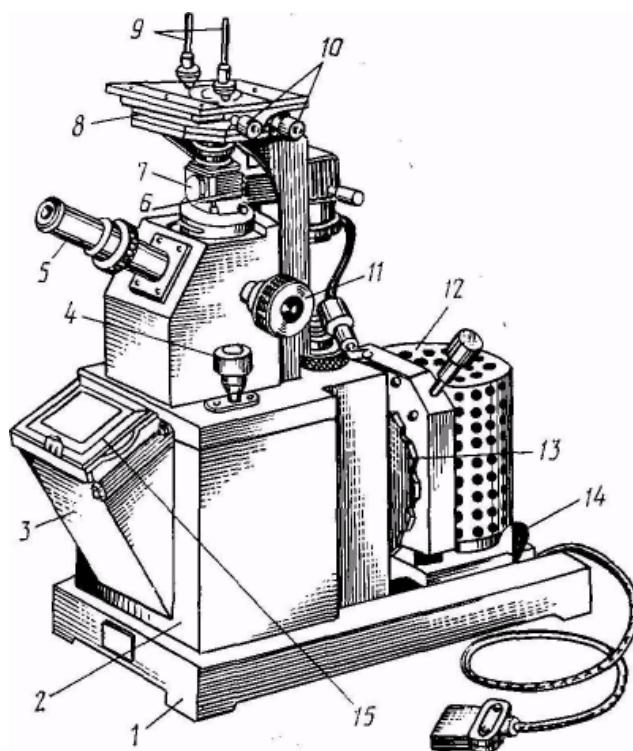


Рисунок 7. Общий вид микроскопа МИМ-7:

- 1 – основание; 2 – корпус; 3 – фотокамера; 4 – микрометрический винт;
- 5 – визуальный тубус с окуляром; 6 – рукоятка иллюминатора; 7– иллюминатор;
- 8 – предметный столик; 9 – клеммы; 10 – винты перемещения столика;
- 11 – макрометрический винт; 12 – осветитель; 13– рукоятка светофильтров;
- 14 – стопорное устройство осветителя; 15 – рамка с матовым стеклом

В осветительную систему микроскопа входят источник света, серия линз, светофильтров и диафрагм. Источником света является электрическая лампа (17 В), включаемая в сеть через понижающий трансформатор.

Часть света, излучаемого лампой 18 (рисунок 8), проходит через коллектор 17, светофильтр 19 на зеркало 20 и далее через линзу 16, апертурную диафрагму 15, линзу 14, полевую диафрагму 12, пентапризму 11, линзу 10 поступает на плоскопараллельную отражательную пластинку 7. Пластинка 7 полупрозрачная, пропускает около $\frac{2}{3}$ светового потока и лишь около $\frac{1}{3}$ его отражает на объектив 8, который фокусирует лучи на поверхности микрошлифа 9. Отраженные от объекта лучи проходят через объектив 8, плоскопараллельную пластинку 7, ахроматическую линзу 6, зеркало 5, окуляр 4 и попадают в глаз наблюдателя. Для фотографирования тубус с окуляром 4 и зеркалом 5 выдвигают, и лучи проходят через один из трех фотоокуляров 3 на зеркало 1 и фотопластинку или матовые стекла 2. Экспонирование осуществляют с помощью фотозатвора 13.

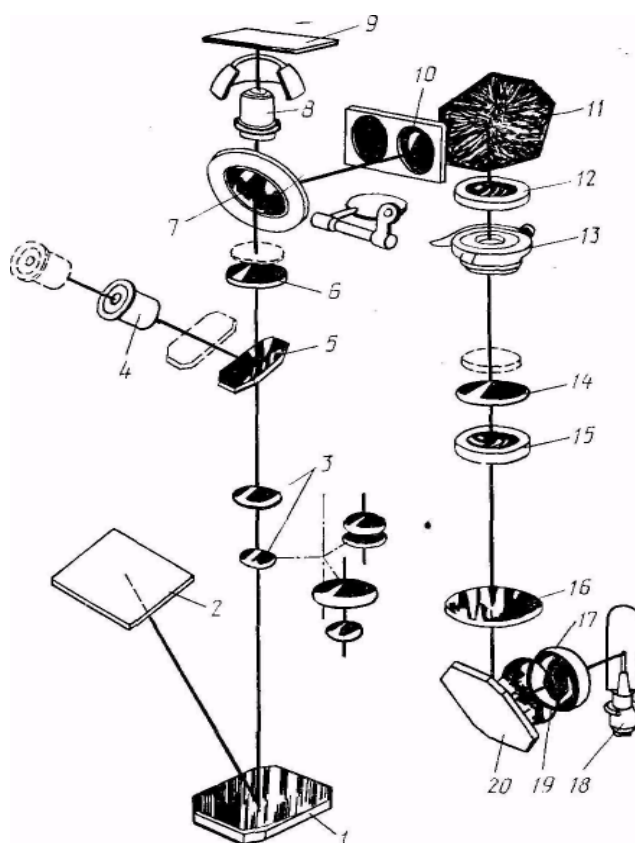


Рисунок 8 Оптическая система микроскопа МИМ-7

Изучение протравленного шлифа позволяет решать ряд задач при анализе микроструктурного строения металла или сплава. Сначала остановимся на определении размера зерна.

Измерить размер какого-либо микроскопического объекта, например, зерна металла, можно с помощью окуляра-микрометра, т. е. окуляра, в который вставлена пластинка с линейкой. Прежде чем начать измерение, необходимо определить цену деления окуляра-микрометра при выбранном объективе. На предметный столик кладут объект-микрометр (эталонная пластинка, каждое из 100 делений шкалы которой соответствует 10^{-5} м). После фокусирования совмещают обе шкалы в положении, показанном на рисунке 9 (поворачивая окуляр и вращая винты предметного столика). Затем определяют, сколько делений шкалы объекта-микрометра совпадает с делениями шкалы окуляра-микрометра. При этом необходимо принимать во внимание всю окулярную шкалу.

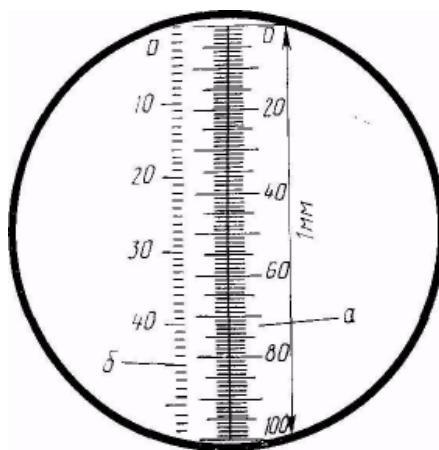


Рисунок 9. Схема определения цены деления окуляра:

a – шкала объекта-микрометра; b – шкала окуляра-микрометра

Например, при данном объективе 100 делений объекта-микрометра совпадает с 61 делением окуляра-микрометра. Цену деления шкалы окуляра-микрометра (м) определяем по формуле:

$$C_{ок} = \frac{C_{об} A}{B}, \quad (2)$$

где $C_{об}$ – цена деления шкалы объекта-микрометра (0,01 мм);

A – число совмещенных делений объекта-микрометра;

B – число совмещенных делений окуляра-микрометра.

Подставив числовые значения, получаем

$$C_{ок} = \frac{0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{61} = 1,64 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \quad (3)$$

Теперь, зная цену деления и длину всей линейки окуляра-микрометра, при данном увеличении можно измерить размер любого микрообъекта (зерна, диффузионного слоя, длины графитного включения и т. д.).

Размер зерна – средний размер случайных сечений зерен в плоскости микрошлифа – определяют следующими методами:

- 1) визуального сравнения с эталонными шкалами;
- 2) подсчета числа пересечений границ зерен отрезками шкалы;
- 3) подсчета количества зерен, приходящихся на единицу площади поверхности;
- 4) измерения длин хорд.

Удобно определять размер зерна с использованием номограммы (рисунок 10) по которой можно установить зависимость между средним размером зерна (мкм), числом зерен на 1 мм² площади шлифа и номером зерна. Например, при среднем диаметре зерна 45 мкм на площади 1 мм² находятся 500 зерен, соответствующих номеру 6.

От размера зерна в значительной степени зависят свойства металла, так как мелкозернистый металл обладает более высоким комплексом механических свойств, чем крупнозернистый.

Микроанализ позволяет также определять микроструктуру сплавов. Сплавы, медленно охлаждаемые при затвердевании или отжиге, имеют равновесные микроструктуры, соответствующие их диаграммам состояния.

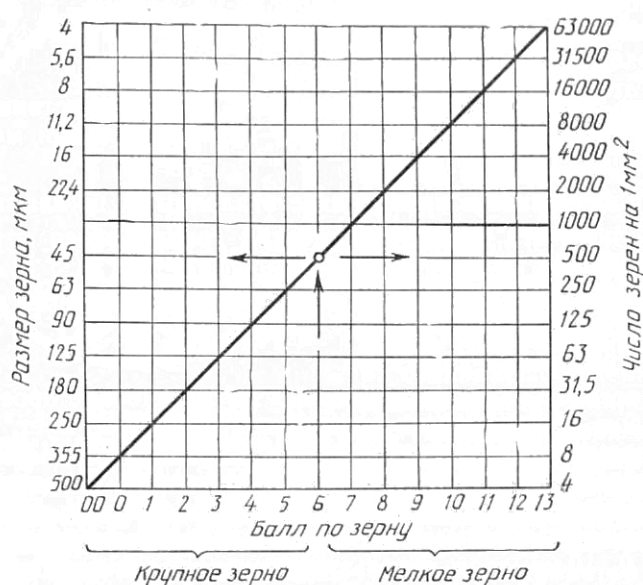


Рисунок 10. Номограмма для определения размера зерна

Правильная расшифровка микроструктуры, фазового состава, оценка формы и количественного соотношения фаз сплава позволяет довольно точно судить о его свойствах.

Микроанализ сталей позволяет определить, какие из них не подвергались холодному пластическому деформированию, а какие имеют типичные для деформированного состояния структуры. Различие структур указывает и на различие механических свойств сталей. Деформированная сталь более прочна и менее пластична, ее свойства не одинаковы во взаимно перпендикулярных направлениях.

Сравнивая две микроструктуры стали одной и той же марки, нагретой до различных температур, легко выявить перегретую сталь. Она имеет более крупные зерна, а значит, худшие механические свойства.

Поскольку разрешающая способность оптических микроскопов не превышает $5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, то изучение более тонких деталей структуры материала проводят методами электронной микроскопии, основанными на взаимодействии электронов с твердым телом. Наиболее широко применяют просвечивающие (ПЭМ) и растровые электронные микроскопы (РЭМ). ПЭМ

формирует изображение благодаря неодинаковому рассеиванию потока электронов при их прохождении через объект – тонкую пленку металла или слепок (реплику) с изучаемой поверхности микрошлифа. Использование электронных излучений с очень малой длиной волны $(0,04-0,12) \cdot 10^{-10}$ м обеспечивает разрешающую способность системы до $(2-5) \cdot 10^{-10}$ м⁻¹, т. е. на уровне межатомных расстояний.

РЭМ обеспечивает меньшую разрешающую способность системы $(2,5-3) \cdot 10^{-8}$ м⁻¹, чем просвечивающий, но позволяет изучать непосредственно поверхность объекта. Направляемый им узкий пучок электронов (зонд) обегает изучаемую поверхность. Отраженные при этом электроны формируют изображение. РЭМ обеспечивает большую глубину резкости и высокое качество изображения.

Оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Бюветы для реактивов.
3. Пинцеты.
4. Тиски для излома образцов.
5. Молоток.
6. Напильники.
7. Пресс.
8. Металлообрабатывающий станок.
9. Образцы изломов.
10. Макрошлифы.
11. Образцы для микрошлифов.
12. Реактивы.
13. Химические реагенты для травления.
14. Фильтровальная бумага.
15. Шлифовальная шкурка.

16. Паста ГОИ.
17. Атлас микроструктур
18. Электрическая камерная печь.
19. Лупа.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Определить по виду макрошлифов характер изломов и виды обработки деталей.
2. Ознакомиться с методикой приготовления макрошлифов.
3. Изучить коллекцию образцов с основными дефектами, наблюдаемыми на их поверхности. Зарисовать эти дефекты.
4. Исследовать и зарисовать макроструктуру макрошлифов с химической неоднородностью (сварные соединения, детали, упрочненные термической, химико-термической обработкой или наплавкой), деталей, изготовленных резанием и обработкой давлением.
5. Оценить ликвацию на макрошлифе по методу Баумана.
6. Изучить и зарисовать основные виды изломов (вязкий, хрупкий, усталостный).
7. Изучить устройство металлографического микроскопа, усвоить приемы работы на нем и начертить оптическую схему микроскопа.
8. Приготовить микрошлиф (например, серого чугуна или стали), изучить и зарисовать его структуру до и после травления.
9. Определить цену деления окуляра-микрометра.

10. Определить размер зерна по микрошлифу методом сравнения и одним из методов, предложенных преподавателем. Определить номер зерна.
11. Провести микроанализ сплава. Охарактеризовать его микроструктуру и фазовый состав.
12. Сделать выводы и составить отчет по работе в соответствии с вышеуказанными пунктами заданий.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Рисунки и краткое описание основных видов изломов.
3. Рисунки макроструктур макрошлифов деталей, изготовленных различными технологическими методами.
4. Результаты исследования ликвации серы на макрошлифе.
5. Пояснения по каждой рассмотренной макроструктуре.
6. По результатам исследования ликвации сделать краткие выводы.
7. Рисунки оптической схемы микроскопа и структуры микрошлифа.
8. Описание микроструктуры и фазового состава исследуемого сплава.
9. Анализ и краткий вывод о механических свойствах сплава.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под макроструктурой?
2. Какие дефекты можно обнаружить при макроанализе?
3. Какие виды изломов можно изучать методом макроанализа?
4. Виды изломов. Характерные признаки.
5. Как подготовить макрошлиф?
6. В чем заключается поверхностное и глубокое травление?
7. Правила травления.
8. Какие дефекты выявляются при глубоком травлении?
9. Какие дефекты выявляются при поверхностном травлении?
10. Какие реактивы применяются при анализе по методу Баумана?

11. Что понимается под ликвацией и дендритностью?
12. Какая разница в структуре образцов, полученных литьем, обработкой давлением и резанием?
13. Что понимается под микроанализом?
14. Как приготовить микрошлиф?
15. Размеры образцов для микрошлифов.
16. Правила шлифования и полирования микрошлифов.
17. Что можно обнаружить на микрошлифе визуально и в микроскоп?
18. Какие реактивы применяются для изучения образцов из углеродистой и легированной стали?
19. Какие реактивы применяются для анализа цветных металлов?
20. Как устроен металлографический микроскоп?
21. Правила управления металлографическим микроскопом.
22. Как определить величину зерна исследуемой структуры?
23. Какие микроскопы применяются для микроанализа?
24. Как пользуются номограммой для определения размера зерна?
25. Как определить цену деления окуляра?
26. Как устроена оптическая система микроскопа МИМ-7?
27. Как определить увеличение микроскопа?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Худокормова, Р.Н. Материаловедение. Практикум. [Электронный ресурс] / Р.Н. Худокормова, Ф.И. Пантелеенко, Д.А. Худокормов. — Электрон. дан. – Минск : Новое знание, 2014. — 311 с.
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2

2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru.

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 2

Определение твердости стали и сварных швов

Цель работы

Ознакомиться с устройством приборов Бринелля и Роквелла и овладеть методикой определения твердости металлов; определить влияние содержания углерода на твердость отожженной и закаленной углеродистой стали.

Формируемые компетенции

ИД-2_{УК-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Твердостью называется свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела, не получающего при этом остаточной деформации. Твердость металлов чаще определяют одним из двух методов: методом Бринелля (ГОСТ 9012-59) или методом Роквелла (ГОСТ 9013-59). Эти методы отличаются простотой, возможностью применять их на готовом изделии без его разрушения.

Метод Бринелля основан на том, что в металл под нагрузкой вдавливают закаленный стальной шарик определенного диаметра D , мм (рисунок 1) по величине диаметра шарового отпечатка d (глубине h) судят о его твердости.

Твердость по Бринеллю (HB) определяется из выражения:

$$HB = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, кН (кГ, МПа);

F – площадь поверхности шарового отпечатка, мм².

Выразив площадь поверхности отпечатка через диаметр шарика и диаметр отпечатка, получаем формулу:

$$HB = \frac{2P}{\pi d \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}. \quad (2)$$

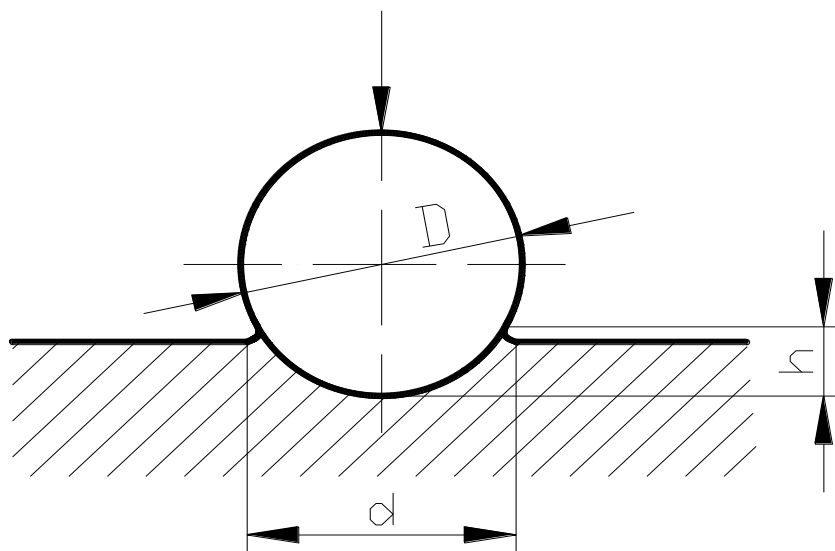


Рисунок 1. Схема измерения твердости по Бринеллю

Нагрузка P , диаметр шарика D и продолжительность выдержки шарика под нагрузкой выбираются по таблице 1.

Таблица 1. Зависимость диаметра шарика и нагрузки от твердости и толщины испытываемого образца.

Материал	Твердость HB , МПа	Толщина образца, мм	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , кГ	Выдержка, с
Черные металлы	1400 – 4500	Более 6	10	3000	10
		6 – 3	5	750	
		Менее 3	2,5	187,5	
	Менее 1400	Более 6	10	1000	10
		6 – 3	5	250	
		Менее 3	2,5	62,5	
Цветные металлы	350 – 1300	Более 6	10	1000	30
		6 – 3	5	250	
		Менее 3	2,5	62,5	
	80 – 350	Более 6	10	250	60
		6 – 3	5	62,5	
		Менее 3	2,5	15,6	

Оборудование и материалы

На рисунке 2 приведена схема рычажного прибора Бринелля (тип ТШ). Прибор имеет станину 1. Испытуемый образец устанавливают на предметный столик 4, вращая маховик 3 винтом 2, поднимают образец до соприкосновения его с шариком 5 и далее до полного сжатия пружины 6.

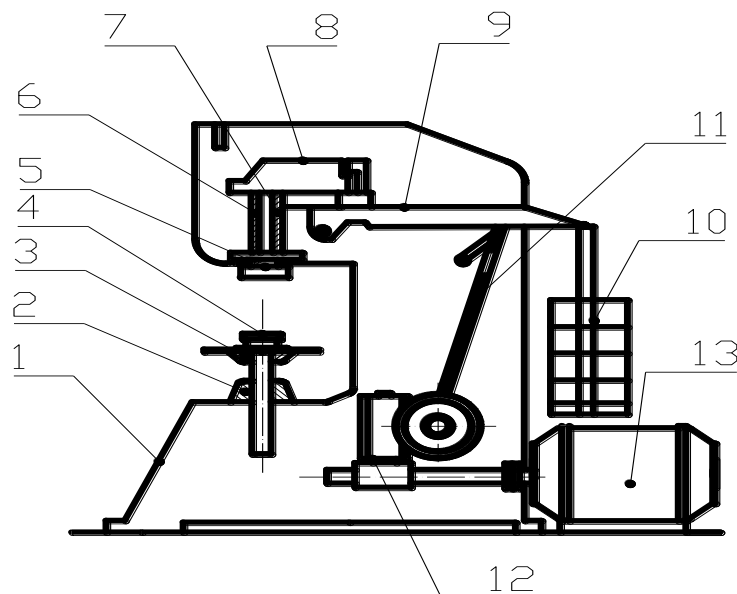


Рисунок 2. Схема прибора Бринелля

Пружина создает предварительную нагрузку на шарик, равную 0,1 кН (10 кГ), что обеспечивает устойчивое положение образца во время нагружения. После этого включают электродвигатель 13 и через червячную передачу редуктора, шатун 11 и систему рычагов 8, 9 с грузами 10 создают заданную полную нагрузку на шарик.

На испытуемом образце получается шаровой отпечаток. После разгрузки прибора образец снимают и определяют диаметр отпечатка специальной лупой.

За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По диаметру отпечатка в таблице 1 при шарике диаметром 10 мм и нагрузкой 30 кН (3000 кГ) находят соответствующее число твердости НВ и записывают, например НВ 302. Твердость, измеренная по методу Бринелля для ряда металлов, связана эмпирической зависимостью с пределом их прочности при

растяжении σ_B . Для кованой и катаной углеродистой стали $\sigma_B = (0,33 - 0,35) \text{ НВ}$, для стального литья $\sigma_B = (0,3 - 0,4) \text{ НВ}$.

К недостаткам метода Бринелля необходимо отнести невозможность испытания металлов, имеющих твердость более НВ 450, или толщину менее 2 мм, остаточные следы деформации на поверхности изделия. При испытании металлов с твердостью НВ 450 возможна деформация шарика, вследствие чего результаты будут неточными.

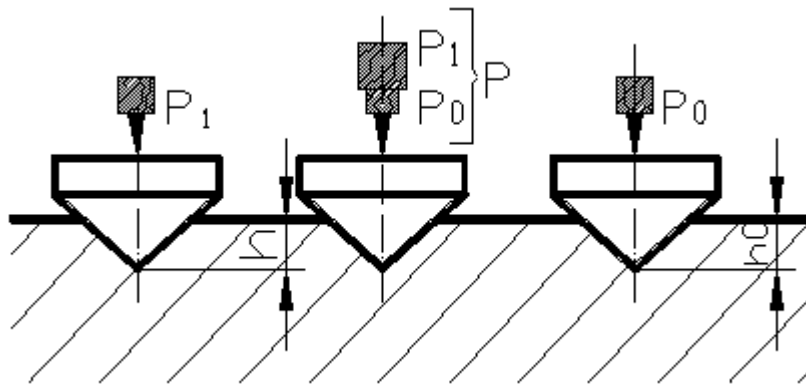


Рисунок 3. Схема измерения твердости по Роквеллу

Метод Роквелла основан на том, что в испытуемый образец вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или реже закаленный стальной шарик диаметром 1,59 мм. Алмазный конус используют для твердых металлов, а шарик – для мягких. Алмазный конус или шарик (рисунок 3) вдавливают в испытуемый образец под действием двух последовательно прикладываемых нагрузок – предварительной P_0 , равной 0,1 кН (10 кГ), и основной P_1 . При вдавливании алмаза к нему прилагается общая нагрузка P , равная 0,6 кН (60 кГ) или 1,5 кН (150 кГ), а при вдавливании шарика – 1 кН (100 кГ). Соответственно этим нагрузкам на индикаторе прибора имеются шкалы: черная А и С, и красная В. Шкалой А пользуются при измерении твердости изделий с очень твердым поверхностным слоем, полученным посредством химико-термической обработки (цементация, азотирование и др.), а также твердых сплавов с твердостью до HRA85. Шкала С используется при измерении твердости

закаленных сталей, обладающих твердостью до HRC67. Шкалой В пользуются при измерении твердости незакаленных сталей, цветных металлов и сплавов, имеющих твердость до HRB100. Числа твердости по Роквеллу HR измеряются в условных единицах и определяются по формулам

$$HRC = 100 - \frac{h - h_2}{0,002}, \quad (3)$$

при вдавливании алмазного конуса,

$$HRB = 130 - \frac{h - h_2}{0,002}, \quad (4)$$

при вдавливании шарика,

где 100 – число черных делений шкалы С циферблата индикатора прибора;

130 – число красных делений шкалы В;

h_0 – глубина внедрения алмаза (шарика), мм под действием предварительной нагрузки;

h – глубина внедрения алмаза (шарика), мм под действием общей нагрузки, замеренной после ее снятия, с оставлением предварительной нагрузки;

0,002 – глубина внедрения алмаза (шарика), мм соответствующая перемещению стрелки индикатора на одно деление.

Таблица 2. Соотношение чисел твердости по Бринеллю и Роквеллу

Твердость			Твердость				Твердость		
По Роквеллу	По Бринеллю		По Роквеллу		По Бринеллю		По Роквеллу	По Бринеллю	
Шкала	$D=10$ мм; $P=3000$ кГ		Шкалы		$D=10$ мм; $P=3000$ кГ		Шкала	$D=10$ мм; $P=3000$ кГ	
С			С	В			В		
HRC	Диаметр отпечатка, мм	HB кГ/мм ²	HRC	HRB	Диаметр отпечатка, мм	HB кГ/мм ²	HRB	Диаметр отпечатка, мм	HB кГ/мм ²
72	2,20	780	33		3,40	321	86	4,60	170
70	2,25	745	32		3,45	311	85	4,65	167
68	2,30	712	31		3,50	302	84	4,70	163
66	2,35	682	30		3,55	293	83	4,75	159
64	2,40	653	29		3,60	285	82	4,80	158
62	2,45	627	28		3,65	277	81	4,85	152

60	2,50	601	27		3,70	269	80	4,90	149
58	2,55	578	26		3,75	262	78	4,95	146
56	2,60	555	25		3,80	255	77	5,00	143
55	2,65	534	24		3,85	248	76	5,05	140
52	2,70	514	23	102	3,90	241	75	5,10	137
50	2,75	495	21	101	3,95	235	73	5,15	134
49	2,80	477	20	100	4,00	229	72	5,20	131
48	2,85	461	19	99	4,05	223	71	5,25	128
46	2,90	444	17	98	4,10	217	70	5,30	126
45	2,95	429	15	97	4,15	212	69	5,35	123
43	3,00	415	14	95	4,20	207	68	5,40	121
42	3,05	401	13	94	4,25	201	67	5,45	118
41	3,10	388	12	93	4,30	197	65	5,50	116
40	3,15	375	11	92	4,35	192	64	5,55	114
39	3,20	363	9	91	4,40	187	63	5,60	111
38	3,25	352	8	90	4,45	183	61	5,65	109
36	3,30	341	7	88	4,50	179	59	5,70	107
35	3,35	331	6	87	4,55	174	58	5,75	105

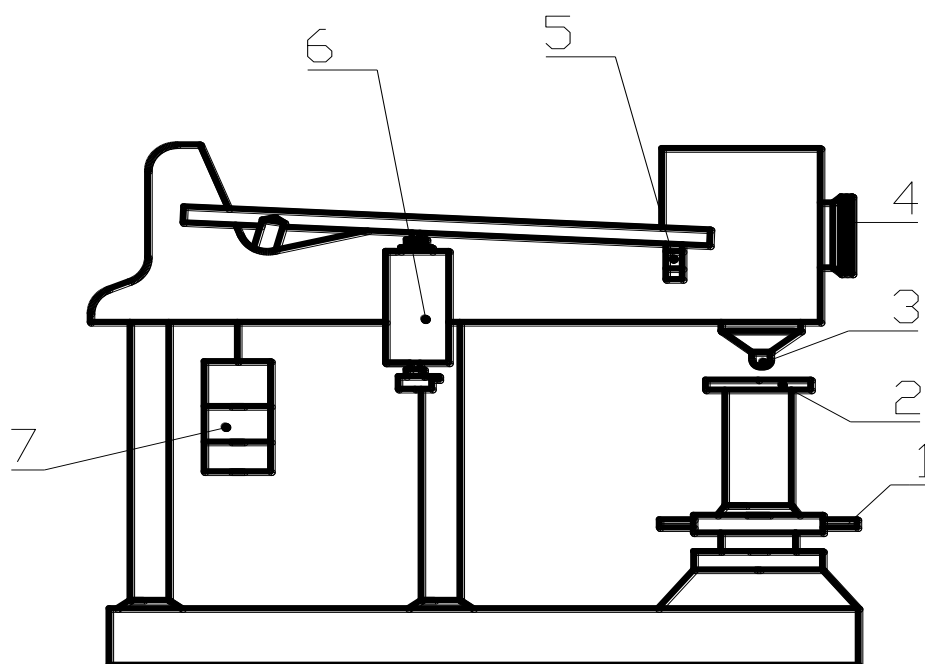


Рисунок 4. Схема прибора Роквелла

Чтобы получить у мягкого металла на приборе малую твердость, а у твердого металла – высокую твердость, полученное число делений $\left(\frac{h-h_0}{0,002} \right)$ вычитается из общего числа делений 100 для шкалы С или из 130 для шкалы В. На рисунке 4 дана схема рычажного прибора Роквелла (тип ТК). Хорошо зачищенный испытуемый образец устанавливают на предметный столик 2.

Затем вращением штурвала 1 по часовой стрелке поднимают образец до соприкосновения с алмазом или шариком 3. при дальнейшем вращении штурвала начинают перемещаться малая и большая стрелка циферблата индикатора 4 и создается предварительная нагрузка, равная 0,1кН (10кГ), препятствующая смещению образца во время испытания. Когда малая стрелка совместится с красной точкой, нанесенной на циферблат, вращение штурвала следует прекратить. После этого циферблат индикатора поворачивают так, чтобы нулевое деление черной шкалы С стало против конца большей стрелки и соответственно против 30 деления красной шкалы В. Красная шкала В смещена относительно нулевого деления черной шкалы С на 30 делений, так как при испытании шариком большая стрелка может поворачиваться более чем на 100 делений. Поворотом рукоятки 5, расположенной с правой стороны прибора, в направлении от себя или включением электрического привода посредством грузов 7 создают основную нагрузку P_1 на алмаз (шарик). Благодаря масляному демпферу 6 грузы плавно опускаются, алмаз (шарик) вдавливаются в металл, а большая стрелка циферблата поворачивается влево, в сторону уменьшения числовых значений твердости, т. е. происходит то вычитание, о котором было сказано выше. После остановки большой стрелки через 1 – 3 с. поворотом рукоятки 5 в направлении на себя, а у электрического прибора автоматически снимаются основная нагрузка. При этом большая стрелка поворачивается в обратном направлении и останавливается против деления, показывающего значение твердости испытуемого металла.

За число твердости принимают среднее арифметическое значение, полученное при трех испытаниях. Число твердости по Роквеллу можно перевести на число твердости по Бриннелю (см. таблицу 2).

Метод Роквелла отличается простотой и высокой производительностью, обеспечивает сохранение качественной поверхности после испытания, позволяет испытывать металлы и сплавы, как низкой, так и высокой твердости, при толщине изделия (слоя) до 0,8 мм. Этот метод не рекомендуется применять

для сплавов с неоднородной структурой (чугуны серые, ковкие и высокопрочные).

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Ознакомиться с устройством приборов Бриннеля и Роквелла и методикой измерения твердости.
2. Измерить твердость отожженных сталей марок 10, 20, 30, 40, 60 и У8, У12 на приборе Бриннеля со стальным шариком диаметром 10 мм при нагрузке 30 кН (3000 кг).
3. Измерить твердость отожженных сталей марок 30, 60 и У8 на приборе Роквелла со стальным шариком диаметром 1,5мм при нагрузке 1 кН (100 кг) и с алмазным конусом по шкале «С» с нагрузкой 150 кг (все стали).
4. Результаты измерений твердости сталей внести в протокол испытаний;
5. Построить график зависимости твердости сталей от содержания в ней углерода.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Понятие о твердости.
3. Области применения приборов, преимущества и недостатки определения твердости по Бринеллю и по Роквеллу.
4. Схему прибора для определения твердости.
5. Протокол результатов испытаний.

6. График зависимости твердости от содержания углерода в стали.

7. В выводах указать факторы, влияющие на твердость стали, объяснить полученный график.

Влияние содержания углерода и построение графика зависимости (ОБРАЗЕЦ)

Таблица 3. Влияние содержание углерода

Марка стали	Содержание углерода, %	Диаметр отпечатка, мм	<i>HB</i> , МПа	<i>HRC</i> , ед
10	0,10	5,7	1070	7
20	0,20	5,3	1260	17
30	0,30	4,9	1490	27
40	0,40	4,5	1790	36
60	0,60	4,2	2070	42
У8	0,8	4,0	2290	49
У12	1,2	3,9	2410	52

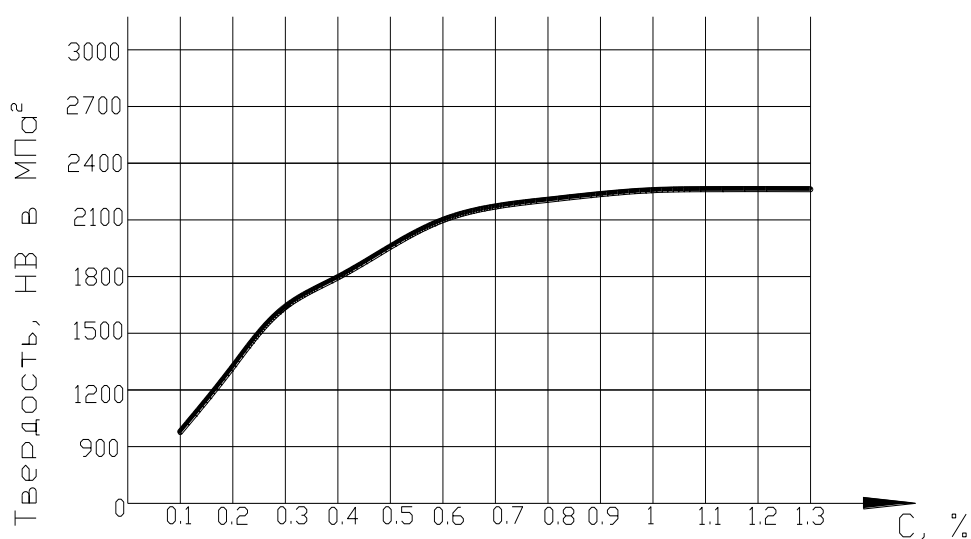


Рисунок 5. Влияние содержания углерода на твердость стали

Выводы. С увеличением содержания углерода твердость стали увеличивается.

Контрольные вопросы

13.Схема и управление прибором Бринелля.

14. Инденторы для измерения твердости.
15. Что называют твердостью?
16. Какие размеры шариков применяются при методе Бринелля?
17. Какая нагрузка на приборе Бринелля для замера различной твердости?
18. Формулы для определения твердости по Бринеллю.
19. Зависимость диаметра шарика и нагрузки от твердости.
20. С какой целью выполняется предварительная нагрузка?
21. Как определяется величина твердости по Бринеллю?
22. Недостатки метода Бринелля.
23. Какой индентор (инструмент) применяется при методе Бринелля?
24. Как определяется твердость на приборе Бринелля?
25. В каких случаях применяется определение твердости по шкалам С, А, и В?
26. Формула определения твердости по Роквеллу.
27. Какой индентор (инструмент) применяют при определении твердости на Роквелле при определении твердости твердых и мягких материалов?
28. В каких единицах измеряют твердость по Бринеллю и Роквеллу?
29. Как осуществляется перевод чисел по Роквеллу в показания по Бринеллю?
30. Как маркируются приборы Бринелля и Роквелла?
31. Сколько замеров требуется для среднего показателя твердости?
32. Для каких методов не рекомендуется метод Роквелла?
33. Область применения приборов Бринелля и Роквелла?
34. Как выглядит график зависимости твердости от содержания углерода в стали и от термической обработки?
35. Факторы, влияющие на твердость стали.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Двоеглазов, Г. А. Материаловедение: [учебник] / Г.А. Двоеглазов. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 445 с. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 421-422. - ISBN 978-5-222-24320-6
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 3

Структура и свойства сталей и чугунов в равновесном состоянии

Цель работы

Изучение микроструктуры углеродистых сталей в равновесном состоянии, определение марки сталей, установление связи между структурой стали, диаграммой состояния Fe-Fe₃C и свойствами сплавов.

Изучение микроструктуры чугунов разных марок, их свойств и области применения.

Формируемые компетенции

ИД-2_{УК-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Равновесное состояние сплава, описываемое соответствующей диаграммой равновесия, может быть достигнуто охлаждением сплава с бесконечно малыми скоростями. В этом случае при любой произвольно выбранной температуре сосуществующих фаз содержание в них компонентов вполне определенное. Каждая фаза сплава гомогенна. Размеры и морфология фазовых выделений определяются минимальными значениями поверхностной энергии.

Равновесные структуры сталей и превращения в них описываются диаграммой состояния системы железо – цементит. Фазовые превращения в сталях, наблюдаемые на практике, протекают при температурах, отличающихся от температур, соответствующих равновесному состоянию, и зависят от реальной скорости охлаждения сплава. Допустимо считать, что равновесные структуры в сталях формируются также при реальных малых скоростях охлаждения, например при охлаждении вместе с выключенной печью, в

которой они нагревались до температур, соответствующих аустенитной области диаграммы $Fe-Fe_3C$.

Техническое железо, как видно из диаграммы состояния, может быть однофазным (Φ) или двухфазным ($\Phi + C_{III}$). Округлые зерна феррита при протравливании шлифа 4–6-процентным раствором азотной кислоты в спирте имеют цвет светлой соломы. Светло-голубой C_{III} располагается в виде тонких включений по границам зерен феррита. Феррит мягок и пластичен ($\sigma_B = 200$ – 300 МПа, $\sigma_T = 120$ – 300 МПа, $\delta = 30$ – 50 %, $\psi = 60$ – 85 %, 80 – 100 НВ). Цементит тверд (~ 800 НВ) и хрупок, разрушение при растяжении происходит практически без удлинения образца.

В структуре сталей по мере увеличения содержания углерода возрастает массовая доля цементита и соответственно уменьшается доля феррита. Это приводит к повышению твердости и прочности стали, к снижению ее пластичности (рисунок 1), изменению физических и технологических свойств. К технологическим свойствам сплавов относятся свариваемость, обрабатываемость резанием и давлением, стойкость к изнашиванию, восприимчивость к закалке и некоторые другие. Например, стали с содержанием углерода до $0,37$ % хорошо свариваются, с повышением содержания углерода свариваемость ухудшается. Стойкость сталей к изнашиванию, наоборот, возрастает при увеличении содержания углерода в них.

В равновесной структуре *доэвтектоидных сталей*, состоящих из феррита (светлые зерна) и перлита (темные зерна), пропорционально увеличению содержания углерода растет доля перлита (рисунок 2 *а–в*). В последнем находится практически весь углерод стали, поскольку в феррите при комнатной температуре углерода крайне мало (10^{-7} %). Если допустить, что значения плотности феррита и цементита соизмеримы, то по структуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно определить содержание в ней углерода. Для этого при любом рекомендуемом увеличении микроскопа

определяется площадь поверхности шлифа стали, занятой перлитом. Например, она составляет 50 %.

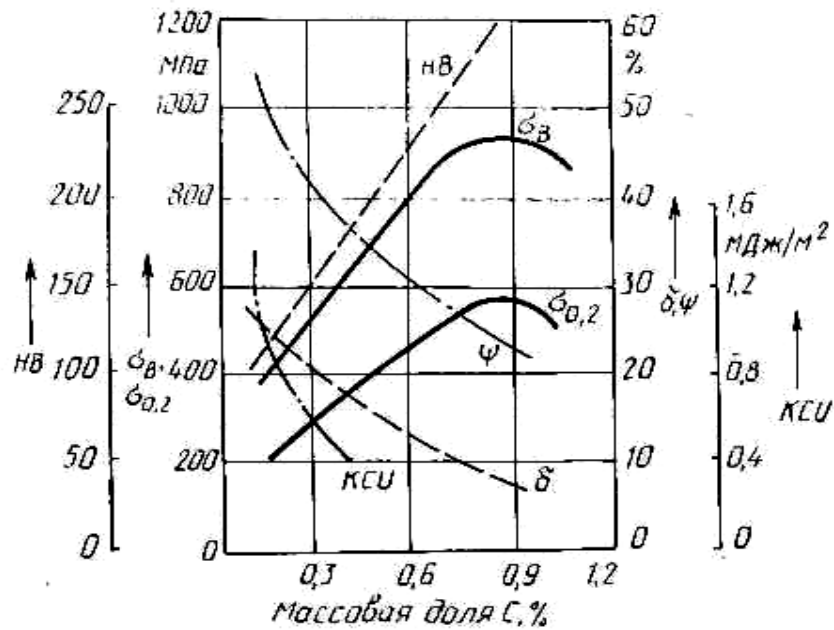


Рисунок 1. Зависимость механических свойств стали от содержания в ней углерода

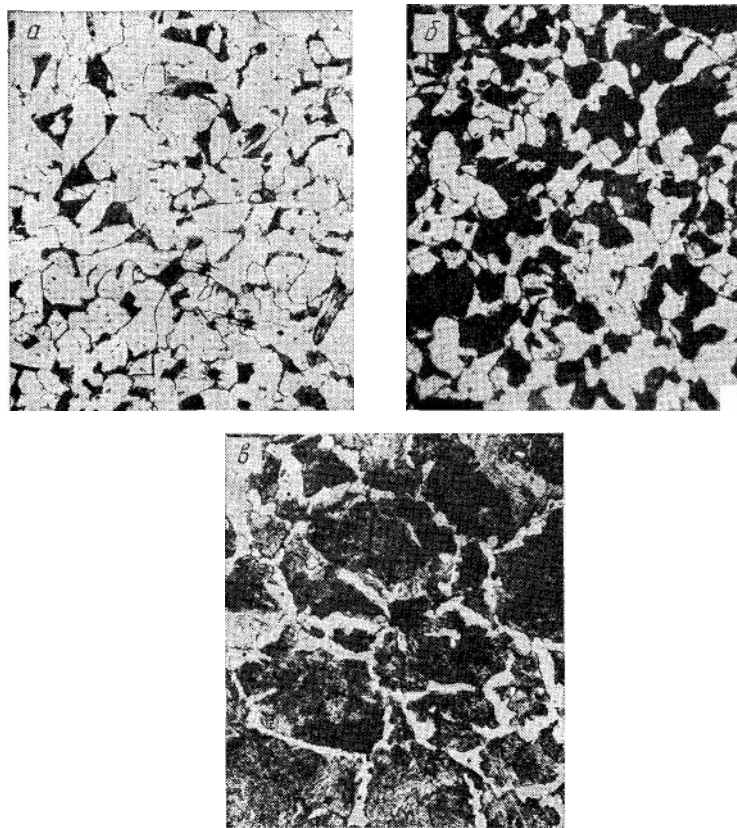


Рисунок 2. Микроструктура доэвтектоидных сталей с различным содержанием углерода:

$a - 0,2 \% \text{ C}; б - 0,45 \% \text{ C}; в - 0,7 \% \text{ C}. X 200$

Зная, что в перлите содержится 0,8 % углерода, из пропорции

$$100 \% \text{ П} \text{ — } 0,8 \% \text{ C},$$

$$50 \% \text{ П} \text{ — } X \% \text{ C}$$

можно определить содержание углерода в стали $X = 0,8 \cdot 50 / 100 = 0,40 \%$. Затем определяется марка углеродистой стали. По ГОСТ 1050–88 сталь, содержащая 0,4 % C, является качественной конструкционной марки 40.

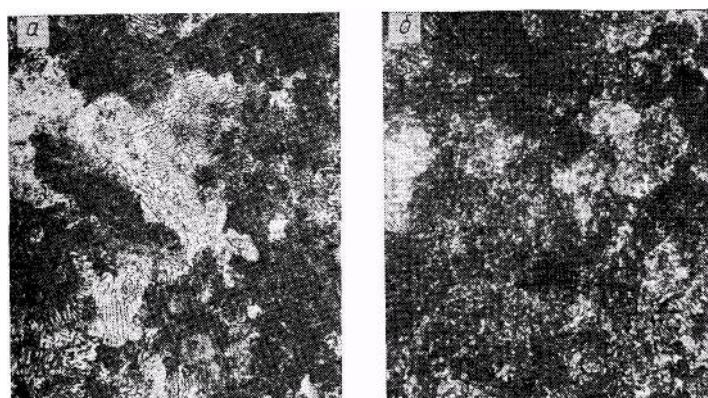


Рисунок 3. Микроструктура эвтектоидной стали:

a – пластинчатый перлит; $б$ – зернистый перлит. $X 200$

Сталь, структура которой состоит только из перлита, содержит 0,8 % углерода и называется *эвтектоидной*. Перлит (перламутр) является двухфазной структурной составляющей, представляющей собой смесь феррита и цементита пластинчатого (рисунок 3 a) или зернистого (рисунок 3 $б$) строения. Перлит состоит из двух фаз – феррита и цементита, обладающих различной твердостью, полируемостью и травимостью в реактивах. При полировке и травлении шлифа на его поверхности создается рельефность. Твердые, малотравящиеся пластины цементита выступают над ферритными и остаются светлыми и блестящими. Утопающий между ними мягкий феррит оказывается затененным и, кроме того, из-за повышенной травимости, тусклым и темным. Поскольку в перлите содержится сравнительно мало (около 9 %) цементита,

перлит в сталях (и в белых чугунах) при микроскопическом исследовании выглядит темным, но не черным, как различного рода пустоты.

Перлит зернистый всегда светлый, цементит в нем имеет округлую форму. Зернышки (сфероиды) цементита расположены в ферритной матрице. Структуру перлита зернистого после специальной термической обработки могут иметь не только эвтектоидная, но и до- и заэвтектоидные стали. Поэтому определять содержание углерода в стали по структуре зернистого перлита не рекомендуется. Зернистый перлит имеет меньшую твердость (160–220 НВ), чем пластинчатый (200–250 НВ), лучше обрабатывается резанием.

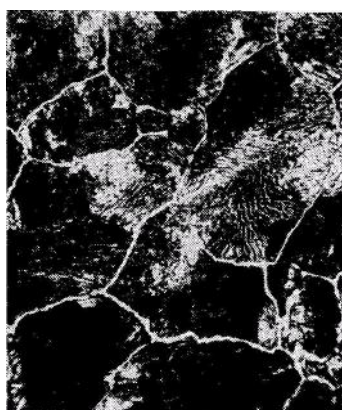


Рисунок 4. Микроструктура заэвтектоидной стали, содержащей 1,2%С. X 200

Стали, содержащие более 0,8 % углерода, со структурой $P+Ц_{II}$ называются *заэвтектоидными*. Темные перлитные участки окружены более или менее сплошной светлой сеткой цементита вторичного (рисунок 4), толщина которой увеличивается с повышением содержания углерода в стали. Отличительными особенностями сетки цементита вторичного от сетки феррита избыточного в доэвтектоидных сталях с повышенным содержанием углерода являются разобщенность зерен феррита и их стремление к округлению. Для установления фазового состава светлой сетки вокруг перлитных участков рекомендуется травление шлифа реактивом, используемым для выявления структуры углеродистой стали.

При определении содержания углерода в заэвтектоидной стали по ее структуре следует с помощью микроскопа установить площадь поверхностей шлифа, занятых перлитом и цементитом вторичным. Затем из соответствующих пропорций определить содержание углерода, находящегося в перлите и цементите вторичном. Сумма полученных результатов представляет собой содержание углерода в заэвтектоидной стали.

В значительной степени свойства углеродистых сталей, а следовательно, и области их применения зависят от содержания в них вредных примесей серы и фосфора. Чем меньше их в стали, тем выше ее качество. Соответственно различают стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380–94) содержат до 0,07 % фосфора, 0,06 % серы, 0,06–0,49% углерода, являются конструкционными, в равновесном состоянии имеют ферритно-перлитную структуру. В зависимости от назначения они подразделяются на три группы: *А* – поставляемые по механическим свойствам (Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6) для изготовления изделий, не подвергающихся горячей обработке; *Б* – поставляемые по химическому составу (БСт0, БСт1–БСт6) для изготовления изделий, подвергающихся горячей обработке; *В* – поставляемые по механическим свойствам и химическому составу (ВСт1, ВСт2–ВСт5) для изготовления сварных конструкций.

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

Буквы кп, пс, сп, стоящие за цифрой, указывают степень раскисления стали (кипящая, полуспокойная, спокойная). Из спокойных сталей наиболее полно удален кислород. В термически упрочненном состоянии они обладают высокой вязкостью и надежно эксплуатируются при температурах до 50 °С. Цифра в конце марки стали (например, БСт3сп2) показывает категорию стали.

Чем выше категория стали, тем большее число нормируемых показателей гарантирует ГОСТ 380–94 (химический состав, временное сопротивление растяжению, предел текучести, относительное удлинение, предел прочности при изгибе в холодном состоянии, ударная вязкость при температурах +20 °С, –20 °С и др.).

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

Стали *качественные конструкционные* (ГОСТ 1050–88) содержат не более 0,035 % фосфора, не более 0,04 % серы, 0,05–0,6 % углерода и выпускаются следующих марок: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25 и т. д.

Двузначные числа в марке показывают содержание углерода в сотых долях процента. Перечисленные выше стали характеризуются высокими пластичностью и свариваемостью. Они могут использоваться без упрочняющей термической обработки или после нее.

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

К углеродистым сталям, используемым для изготовления деталей с высокими прочностью и вязкостью сердцевины (оси, валики, винты, шайбы, втулки, коленчатые валы, тяги, шатуны и др.), относятся стали 30, 35, 40, 45. Из сталей 65, 70, 75, 80, 85 с большим содержанием углерода изготавливают детали, работающие в условиях трения и вибрационных нагрузок: прокатные валки (сталь 60), крановые колеса (сталь 75), диски сцепления и впускные клапаны компрессоров (сталь 85), а также пружины и рессоры (ГОСТ 14959–

79). Рекомендуемыми режимами термической обработки углеродистых качественных конструкционных сталей в зависимости от условий эксплуатации изделий являются нормализация, закалка с отпуском, поверхностная закалка с нагревом ТВЧ, с отпуском или без него (ГОСТ 1050-88, ГОСТ 14959–79).

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

Наиболее пластичные из названных сталей (доэвтектоидная ферритно-перлитная У7, эвтектоидные У8, У8А) идут на производство молотков, стамесок, долот, зубил, штампов и прочего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок. Из сталей У10, У11, У12А изготавливают резцы, сверла, метчики, фрезы, плитки и прочий мерительный и режущий инструмент для резания мягких материалов, из сталей У12, У13, У13А – твердый, работающий без ударных нагрузок инструмент (напильники, рашпили, бритвы).

Для изготовления обработкой резанием на станках-автоматах деталей массового спроса (шайбы, болты, гайки, шпильки и некоторые другие детали автомобилестроения) применяют низкоуглеродистые стали (0,08–0,45 %С) с повышенным содержанием серы (0,08–0,3 %), фосфора (0,05–0,16 %) и часто марганца (0,6–1,55 %). Такие *стали* называются автоматными. Обогащение границ зерен феррита растворенным в нем фосфором и образование хрупких включений (*MnS* и др.) на границах зерен стали облегчает резание, способствует дроблению и легкому отделению стружки. Увеличивается срок службы режущего инструмента и улучшается качество обрабатываемых поверхностей.

В соответствии с ГОСТ 1414–75 автоматные стали маркируют А11, А12, А20, А30, А40Г. В обозначении марки буква *А* указывает, что сталь автоматная,

цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Улучшение обрабатываемости стали достигается также введением в нее свинца.

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % углерода. В машиностроении чугун является одним из основных литейных материалов, что объясняется прежде всего, его хорошими литейными и прочностными свойствами. Он не подвергается обработке давлением. Главным фактором, определяющим свойства, а, следовательно, и область использования чугуна, является его структура, которая может быть весьма разнообразной.

По структуре чугуны делят на белые (*БЧ*), серые (*СЧ*), ковкие (*КЧ*) и высокопрочные (*ВЧ*). Серыми называют чугуны, в структуре которых высокоуглеродистой фазой является графит пластинчатой формы (*ПГ*, рисунок 5 а). В ковких чугунах графит имеет хлопьевидную (*ХГ*) форму (рисунок 5 б), в высокопрочных — шаровидную (*ШГ*, рисунок 5 в). Включения графита располагаются в металлической основе (матрице), которая может быть ферритной, перлитной или ферритно-перлитной. Белые чугуны имеют белый блестящий излом, подобно сталям кристаллизуются по диаграмме метастабильного равновесия системы $Fe-Fe_3C$ и в них практически весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита.

Белые чугуны подразделяются на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. *Доэвтектические белые чугуны* содержат 2,14-4,3 % углерода. Они (рисунок 6 а) состоят из перлита ($\Phi + \text{Ц}$) и ледебурита ($\Pi + \text{Ц}$). Перлит имеет дендритное (деревообразное) строение, которое он наследует от аустенита первичного, кристаллизующегося из жидкости и затем превращающегося в перлит (при 727 °С). Основой структуры является эвтектика — ледебурит, состоящая из цементита и расположенного в нем перлита сравнительно высокой дисперсности.

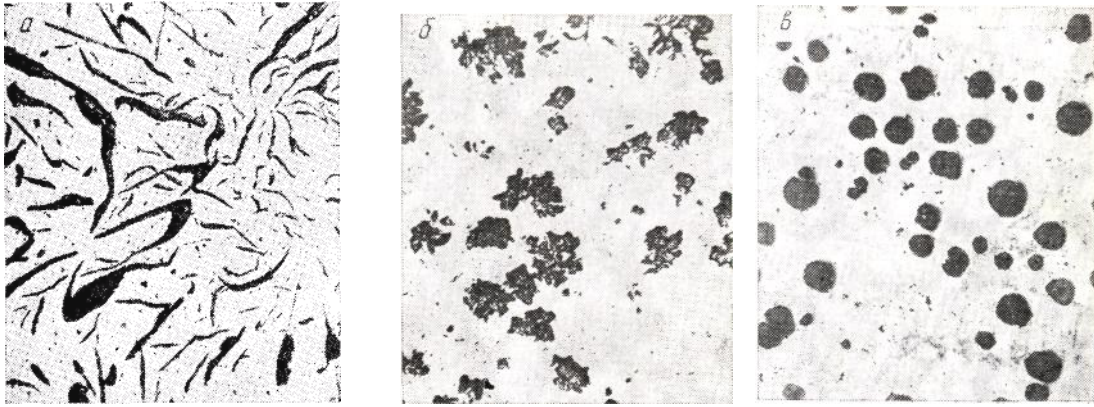


Рисунок 5. Форма графитных включений в чугунах:

а – пластинчатая в сером; *б* – хлопьевидная в ковком;

в – шаровидная в высокопрочном (шлифы не травлены). X 200

Эвтектический белый чугун содержит 4,3 % углерода. Его структура (рисунок 6 б) – ледобурит ($P+Ц$). *Заэвтектические белые чугуны* являются сплавами с повышенным содержанием углерода (более 4,3 %), имеют структуру $L(P+Ц)+Ц_1$ (рисунок 6 в). В матрице ледобурита расположены крупные призматические кристаллы цементита первичного.

Массовые доли фаз и структурных составляющих чугунов могут быть определены с помощью правила отрезков. Применив его, можно убедиться, что относительное содержание твердой и хрупкой фазы – цементита возрастает с повышением содержания углерода в сплаве. Например, в структуре белого чугуна с 3 % С находится около 45 % цементита и 55 % феррита, в чугуне с 4,3 % С доля цементита возрастает до 66 %. Из-за большого содержания цементита белые чугуны имеют повышенную хрупкость и низкие показатели механических свойств. Поэтому в качестве конструкционных материалов их применяют редко, используя только для изготовления деталей, работающих в условиях повышенного абразивного изнашивания (детали гидромашин, пескометов и др.). Для увеличения износостойкости белые чугуны легируют хромом, ванадием, молибденом и другими карбидообразующими элементами.

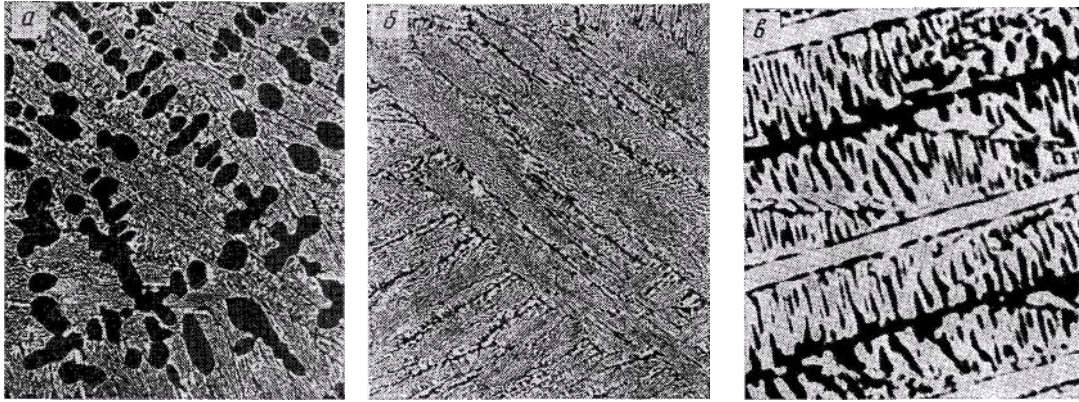


Рисунок 6. Микроструктура белых чугунов:

a – доэвтектического; *б* – эвтектического; *в* – заэвтектического. X 200

Если отливку из белого доэвтектического чугуна подвергнуть специальному графитизирующему отжигу, структура чугуна изменится, и он приобретет высокую прочность и удовлетворительную пластичность. Такой отоженный чугун называется ковким.

При выборе режимов термической обработки чугуна, в том числе и режима графитизирующего отжига, необходимо помнить о существовании двух диаграмм состояния железоуглеродистых сплавов – метастабильного и стабильного, т. е. учитывать, что эвтектоидное (и эвтектическое) превращение в чугунах происходит в интервале температур $A_1 - A'_1$. Величина этого интервала и его расположение относительно равновесной температуры (t_{psk}) определяются химическим составом чугуна.

Отжиг белого чугуна основан на метастабильности цементита и обычно ведется по графику, показанному на рисунке 7.

Рекомендуемый химический состав заливаемого в формы сплава следующий: 2,4–2,9 % C; 1,0–1,6 % Si; 0,3–1,0 % Mn. Содержание углерода и кремния подбирается из расчета $Si + C \leq 3,8$ %. При таком составе сплава и ускоренном охлаждении (для этого толщина стенок отливки h не должна превышать 20 мм, в отдельных случаях 50 мм) в отливке формируется структура белого доэвтектического чугуна $\Pi + Л$ ($\Pi + Ц$) + $Ц_{II}$. После охлаждения закристаллизовавшуюся отливку отжигают.

Графитизирующий отжиг состоит обычно из двух стадий. Первую рекомендуется проводить при 950–1050 °С. При более высоких температурах возможно оплавление отливок, расположенных вблизи от нагревателей, что недопустимо. Длительность первой стадии отжига подбирается в каждом конкретном случае такой, чтобы весь цементит, находящийся в структуре отливки ($A+Ц$), распался на $A+ХГ$.

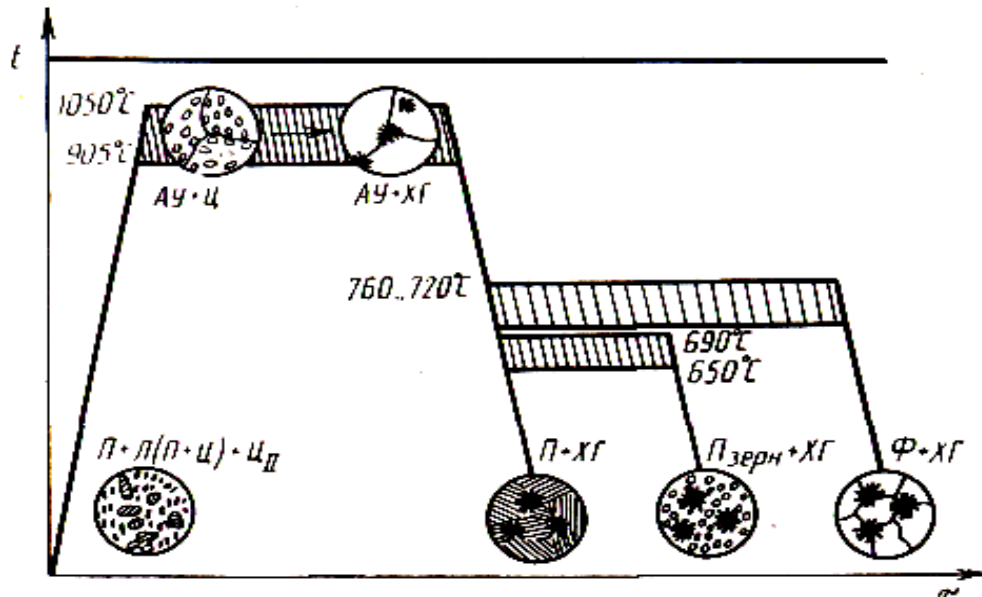


Рисунок 7. График отжига белого чугуна на ковкий

Металлическая основа чугуна формируется на второй стадии отжига при эвтектоидном превращении. В случае непрерывного охлаждения отливки в области эвтектоидной температуры аустенит распадается на перлит пластинчатый. Получается *ковкий чугун с перлитной металлической основой*. Он обладает высокими твердостью (235–305 НВ) и прочностью ($\sigma_B=650-800$ МПа) в сочетании с небольшой пластичностью ($\delta=3,0-1,5$ %). Для повышения пластичности при сохранении достаточно высокой прочности проводится непродолжительная (2–4 ч) изотермическая выдержка чугуна или замедленное охлаждение при температурах 690–650 °С. Это вторая стадия отжига, представляющая собой в данном случае отжиг на зернистый перлит. Перлит

пластинчатый переходит в перлит зернистый путем сфероидизации (округление) пластин цементита.

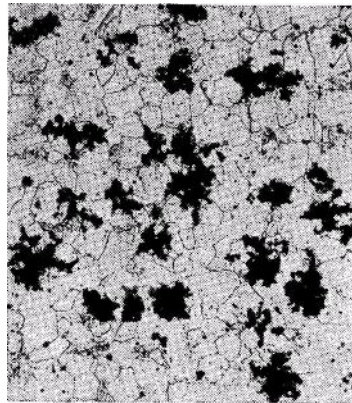


Рисунок 8. Микроструктура ковкого чугуна с ферритной металлической основой. X 200

Наряду с ковким чугуном с основой перлит зернистый широко распространен в машиностроении *ферритный ковкий чугун* (рисунок 8), характеризующийся высокой пластичностью ($\delta = 10\text{--}12\%$) и относительно низкой прочностью ($\sigma_B = 370\text{--}300$ МПа). Ферритная основа чугуна образуется при очень медленном прохождении интервала $760\text{--}720^\circ\text{C}$ или в процессе изотермической выдержки при $720\text{--}700^\circ\text{C}$. Здесь аустенит и цементит, в том числе и цементит перлита, если перлит успел образоваться, распадаются на $\Phi + \text{ХГ}$.

Продолжительность отжига в целом составляет 20–40 ч (при этом длительность второй стадии примерно в 1,5 раза больше, чем первой). Для сокращения продолжительности отжига белого чугуна на ковкий, что экономически целесообразно, используют ряд приемов. Чтобы ускорить распад цементита, первую стадию отжига проводят при повышенных температурах ($1000\text{--}1050^\circ\text{C}$). Процесс графитообразования облегчается при введении в расплав чугуна перед его разливкой по формам небольших доз некоторых элементов (модифицирование), создающих дополнительные искусственные центры образования графита. Например, при производстве тонкостенного литья

с толщиной стенки $h < 20$ мм вводят алюминий из расчета 0,015–0,025 % от массы сплава. В случае толстостенного литья (H до 50 мм) вводят бор (0,001–0,003 %). Образующиеся тугоплавкие высокодисперсные оксиды Al_2O_3 и нитриды AlN , BN являются центрами кристаллизации графита. В качестве таких центров могут выступать и другие элементы (висмут, теллур, титан). Чугун с модифицирующими добавками называется модифицированным.

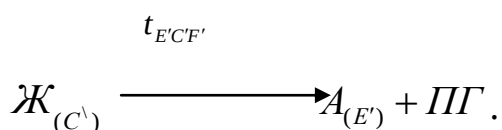
Для получения в модифицированном КЧ перлитной основы рекомендуется увеличивать содержание марганца до 1,2 % (хрома и некоторых других элементов). Марганец (хром), растворяясь в цементите, повышает его устойчивость к распаду на Φ и XI в области эвтектоидных температур. Для получения ферритно-перлитной основы продолжительность второй стадии отжига сокращают.

Согласно ГОСТ 1215–94, выпускаются следующие марки ковких чугунов: КЧЗО-6, КЧЗЗ-8, КЧЗ5-10, КЧЗ7-12, КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5. Первые две цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении (σ_B , кгс/мм²), цифры после тире – относительному удлинению при растяжении (δ , %). Первые четыре марки, имеющие повышенные значения δ , относятся к ферритным чугунам, все последующие – к перлитным.

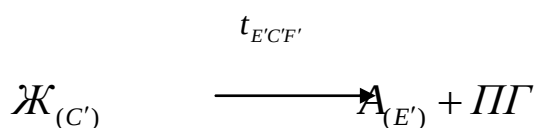
Перечень литых изделий из КЧ весьма разнообразен (пробки, гайки, втулки, фланцы, кронштейны, ступицы, тормозные колодки, коленчатые валы и др.). Толщина их стенок составляет 3–50 мм, масса деталей – от нескольких граммов до нескольких тонн.

Существенным недостатком технологического процесса получения КЧ является длительный отжиг отливок и ограничение толщины их стенок (до 50 мм). В массивных отливках в результате замедленного охлаждения при первичной кристаллизации возникает пластинчатый графит (ПГ), который снижает прочность и пластинчатость металлической основы чугуна.

Структура серого чугуна (см. рисунок 5 а) формируется непосредственно при кристаллизации его в отливке в соответствии с диаграммой стабильного равновесия системы $Fe-C$. Характер структурообразования при эвтектическом превращении определяется, прежде всего, содержанием углерода и кремния в сплаве, а также скоростью охлаждения. Установлено, что чем больше углерода и кремния в сплаве и чем ниже скорость его охлаждения, тем выше вероятность кристаллизации по диаграмме стабильного равновесия с образованием графитной эвтектики по схеме



Обычно в серых чугунах содержится 3,0–3,7 % C; 1,2–2,6 % Si. Содержание элементов (%) подбирают так, чтобы $C+Si/3=4,3$. При удовлетворении этого условия чугун получается эвтектическим и обладает хорошими технологическими свойствами (жидкотекучесть, малая усадка, незначительный пригар металла к форме и др.). Высокое содержание кремния в сером чугуне объясняется тем, что кремний является сильным графитообразующим элементом. Растворяясь в аустените, кремний способствует уменьшению растворимости углерода в нем. В результате жидкая фаза обогащается углеродом и процесс образования графита облегчается. При низком содержании углерода и кремния чугун модифицируют графитизирующими добавками (алюминий, кальций, церий). При медленном охлаждении сплав не переохлаждается до эвтектической температуры (T_{ECF} на диаграмме метастабильного состояния), и расплав кристаллизуется по диаграмме стабильного состояния с образованием графитной эвтектики



Если же появляется некоторое количество цементита ($\text{Ж} \longrightarrow \text{A} + \text{ПГ} + \text{Ц}$), то он при наличии кремния теряет устойчивость и быстро распадается с образованием АПГ .

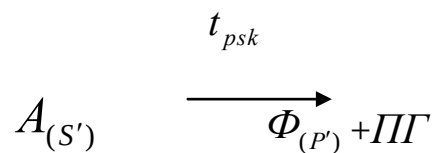


Рисунок 9. Микроструктура серого чугуна с перлитной металлической основой. X 200



Рисунок 10. Микроструктура серого чугуна с ферритной металлической основой. X 200

Металлическая основа серых чугунов, как и ковких, формируется из аустенита при эвтектоидном распаде. Образование перлита (диаграмма метастабильного состояния, область t_{psk}) происходит легко, в сравнительно короткий промежуток времени. Получается *серый чугун на перлитной металлической основе* (рисунок 9). Формирование же феррита, т. е. распад аустенита по диаграмме стабильного состояния,



протекает крайне инертно и только около имеющихся пластин графита. Вокруг ПГ образуется ферритная оторочка той или иной ширины. Получается *чугун с ферритно-перлитной металлической основой*.

Для получения *ферритного серого чугуна* (рисунок 10) оставшийся перлит устраняется путем изотермической выдержки при 690–650 °С, цементит

перлита распадается на $\Phi + ПГ$. В этом случае чугун необходимо модифицировать.

При конструировании деталей машин следует учитывать, что серые чугуны работают на сжатие лучше, чем на растяжение. Они мало чувствительны к надрезам при циклическом нагружении, хорошо поглощают колебания при вибрациях, обладают высокими антифрикционными свойствами из-за смазывающей способности графита. Серые чугуны хорошо обрабатываются резанием, дешевы и просты в изготовлении.

Согласно ГОСТ 1412-85, отливки изготавливают из чугуна следующих марок: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35. Цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении (σ_B , кгс/мм²). Чугун СЧ10 – ферритный, СЧ15, СЧ18, СЧ20 – ферритно-перлитные, начиная с СЧ25 – перлитные. Из ферритно-перлитных чугунов в автомобилестроении изготавливают картеры, тормозные барабаны, крышки и др.; из перлитных – блоки цилиндров, гильзы, маховики и др. В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы и верхние салазки, шпиндельные бабки, колонки, каретки и др.). Для производства деталей с толщиной стенок менее 100 мм рекомендуются чугуны СЧ28, СЧ30, более 100 мм – СЧ35. Из серого чугуна, содержащего фосфор (0,5 % Р), изготавливают художественные изделия.

В настоящее время наблюдается тенденция к замене ковкого чугуна высокопрочным чугуном с графитом шаровидной формы ($ШГ$), который в меньшей степени ослабляет металлическую основу, чем графит хлопьевидной и тем более пластинчатой форм. Такой чугун получают модифицированием (микролегированием) жидкого чугуна присадками (0,1–0,5 % магния от массы обрабатываемой порции чугуна, 0,2–0,3 % церия, иттрия и некоторых других элементов). При этом перед вводом модификаторов необходимо снизить содержание серы до 0,02–0,03 % (против 0,1–0,15 % в СЧ и КЧ), что

существенно сдерживает широкое внедрение высокопрочного чугуна в производство.

Рекомендуемый химический состав высокопрочного чугуна (2,7–3,7 % С; 0,5–3,8 % Si) выбирается в зависимости от толщины стенки отливки (чем тоньше стенка, тем больше углерода и кремния). Часто в структуре отливок образуется ледебурит. В этом случае их подвергают высокотемпературному графитизирующему отжигу, подобно белому чугуну, для разложения цементита. Продолжительность отжига чугуна с графитом шаровидной формы значительно меньше продолжительности отжига белого, так как в ВЧ содержание графитизирующих элементов (углерода, кремния) более высокое.

Согласно ГОСТ 7293-85, отливки изготавливают из высокопрочного чугуна следующих марок: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 (цифры в обозначении соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении σ_B , кгс/мм²).

Высокопрочный чугун обладает хорошими литейными и технологическими свойствами, применяется для замены стальных литых и кованных деталей (коленчатые и распределительные валы, детали зубчатых передач и др.). Для повышения износостойкости деталей из ВЧ применяется азотирование (или азотирование с последующей обдувкой дробью), при котором в поверхностных слоях изделий создаются благоприятные сжимающие напряжения. Рекомендуется также подвергать изделия объемной закалке. Образование мелкоигльчатого мартенсита в закаленном поверхностном слое изделий способствует повышению их износостойкости в три и более раз.

К числу высокопрочных относят чугуны с графитом вермикулярной (греч. *червячок*) формы (ВГ).

Для улучшения прочностных и эксплуатационных характеристик или придания специальных свойств (жаростойкость, коррозионная стойкость и др.) чугуны легируют. Так, жаростойкие чугуны содержат 5–7 % Si (силал), коррозионно-стойкие – 12–18 % Si (ферросилал). Высокой износостойкостью

обладают так называемые половинчатые чугуны (ИЧ). В них часть углерода находится в свободном состоянии в виде *ШГ* или *ПГ*, часть – в связанном, в виде цементита. К таким чугунам относятся, например, серый чугун марки ИЧНХ2, легированный никелем и хромом, а также чугуны ИЧХНТ, ИЧН1МШ (шаровидный графит). Из этих чугунов отливают детали двигателей внутреннего сгорания (крышки и днища цилиндров, головки поршней и др.).

К износостойким относится отбеленный серый чугун (ОЧ), имеющий тонкий поверхностный слой со структурой белого чугуна. Применяется для изготовления отливок прокатных валов, вагонных колес и т. п.

Для определения в сплаве наличия графита и формы его включений шлиф первоначально исследуют в нетравленном состоянии. Графит выглядит темной фазой на светлом фоне нетравленного шлифа. По форме графита (см. рисунок 1) устанавливают вид чугуна: серый, ковкий, высокопрочный. Затем изучают металлическую основу травленных чугунов. Детальную оценку структуры производят по ГОСТ 3443-79, согласно которому структура чугуна оценивается как по графиту, так и по матрице. Определяют форму графита, его распределение, содержание и размеры включений (при оценке матрицы – тип структуры, содержание перлита и феррита и т. д.).

Оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Набор микрошлифов сталей и чугунов.
3. Атлас микроструктур сталей и чугунов в равновесном состоянии.

1. Стенд фотографий микроструктур сталей и чугунов в равновесном состоянии.

2. Плакаты.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии

машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Начертить область диаграммы состояния системы $Fe-Fe_3C$, соответствующую сталям и чугунам.
2. Дать характеристику фаз и структурных составляющих сталей определенных марок.
3. Изучить и зарисовать микроструктуру доэвтектоидных, эвтектоидной и заэвтектоидных сталей, указать их свойства и области применения.
4. Изучить влияние содержания углерода и цементита в исследуемых сталях на их свойства (например, на твердость), построить график соответствующей зависимости.
5. Определить содержание углерода и марку предложенной преподавателем стали, указать ее свойства и область применения.
6. Вычертить двойную диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов, ее участок, соответствующий чугунам.
7. Описать фазы и фазовые превращения, возможные в чугунах.
8. Дать определение белых чугунов. Изучить, зарисовать и объяснить их микроструктуру. Указать химический состав. Описать процесс структурообразования БЧ химического состава, заданного преподавателем. Описать свойства и назвать область использования БЧ.
9. Дать определение ковких чугунов. Описать способ их получения, начертить график отжига. Объяснить формирование структуры КЧ с определенной (по заданию преподавателя) металлической основой. Изучить, зарисовать и объяснить микроструктуру. Указать химический состав, свойства и область применения КЧ. Объяснить принцип их маркировки.
10. Дать определение серых чугунов. Указать их химический состав, описать процесс структурообразования. Изучить, зарисовать и объяснить

микроструктуру. Привести марки СЧ, назвать их механические свойства и область применения.

11. Дать определение высокопрочных чугунов. Объяснить способ получения, указать химический состав. Изучить, зарисовать микроструктуру. Назвать марки ВЧ, их свойства, область применения и преимущества перед другими (СЧ и КЧ) чугунами.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Рисунки основных видов микроструктур сталей и чугунов.
3. Описание фаз и структурных составляющих сталей и чугунов.
4. Маркировку и классификацию углеродистых сталей.
5. Маркировку и классификацию чугунов.
6. Выводы по результатам работ.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под равновесным состоянием сплавов?
2. Покажите на диаграмме состояния железо-углерод область стали и чугуна.
3. Какое содержание углерода у доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей?
4. Структурные составляющие сталей.
5. Дать определения цементита, феррита, перлита, ледебурита.
6. Как маркируются стали обыкновенного качества?
7. Как маркируются качественные стали?
8. Маркировка инструментальных углеродистых сталей.
9. Какими способами делают изделия из стали?
10. Фазы и фазовые превращения в чугунах.
11. Пути повышения износостойкости изделий из сталей.

12. Какое содержание углерода у доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов?
13. Температура плавления железа и чугуна.
14. Дать определения цементита, феррита, перлита, ледебурита.
15. В какой форме содержится углерод в белых, серых и высокопрочных чугунах?
16. Маркировка чугунов.
17. График отжига белого чугуна на ковкий.
18. Какими способами делают изделия из чугуна?
19. Фазы и фазовые превращения в чугунах.
20. Пути повышения износостойкости изделий из чугунов.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Худокормова, Р.Н. Материаловедение. Практикум. [Электронный ресурс] / Р.Н. Худокормова, Ф.И. Пантелеенко, Д.А. Худокормов. – Электрон. дан. – Минск : Новое знание, 2014. – 311 с.
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. -

670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662.
- ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 4

Термическая обработка сталей

Цель работы

Изучение методики назначения режимов отжига, закалки и отпуска, приобретение практических навыков проведения различных операций термической обработки, установление связи между структурой термически обработанных сталей, их диаграммами изотермического распада аустенита и механическими свойствами.

Формируемые компетенции

ИД-2_{УК-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Около 40% стали, потребляемой машиностроением для изготовления деталей машин, приборов, оборудования, подвергают различным видам термической обработки. Под термической обработкой сплавов понимают сово-

купность операций теплового воздействия на металлы (иногда в сочетании с химическим, механическим и другими воздействиями) с целью изменения их структуры, а, следовательно, и свойств. Поскольку основными факторами при термической обработке являются температура и время, то любой процесс термической обработки можно представить в этих координатах.

Основные параметры режима термической обработки – температура нагрева (t_n), скорость нагрева (τ_B), продолжительность выдержки при температуре нагрева (ν_n) и скорость охлаждения (ν_0).

Температура нагрева сплава при конкретном виде термической обработки определяется температурами фазовых превращений (критическими температурами) на соответствующей диаграмме его состояния. Эти критические температуры для каждой стадии обозначаются буквой A с соответствующим индексом (A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_{ct}). Критические точки A_1 на линии PSK показывают превращение $A \rightarrow P$ (при охлаждении) или $P \rightarrow A$ (при нагреве); A_3 на линии SE – начало выделения феррита из аустенита при охлаждении или конец его растворения при нагреве; A_{ct} на линии SE – начало выделения цементита вторичного из аустенита в заэвтектоидных сталях при охлаждении или конец его растворения при нагреве.

Поскольку при нагревах и охлаждениях сплавов с реальными скоростями фазовые превращения в твердом состоянии протекают со значительным тепловым гистерезисом, следует отличать критические температуры при нагреве сплава, которые обозначаются A_{C1} , A_{C3} , A_{Ccm} , от аналогичных температур при охлаждении A_{r1} , A_{r3} , A_{rcm} .

Температура нагрева при термической обработке сталей во избежание их оплавления не должна превышать линии солидуса.

Скорость нагрева выбирается в зависимости от ряда факторов: теплопроводности стали, формы и размеров деталей, общей массы нагреваемых деталей, характера их расположения в печи и некоторых других. Продолжительность выдержки при заданной температуре нагрева определяется

скоростью фазовых превращений, происходящих в металле. Выдержка необходима для завершения фазовых превращений и выравнивания температуры по объему детали.

Скорость охлаждения выбирается в зависимости от степени устойчивости переохлажденного аустенита, определяемой преимущественно химическим составом стали, а также от требуемых структуры и свойств сплава. В зависимости от скорости охлаждения углеродистой стали могут быть получены перлитная, сорбитная, трооститная или мартенситная структуры с различными свойствами.

В соответствии с общепринятой классификацией (по А. А. Бочвару) термическая обработка делится на собственно термическую, химико-термическую и деформационно-термическую. Первая в свою очередь включает четыре основные группы: отжиг первого рода, отжиг второго рода, закалка, отпуск.

Отжиг первого рода способствует устранению отклонений в структуре сплавов от равновесного состояния, возникших при литье, деформировании, механической обработке, сварке и других технологических процессах. Различают следующие основные виды отжига первого рода: диффузионный, рекристаллизационный, низкий.

Диффузионный, или гомогенизирующий, отжиг применяется для устранения ликвации, т. е. неоднородности химического состава внутри отдельных зерен или в объеме сплава, возникающей чаще всего в процессе кристаллизации. Он состоит из нагрева стали до температур, значительно превышающих критические ($1050-1200^{\circ}\text{C}$) и обеспечивающих диффузию неравномерно распределенных элементов, а также длительной выдержки (10...100 ч) и медленного охлаждения (с выключенной печью).

Для устранения различных отклонений в структуре сплавов от равновесного состояния, возникших в результате наклепа при пластической деформации, применяется *рекристаллизационный отжиг*. Он включает нагрев

до температур, превышающих температуру рекристаллизации (для стали $T_{\text{рекр}} = 0,3 - 0,4 T_{\text{пл}}$), выдержку (1 – 2 ч) и медленное охлаждение.

Низкий отжиг применяется для устранения остаточных внутренних напряжений, возникающих, например, в зоне термического влияния при сварке изделий, вследствие неравномерного охлаждения отливок или срезания отдельных объемов металла при механической обработке и нарушения установившихся напряжений между отдельными частями детали. Он включает нагрев металла до температур 150 -700°C, выдержку и последующее медленное охлаждение.

Отжиг второго рода (фазовая перекристаллизация) – термическая обработка, включающая нагрев стали до температур, превышающих A_{C1} или A_{C3} , выдержку и медленное охлаждение и имеющая целью обеспечение фазовых превращений и достижение практически равновесных (в соответствии с диаграммой состояния системы Fe -Fe₃C) фазового и структурного состояний. После отжига структура сталей такова: доэвтектоидных – Ф + П; эвтектоидной – П; заэвтектоидных – П + Ц_ц. Поскольку такой отжиг обеспечивает минимальную твердость и наилучшую обрабатываемость стали резанием, как правило, он является подготовительной термической обработкой перед обработкой резанием. Однако в некоторых случаях (например, для крупных отливок) он может быть и окончательным видом обработки. Различают следующие основные виды отжига второго рода: полный, неполный, нормализационный, изотермический.

При *полном отжиге* сталь нагревают до температуры, на 30–50°C превышающей A_{C3} , выдерживают при этой температуре, медленно охлаждают до 500 – 600°C вместе с печью, а затем на воздухе. Полный отжиг обеспечивает полную фазовую перекристаллизацию и применяется обычно для доэвтектоидных сталей.

При *неполном отжиге* температура нагрева стали на 30 – 50 °C выше A_{C1} , но не превышает A_{C3} или A_{Ccm} . После выдержки сталь медленно охлаждают с печью. При нагреве происходит частичная (неполная) перекристаллизация

стали (в структуре $\Phi + \Pi$ или $\Pi + \text{Ц}_{\Pi}$ только перлит превращается в аустенит). Неполный отжиг, проводимый обычно для заэвтектоидных сталей, называют сфероидизацией. Он позволяет получать сталь со структурой зернистого перлита. Такая сталь имеет более низкую твердость, большую пластичность и лучшую обрабатываемость резанием, чем сталь с пластинчатым перлитом.

Нормализационный отжиг (нормализация) включает нагрев доэвтектоидной стали до температуры, на $30-50^{\circ}\text{C}$ превышающей A_{C3} , а заэвтектоидной – на $30-50^{\circ}\text{C}$ превышающей A_{Ccm} , изотермическую выдержку и охлаждение на спокойном воздухе. Ускоренное охлаждение при нормализации позволяет получить более дисперсную (измельченную) структуру стали, что приводит к повышению ее твердости и прочности по сравнению со сталью, подвергнутой полному отжигу. Поскольку температуры нагрева под нормализацию весьма высоки, во избежание значительного роста зерна металла выдержка должна быть минимальной, но обеспечивающей равномерный прогрев изделия по всему сечению.

Нормализацией устраняется цементитная сетка в заэвтектоидных сталях при подготовке их к закалке. Учитывая более высокую производительность нормализации по сравнению с полным или неполным отжигом, их часто заменяют ею при подготовке углеродистых сталей к механической обработке.

Изотермический отжиг включает нагрев стали до температуры, на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ превышающей A_{C3} , выдержку, а затем перенос детали в другую печь с заданной температурой (ниже A_1) и изотермическую выдержку ее до полного распада аустенита. Изотермический отжиг улучшает обрабатываемость резанием и применяется для деталей и заготовок небольших размеров.

Закалка – термическая обработка, включающая нагрев стали выше критических температур, изотермическую выдержку и последующее охлаждение со скоростью выше критической ($v_{кр}$). Под критической скоростью закалки понимают минимальную скорость охлаждения, обеспечивающую бездиффузионное превращение аустенита в мартенсит. Цель закалки – повышение твердости, прочности и износостойкости стали. Изменяя скорость

охлаждения нагретых сталей, имеющих аустенитную структуру, и варьируя тем самым степень переохлаждения, можно получать стали с различными структурой и свойствами (рисунок 1).

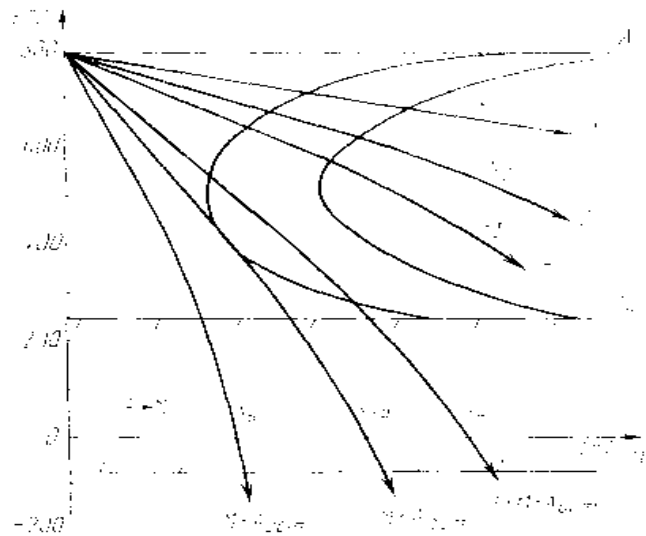


Рисунок 1. Диаграмма изотермического распада
переохлажденного аустенита с наложенными на нее кривыми охлаждения

Так, при небольших скоростях охлаждения в интервале температур 720 - 550 °С из аустенита образуются пластинчатые ферритно-цементитные смеси (перлит, сорбит или троостит). По мере увеличения скорости охлаждения дисперсность смеси, неравновесность структуры стали, а следовательно, ее твердость и прочность возрастают. При охлаждении со скоростью выше критической из аустенита образуется мартенсит, представляющий собой пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в решетку α -Fe. Зависимость критической скорости закалки от содержания углерода в стали представлена на рисунке 2. На $v_{кр}$ влияют также вид охлаждающей среды, размер зерна и легирующие элементы.

По возрастанию интенсивности охлаждения применяемые в практике термической обработки охлаждающие среды можно расположить так: минеральные масла, вода, водные растворы солей, кислот, щелочей. Для закалки углеродистых сталей предпочтительны вода или водные растворы солей. Идеальный охладитель при закалке такой, который не допускает распада

аустенита на перлитные структуры, обеспечивая максимальную скорость охлаждения в интервале температур $A_1 - M_n$ и минимально допустимую в мартенситном интервале, что исключает появление значительных внутренних структурных и термических напряжений, коробления, трещин.

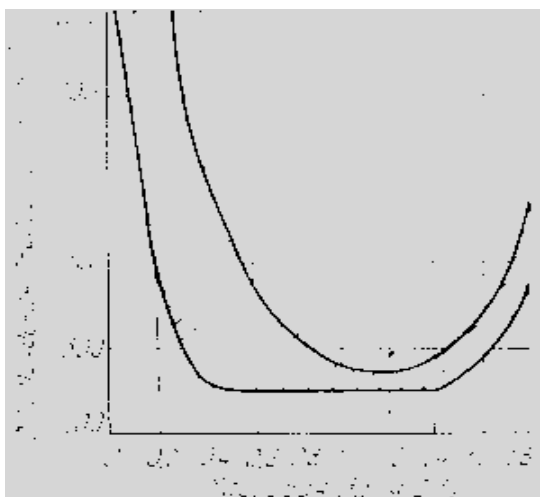


Рисунок 2. Критическая скорость закалки в зависимости от содержания углерода в стали

Недостатки воды как охладителя: высокая скорость охлаждения в мартенситном интервале и резкое падение охлаждающей способности при ее нагреве. Минеральные масла лишены этих недостатков, но характеризуются в несколько раз меньшей охлаждающей способностью. Поэтому их целесообразнее применять для охлаждения легированных сталей, критическая скорость закалки которых меньше, чем углеродистых. При расчете продолжительности нагрева τ_n под термическую обработку можно руководствоваться таблицей 1. Продолжительность изотермической выдержки (τ_B) принимают чаще всего равной 1/5 от общей продолжительности нагрева.

Таблица 1. Ориентировочная продолжительность нагрева стальных изделий

Тип нагревательного устройства	Температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность нагрева (с) на 1 мм диаметра изделия из стали	
		углеродистой	легированной

Пламенная печь	800 – 900	60 – 70	65 – 80
Электropечь	770 – 820	60 – 65	70 – 75
	820 – 880	50 – 55	60 – 65
Соляная ванна	770 – 820	12 – 14	18 – 20
	820 – 880	10 – 12	16 – 18

Закалку доэвтектоидных сталей, включающую нагрев до температур выше A_{C_3} , т. е. в аустенитное состояние, называют *полной*. Для заэвтектоидных сталей используют *неполную закалку*, при которой сталь, нагретая до температуры, несколько превышающей A_{C_1} , приобретает структуру $A + C_{II}$, при охлаждении претерпевает лишь превращение $A \longrightarrow M$, т. е. частичное (неполное) изменение структуры. Сохранение некоторой доли твердого и износоустойчивого цементита вторичного способствует повышению прочностных свойств стали. Полная закалка заэвтектоидных сталей с нагревом до температур, превышающих $A_{C_{cm}}$, приводит к повышению содержания в них аустенита остаточного и ухудшению свойств закаленных сталей.

Неполная закалка для доэвтектоидных сталей нежелательна, так как после нее наряду с твердым мартенситом сохраняется мягкий избыточный феррит. В промышленности в зависимости от характера охлаждения применяют различные способы закалки: в одном или двух охладителях, струйчатую, ступенчатую, изотермическую, с самоотпуском. Во избежание коробления или образования трещин вследствие высоких внутренних напряжений, возникших при закалке, в дальнейшем сталь подвергают отпуску.

Отпуск – операция термической обработки, включающая нагрев закаленной стали до температур ниже A_{C_1} выдержку при этой температуре, охлаждение. Цель отпуска – уменьшение внутренних напряжений в металле и получение требуемых структуры и свойств. При нагреве закаленной стали со структурой мартенсита или мартенсита и аустенита остаточного протекают следующие превращения. До температуры 100°C (стадия предвыделения) в мартенсите происходит диффузионное перераспределение углерода. Образуются ультрамикроскопические объемы с содержанием углерода и

структурой, близкими к аналогичным показателям той фазы, которая должна выделиться. На первой стадии отпуска в интервале температур 100-200 °С в результате выделения из мартенсита углерода образуется ε -карбид (Fe_2C) в виде тонких пластин. Решетка карбида когерентно связана с решеткой мартенсита, который значительно обеднен углеродом (0,25-0,35 % С). На первой стадии (200-300 °С) аустенит остаточный превращается в смесь мартенсита с 0,25-0,35 % С и когерентного ε -карбида. Одновременно происходит дальнейшее выделение углерода из мартенсита, который обедняется углеродом (0,1 %С), становясь отпущенным, решетка его из тетрагональной трансформируется в кубическую. Обогащаясь углеродом, ε -карбид превращается в цементит Fe_3C .

На третьей стадии отпуска (300-350 °С) заканчивается выделение углерода из мартенсита, который становится ферритом. Происходит срыв когерентности решетки феррита и цементита. В конечном итоге к концу третьей стадии отпуска формируется смесь феррита и цементита

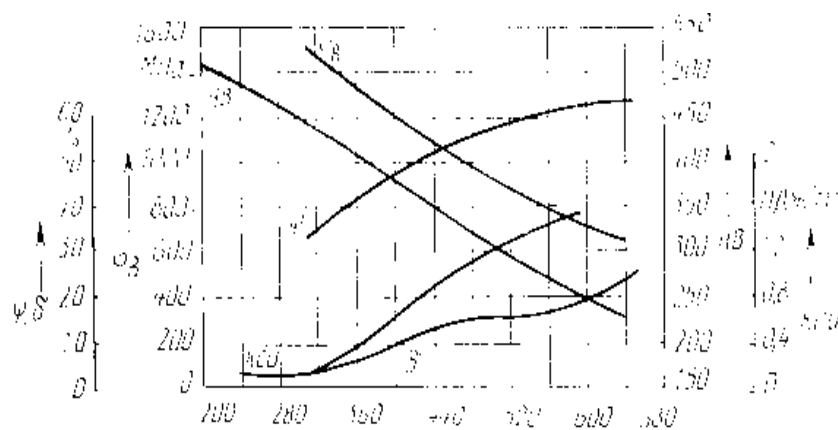


Рисунок 3. Зависимость механических свойств стали от температуры отпуска

Дальнейший нагрев стали приводит к коагуляции (рост с одновременным округлением) ферритно-цементитной смеси. Зернистая ферритно-цементитная смесь, образующаяся при отпуске (350-500 °С) из мартенсита, называется

трооститом отпуска, при 500-650 °С – сорбитом отпуска, выше 650 °С – перлитом отпуска.

Троостит, сорбит и перлит отпуска в отличие от получаемых из аустенита при непрерывном охлаждении имеют зернистое, а не пластинчатое строение. Стали с зернистой структурой характеризуются более высокой пластичностью и лучшей обрабатываемостью резанием.

На рисунке 3 представлена зависимость механических свойств углеродистой стали от температуры отпуска. По этой зависимости различают низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий) виды отпуска.

Низкий отпуск включает нагрев закаленной стали до 150-250°С. Он применяется для придания поверхностным слоям изделий высоких твердости и износостойкости. Низкий отпуск, несколько уменьшающий внутренние напряжения, повышающий вязкость стали при сохранении ее высокой твердости, широко применяют при изготовлении мерительного, режущего и штампового инструмента (шаблоны, фрезы, метчики, зубила, штампы, волокни и др.), для деталей после науглероживания.

При *среднем отпуске* закаленная сталь нагревается до 300-400°С, чем обеспечивается получение структуры троостита отпуска, обладающего достаточными твердостью (40-55 HRC) и прочностью при высоком пределе упругости. Средний отпуск еще в большей степени, чем низкий, способствует уменьшению внутренних напряжений и наиболее часто применяется при термической обработке рессор и пружин.

Высокий отпуск включает нагрев закаленной стали до 500-650 °С и обеспечивает получение структуры сорбита отпуска, обладающего хорошим комплексом свойств (прочность, ударная вязкость, твердость). Закалку с высоким отпуском поэтому называют *улучшением* и применяют для ответственных деталей из среднеуглеродистых сталей (коленчатые валы, шатуны и т. д.).

Оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7, ММУ-3.
2. Набор микрошлифов сталей после термической обработки.
3. Атлас микроструктур.
4. Фотостенд микроструктур сталей и чугунов в неравновесном состоянии.
5. Плакаты по термической обработке сталей и чугунов.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Составить режимы отжига, нормализации, закалки и отпуска стали 45, используя справочники, марочники сталей и материалы данной работы.
2. Ознакомиться с принципами работы лабораторных нагревательных устройств.
3. Измерить твердость серии образцов из стали 45 до закалки.
4. Загрузить образцы из стали 45 в заранее разогретую печь и провести различные операции термической обработки в соответствии с рассчитанными режимами.
5. Измерить твердость образцов из закаленной стали 45 и закаленных сталей с различным содержанием углерода (0,2; 0,4; 0,8; 1,2%).
6. Закаленные образцы из стали 45 подвергнуть отпуску при различных температурах (200 °С, 400 °С, 600 °С) и затем измерить их твердость. Результаты всех измерений внести в таблицы.

7. Проанализировать скорость охлаждения стали при отжиге, нормализации и закалке и ее влияние на свойства стали 45.

8. Построить графики влияния содержания углерода и температуры отпуска на твердость закаленной стали.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретические основы.
3. Режимы полного отжига, нормализации, закалки и отпуска стали 45.
4. Результаты замеров твёрдости образцов из закаленных сталей с различным содержанием углерода и подвергнутых отпуску при различных температурах в виде графиков.
5. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под термообработкой?
2. Что такое отжиг и нормализация? Режимы. Свойства стали после этих видов термообработки.
3. Структура стали после отжига и нормализации.
4. Оборудование для термической обработки образцов из стали.
5. Инструменты и приборы для замера твердости образцов после различных видов термообработки.
6. Что понимается под закалкой? Режим закалки конструкционных и инструментальных сталей.
7. Внутренние, остаточные напряжения и меры их уменьшения.
8. Виды отпуска. Назначение. Режимы. Структура после отпуска.
9. Диаграмма изотермического распада и превращения переохлажденного аустенита.
10. Скорость нагрева и охлаждения при различных видах термической обработки.

11. Примеры применения отдельных видов термообработки.

12. Методы измерения твердости стальных образцов после различных методов обработки.

13. Кристаллические решетки аустенита и мартенсита.

14. Каким методом уменьшают количество остаточного аустенита.

Режимы.

15. Микроструктуры закаленной доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Двоеглазов, Г. А. Материаловедение: [учебник] / Г.А. Двоеглазов. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 445 с. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 421-422. - ISBN 978-5-222-24320-6

2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2

2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 5

Исследование характеристик электросварочных аппаратов

Цель работы

Изучить оборудование и исследовать характеристики электрической дуги и электросварочных аппаратов. Научить элементарным навыкам настройки и регулировки электросварочного оборудования на оптимальный режим по качеству сварного шва. Изучить вольт-амперную характеристику источника сварочного тока и электрической дуги.

Формируемые компетенции

ИД-2_{УК-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

При электродуговой сварке энергия, расходуемая на нагрев и плавление металла, выделяется дуговым разрядом.

Процесс образования сварного соединения при дуговой сварке разделяется на этапы: зажигание дуги, поддержание дугового разряда, плавление металла и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок, прекращение сварки и кристаллизация – затвердевание шва.

Устойчивость дуги и режима сварки зависят от условий существования дугового разряда и свойств, параметров источников питания и электрической цепи.

Все источники сварочного тока должны обеспечивать возможность кратковременного замыкания, надежности зажигания и горения дуги, возможность регулирования сварочного тока.

При сварке постоянным током электрическая дуга питается от генератора или выпрямителя, а при переменном токе от сварочных трансформаторов.

Для ручной электродуговой сварки применяются сварочные преобразователи типа ПСО-300, ПСО-500, мощностью 28 кВт, величиной тока соответственно 300, 500 А, рабочее напряжение до 40 В.

Сварочные трансформаторы типа СТН-300, ТД-300 (500, 1000, 2000 А) и более современные ТД-303, ТД-504, ТСП-1, ТСП-2 и выпрямители типа ВС-600, ВСС-600.

Генераторы – сварочные преобразователи, имеют две обмотки: намагничивающую (возбуждения) и размагничивающую, включенную в сварочную цепь. При сварке размагничивающая обмотка создает магнитный поток, обратный потоку, создаваемому намагничивающей обмоткой, и потому результирующий поток уменьшается, уменьшается и напряжение на зажимах генератора. Силу сварочного тока регулируют реостатом магнитного тока в генераторе приводит к увеличению силы сварочного тока.

Трансформаторы имеют первичную и вторичную обмотки. Первичная обмотка включена в силовую сеть, а вторичная в сварочную цепь. Силу сварочного тока регулируют изменением величины магнитного потока, который, в свою очередь, меняется за счет изменения расстояния между катушками с обмотками или за счет увеличения или уменьшения расстояния между коромыслом и основным магнитоприводом дросселя. При сближении обмоток сила сварочного тока увеличивается. При увеличении зазора в дросселе индуктивное сопротивление увеличивается и соответственно уменьшается ток в сварочной цепи. Принципиально электрические схемы

источников тока и их работу и регулировку можно изучить по плакатам и литературе, рекомендуемой в конце данного сборника.

Требования к источникам тока. Источник сварочного тока должен обеспечить напряжение холостого хода в 2–3 раза больше, чем рабочее напряжение, т.е. 40–60 В при сварке постоянным током металлическим электродом и угольным 50–60 В, а при сварке переменным током неметаллическим электродом 50–70 В. Ток короткого замыкания должен быть не более чем удвоенное значение сварочного тока. Источник сварочного тока должен обладать крутопадающей внешней (вольт-амперной) характеристикой, которая необходима для возбуждения и устойчивого горения дуги, ограничение тока короткого замыкания, равномерной сварки при различных колебаниях режима и регулирования (рисунок 1, 2, 3).

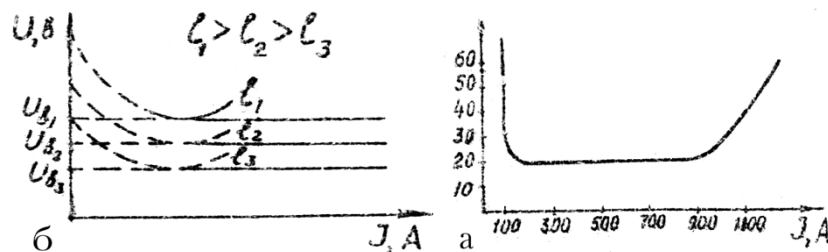


Рисунок 1. Электрические свойства дуги:

a – статическая вольт-амперная характеристика дуги *б* – зависимость напряжения дуги от ее длины

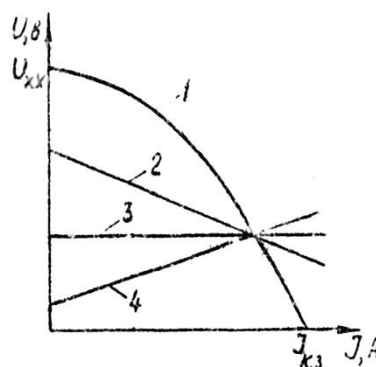


Рисунок 2. Типовые внешние характеристики источников сварочного тока:

1 – падающая; 2 – пологопадающая; 3 – жесткая; 4 – возрастающая

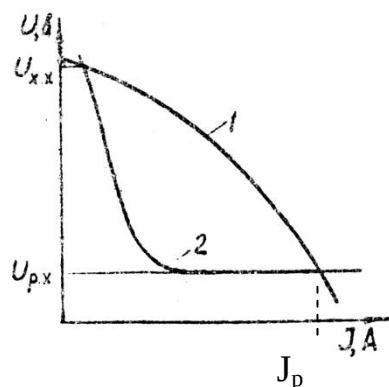


Рисунок 3. Соотношение внешней характеристики источника сварочного тока и электрической дуги: 1 – падающая характеристика источника сварочного тока; 2 – характеристика дуги

Оборудование и материалы

1. Электрод.
2. Источник типа: генератор, трансформатор.
3. Электрододержатель.
4. Вольтметр, амперметр с трансформатором тока.

При сварке постоянным током электрическая дуга питается от генератора или выпрямителя, а при переменном токе от сварочных трансформаторов.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Плотно замкнуть электрод на деталь (стол) и по показаниям амперметра записать значение тока;

2. Рабочий ток $I_{св}$ и U_o определить по наплавке валика (шва) с постоянной длиной дуги и записать их среднее значение. Постоянство длины дуги обеспечить касанием покрытия электрода на образец;

3. По показаниям вольтметра определить напряжение холостого хода при незамкнутой цепи;

4. Определить промежуточные показания вольтметра для построения внешней характеристики источника тока, для чего необходимо изменять (визуально) длину дуги l_o примерно в таких пределах 2–6 мм, фиксируя в каждом опыте (для каждой длины дуги) значения – $I_{св}$, U_o ;

5. Построить по этим данным вольт-амперную характеристику источника тока в координатах: напряжение – сила тока.

Для получения промежуточных точек вольт-амперной характеристики дуги необходимо изменить силу сварочного тока поворотом ручки дросселя, увеличивая или уменьшая противодействующий магнитный поток и записать соответственно U_1I_1 ; U_2I_2 ; U_3I_3 ; U_4I_4 ; U_5I_5 и т. д.

Примечание. В случае включения амперметра через трансформатор тока, показания амперметра умножить на коэффициент трансформации.

6. Определить коэффициент добротности источника тока. Коэффициент D должен быть больше 1,0, но меньше 2,0.

$$D = \frac{I_{к.з.}}{I_{св}} . \quad (1)$$

Содержание отчета

1. Цель работы, краткое описание теории и оборудования.
2. Данные опытов по определению напряжения, силы тока и длины дуги на разных режимах.
3. Построить графики вольт-амперной характеристики источника тока и дуги, и рассчитать коэффициент добротности;
4. Выводы с заключением о правильности настройки источника питания.

Контрольные вопросы

1. На что расходуется электроэнергия при электродуговой сварке?

Примерное соотношение.

2. Этапы процесса образования сварного шва.

3. От чего зависят устойчивость дуги и режим сварки?

4. Оборудование сварочного поста.

5. Краткая характеристика источника постоянного тока.

6. Марки (и расшифровка) сварочных генераторов и выпрямителей.

7. Краткая характеристика источника переменного тока.

8. Марки (и расшифровки) трансформаторов.

9. Как зависят направление дуги, увеличение противодействующего магнитного потока?

10. Как влияет на силу тока увеличение противодействующего магнитного потока?

11. Почему необходимо ограничение тока короткого замыкания?

12. Чему должен равняться ток короткого замыкания?

13. Что характеризует коэффициент добротности?

14. Чему равен коэффициент добротности источника тока?

15. Регулировку каких параметров должен обеспечить источник сварочного тока?

16. Для чего источник сварочного тока должен обладать крутопадающей характеристикой?

17. С помощью каких приборов контролируются параметры режима работы источников сварочного тока?

18. Укажите на графике внешней характеристики источника тока напряжение холостого и рабочего хода.

19. Как определить напряжение короткого замыкания?

20. Как определить рабочий ток и напряжение?

21. Как строится статическая характеристика дуги?

22. Как строится график внешней характеристики источника тока?

23. Что должно входить в содержание отчета по этой работе?

24. Почему напряжение холостого хода источника сварочного тока должно быть в 2 – 3 раза выше, чем рабочее?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Двоеглазов, Г. А. Материаловедение: [учебник] / Г.А. Двоеглазов. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 445 с. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 421-422. - ISBN 978-5-222-24320-6

2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2

2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 6

Определение режимов и технологических коэффициентов при ручной электродуговой сварке

Цель работы

Приобрести практические навыки ручной электродуговой сварки и научиться вести расчет режимов и технологических коэффициентов.

Формируемые компетенции

ИД-2_{УК-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Технологические коэффициенты при электродуговой сварке характеризуют экономическую эффективность сварки и правильность режима сварки. К технологическим коэффициентам относятся: K_n – коэффициент наплавки; K_p – коэффициент расплавления; K_n – коэффициент потерь. Коэффициенты K_n , K_p , K_n рассчитывают по формулам и по данным опыта.

Коэффициент наплавки характеризует технологическое качество применяемых электродов и определяется по формуле:

$$K_H = \frac{G_p}{I_{св} \cdot t} \text{ г/А}\cdot\text{ч}, \quad (1)$$

где G_p – количество расплавленного металла, г.

Коэффициент K_p не должен значительно превышать коэффициент K_n , т. к. это будет указывать на нерационально выбранный электрический режим

сварки. Чем больше разница между K_p и K_n , тем больше потери металла. Считается нормальным, если $K_p = (1,2-1,3)K_n$.

Коэффициент потерь рассчитывают по формуле:

$$K_{\pi} = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100 \% . \quad (2)$$

Оборудование и материалы

1. Сварочный пост с источником постоянного и переменного тока типа ПСС-300, СТШ-300.
2. Амперметр.
3. Вольтметр.
4. Весы с разновесами.
5. Пластина $100 \times 200 \times 10$ из низкоуглеродистой стали.
5. Электрод типа Э42-Р, Э46-Т, марки АНО-3, УОНИ 13/35 и др.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Рассчитать для заданной марки стали оптимальный режим сварки ($I_{св}$, $d_{э}$, $U_{св}$, $V_{св}$, $l_{д}$) на переменном и постоянном токе.
2. Рассчитать расход электроэнергии (P).
3. Взвесить электрод и пластину на весах с точностью до ∓ 1 г.
4. Настроить аппаратуру на необходимый режим.

5. Наплавить валик (шов) на пластину (за один проход расплавить не менее $\frac{3}{4}$ длины электрода).
6. Записать значение тока и времени сварки.
7. Взвесить последовательно на весах остаток электрода и пластину с наплавленным валиком.
8. Рассчитать количество наплавленного и расплавленного металла.
9. Определить технологические коэффициенты K_n , K_p , K_n .
10. Проверить правильность выбора режима сварки.

Содержание отчета

1. Цель и краткое содержание теории.
2. Расчет оптимального режима сварки на переменном и постоянном токе.
3. Расчет технологических коэффициентов.
4. Протокол опытных данных.
5. Выводы с оценкой правильности выбранного режима сварки и настройки аппаратуры.

Контрольные вопросы

1. Из каких параметров складывается режим сварки?
2. Чему равен диаметр электрода?
3. Определить силы сварочного тока.
4. Как увеличивается сила тока в зависимости от теплопроводности материалов?
5. Одинакова ли сила сварочного тока на постоянном и переменном токе при сварке изделий одного состава, размера, формы?
6. Почему при сварке на переменном токе сила сварочного тока должна быть больше, чем при сварке на постоянном токе?
7. Как устанавливается окончательная сила сварочного тока?
8. Чему равно напряжение дуги?
9. Формула Хренова К.К. для определения силы сварочного тока.

10. Чему равна длина дуги?
11. Как определяется скорость сварки?
12. Как определяется количество наплавленного металла?
13. Как определяется расход электроэнергии при сварке?
14. Чему равен коэффициент полезного действия трансформатора и генератора?
15. Чему равна мощность холостого хода трансформатора и генератора?
16. Сколько электроэнергии расходуется на 1 кг наплавленного металла при ручной электродуговой сварке на переменном и постоянном токе?
17. Что характеризуют технологические коэффициенты при электродуговой сварке?
18. Какие коэффициенты относятся к технологическим?
19. Как определяется коэффициент наплавки?
20. Чему обычно равен коэффициент наплавки?
21. Как определяется коэффициент расплавления, что он учитывает?
22. Чему обычно равен коэффициент расплавления?
23. Как определяется коэффициент потерь?
24. Чему равен расход электрода при опытной наплавке валика в этой работе?
25. Какое сварочное оборудование применяется при ручной электродуговой сварке? Краткая характеристика. Применение.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Двоеглазов, Г. А. Материаловедение: [учебник] / Г.А. Двоеглазов. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 445 с. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 421-422. - ISBN 978-5-222-24320-6
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2

2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 7

Исследование линейных свойств и определение коэффициентов усадки

Цель работы

Ознакомление с основами литейного производства. Изучение модельной оснастки. Исследование литейных свойств сплавов. Определение коэффициентов линейной и объемной усадки.

Формируемые компетенции

ИД-2_{ук-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Литейное производство – один из распространенных способов изготовления разнообразных деталей и изделий. Методами литья у нас в стране производится около 25 млн. тонн отливок.

Сущность литейного производства – заливка жидкого металла в форму с последующим охлаждением в ней. Полость формы по размерам и конфигурации отвечает изготавливаемым деталям. Детали или заготовки, изготовленные таким способом, называются отливками.

Литейные формы бывают разовые, полупостоянные и постоянные.

Разовые – из песчано-глинистых смесей, служат для одной отливки. Полупостоянные – из огнеупоров (графит, асбест, цемент и др.), для нескольких десятков отливок. Постоянные (кокили из металла) применяются сотни и тысячи раз.

Отливки получают способами: в песчано-глинистых формах и специальными (в металлические и оболочковые формы, по выплавляемым моделям, центробежные, литье под давлением и др.)

Большинство отливок (до 80 %) изготавливают в песчано-глинистых формах по следующему технологическому процессу:

- приготовление формовочных и стержневых смесей;
- изготовление стержней и литейных форм;
- расплавление металла;
- заливка металла в формы и затвердевание его в отливку;
- извлечение отливки из формы, обрубка и очистка ее;
- контроль качества отливки.

Для изготовления песчано-глинистых форм применяется модельная (литейная) оснастка.

Модельная (литейная) оснастка. В модельный комплект входят: модели детали, опоки, стержневые ящики – один или несколько, подмодельная плита, модель литниковой системы, формовочный инструмент.

Модели бывают: металлические, деревянные, пластмассовые и др. Модель-копия детали по наружной поверхности, но больше ее на величину усадки металла и припуска на механическую обработку. Окрашивают модели в красный цвет – для чугуна, синий – для стали, желтый – для цветных металлов. Отдельные выступы на модели окрашивают в черный цвет, это означает, что в отливке в этом месте будет отверстие или пустота. Такой выступ называется стержневой знак. Модели детали необходимы для получения в литейной форме наружных очертаний отливки (называемых литейной полостью). По конструкции модели могут быть цельные и разъемные.

Опоки – чугунные, стальные или алюминиевые рамки – служат для удержания формовочной смеси и образования литейной песчаной формы. Опоки имеют приливы на боковых стенках для центрирования и скрепления верхней опоки с нижней.

Стержневые ящики – служат для изготовления песчаных стержней, стержни – для получения отверстий и пустот в отливках (деталях). Ящики делают из дерева или металла, цельные или разъемные, с учетом литейной усадки и припусков на механическую обработку, стержневые полости ящика окрашивают в цвет модели.

Подмодельная плита – деревянная или металлическая – служит для установки на ней модели (полумодели) и опоки для изготовления формы.

Модель литниковой системы – для образования системы каналов, через которые поступает в полость формы жидкий металл.

Обычно литниковая система состоит из литниковой чаши (воронки) – 1, стояка – 2, шлакоуловителя – 3, питателей – 4. Окраска, как и основных моделей (рисунок 1).

Для чугунного литья площадь поперечных сечений питателей F_n , шлакоуловителя $F_{ш}$ и стояка $F_{ст}$ имеют соотношение:

$$F_n : F_{ш} : F_{ст} = 1 : 1,15 : 1,25$$

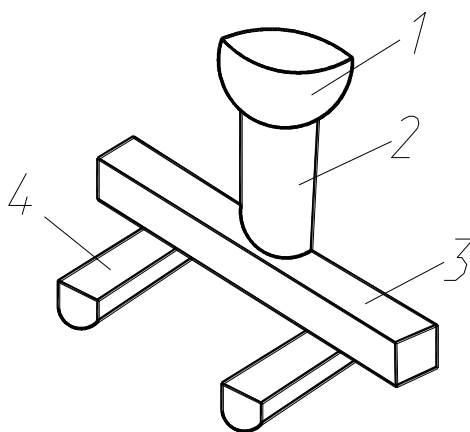


Рисунок 1. Схема литниковой системы

Формовочный инструмент: лопаты, сита, трамбовки, гладилки, ланцеты, крючки, ложки, линейки, иглы-душники и др. для формовки и отделки формы.

На рисунке 2 показана собранная форма, готовая к заливке (в разрезе). Обратите внимание на условные обозначения элементов формы: каналы литниковой системы и полость формы не штрихуются. На рисунке 2 б в

качестве примера приведен эскиз собранной формы для отливки из стали с горизонтальным стержнем. Обратите внимание на применение прибылей для питания отливки – верхних скрытых и прибыльных бобышек, расположенных в местах подвода металла в форму.

Определение усадки. *Усадка* – уменьшение линейных размеров или объема отливки в результате охлаждения и кристаллизации. Величина усадки зависит от химического состава сплава, температуры и скорости заливки его в форму, скорости охлаждения и сложности конфигурации отливки, от степени сопротивления усадке со стороны формы и стержня.

Различают линейную и объемную усадку. В среднем линейная усадка отливок из серого чугуна – 1 % из стали – 2 % и большинства цветных металлов – 1,5 %, объемная соответственно 3, 6, 4 %.

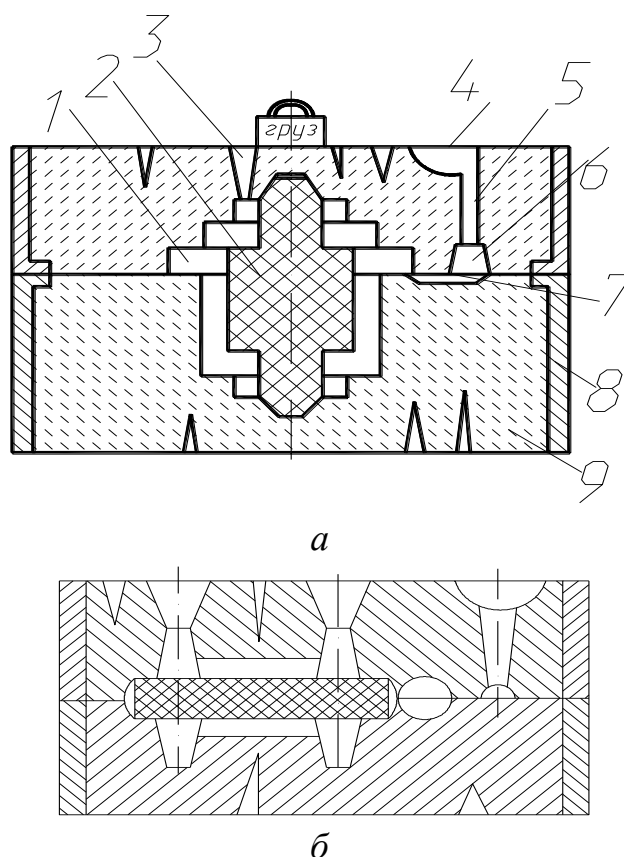


Рисунок 2. Схема собранной формы с прибылями: 1 – литейная полость формы; 2 – стержень; 3 – выпор; 4 – литниковая чаша; 5 – стояк; 6 – шлакоуловитель; 7 – питатель; 8 – опока; 9 – формовочная смесь

Определение линейной усадки. Под линейной усадкой понимается относительная разность в размерах модели полученной отливки, выраженная в процентах:

$$\varepsilon_l = \frac{l_m - l_o}{l_m} \cdot 100 \%, \quad \varepsilon_{\phi} = \frac{l_{\phi} - l_o}{l_{\phi}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где ε_l – линейная усадка, в %;

l_{ϕ}, l_m – длина модели;

l_o – длина отливки.

Усадка может быть свободной и затрудненной, когда имеются такие помехи, как сопротивление стержней, формы и др. Свободная и затрудненная усадка определяется с помощью отливки специальных образцов в песчаную форму (рисунок 3).

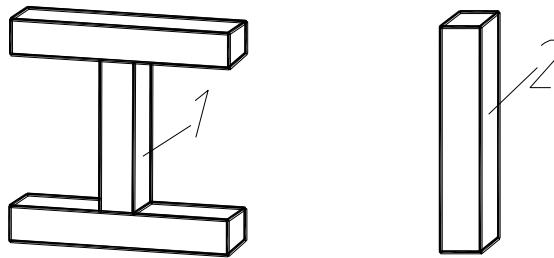


Рисунок 3. Схема моделей для отливки образцов:

1 – для затрудненной усадки; 2 – для свободной

Большей усадкой обладают сплавы, имеющие более широкий интервал кристаллизации.

Определение объемной усадки литьем в кокиль

Литьем в кокиль называют метод литья, когда жидкий сплав заполняет полость металлической формы под действием собственной силы тяжести.

Литье в кокиль относится к специальным видам литья. В кокилях можно изготавливать отливки из разных сплавов (алюминиевых, магниевых, медных, чугуна, стали и др.). Качество отливок значительно лучше, чем литье в

песчаных формах (точные размеры, ровнее поверхность, выше механические свойства). Процент брака отливок ниже, чем при литье в песчаные формы. В среднем он составляет 3 – 5 %.

Технология кокильного литья: приготовление сплава, подготовка кокиля к заливке, заливка жидкого металла и охлаждение, извлечение отливки из кокиля. Подготовка кокиля: покраска рабочей полости теплоизоляционным покрытием, смазка трущихся частей, подогрев и сборка (закрытие) кокиля. Теплоизоляционная краска позволяет выравнивать температурные условия кристаллизации различных частей отливки. Слой краски воспринимает на себя удар струи металла, устраняет его приваривание к кокилю и увеличивает срок службы.

В состав применяемых красок входят: мел, окись цинка, тальк, асбест, графит, жидкое стекло, сажа и другие компоненты. Состав краски №1 (в кг): мел – 0,120, жидкое стекло – 0,040, вода – 1,000.

Краску наносят пульверизатором на предварительно подогретый до 150 – 200 °С кокиль. После нанесения нового слоя краски кокиль перед заливкой металла подогревают до 150 – 300 °С. Заливку алюминиевых сплавов в кокиль производят из ковшей при температуре 680 – 720 °С. Прерывать струю во время заливки нельзя, так как это поведет к захватыванию воздуха, окислению металла и попаданию окислов в отливку.

Под объемной усадкой понимается относительная разность в объеме модели и отливки, выраженная в процентах:

$$\varepsilon_v = \frac{V_\phi - V_o}{V_\phi} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где ε_v – объемная усадка, в %;

V_m, V_ϕ – объем модели, формы;

V_o – объем отливки.

При изготовлении шаровой отливки в кокиль (рисунок 4) объемную усадку определяют по формуле:

$$\varepsilon_V = \frac{V_\phi - V_{ш}}{V_\phi} \cdot 100 \%, \quad \varepsilon_V = \frac{D_\phi^3 - D_{ш}^3}{D_\phi^3} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $V_{ш}$ — объем шара; $V_{ш} = \frac{\pi D^3}{6}$;

$D_{ш}$ — диаметр шара.

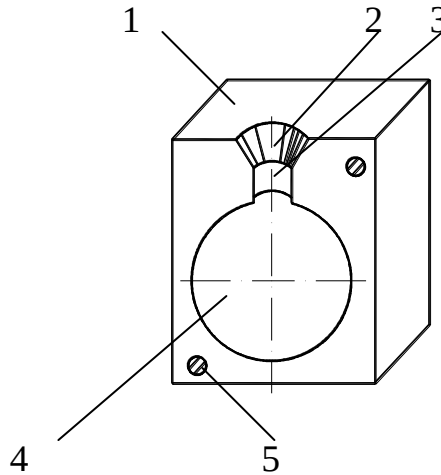


Рисунок 4. Схема кокиля в разрезе:

1 — полуформа; 2 — воронка; 3 — стояк; 4 — литейная полость; 5 — фиксаторы, полуфиксаторы

Оборудование и материалы

1. Модельная оснастка.
2. Плавильная печь.
3. Металлические и песчано-глинистые формы.
4. Сплав, отливки.
5. Мерительный инструмент.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Ознакомиться с содержанием работы.
2. Сделать записи и рисунки работы.
3. Изучить литейную оснастку.
4. Подготовить металлическую форму (кокиль), нагревательную печь и расплав металла (сплава).
5. Измерить линейные и объемные размеры кокилей.
6. Залить формы жидким металлом.
7. Извлечь отливки, измерить их размеры.
8. Определить литейную и объёмную усадку.
9. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткая запись содержания работы с рисунками.
3. Определение по формулам литейной усадки.
4. Выводы с указанием дефектов отливки и их причины.

Контрольные вопросы

1. Сущность литейного производства.
2. Способы получения отливок в литейном производстве.
3. Сколько процентов отливок получают в песчаных формах?
4. Технологический процесс получения отливок в песчаных формах.
5. Назначение модельной оснастки и ее комплектность.
6. Окраска моделей.
7. Устройство и назначение литниковой системы.
8. Почему разное поперечное сечение каналов литниковой системы?
9. Формовочный инструмент и его назначение.

10. Элементы собранной формы.
 11. Что такое усадка и ее виды?
 12. Как определить линейную усадку?
 13. Как подготовить металлическую форму (кокиль) для заливок?
 14. Температура нагрева формы (кокиля) перед заливкой.
 15. Состав краски для кокиля.
 16. Что такое свободная и затрудненная усадка?
 17. Какие сплавы обладают большей усадкой?
 18. Какая средняя усадка, чугуна, стали, цветных металлов?
 19. Как определить объемную усадку?
 20. Устройство металлической формы (кокиля).
 21. Преимущество литья в кокиль по сравнению с песчаными формами.
 22. Причины возникновения дефектов при заливке в холодный кокиль.
- инструментами для захвата и переноса тиглей.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Двоглазов, Г. А. Материаловедение: [учебник] / Г.А. Двоглазов. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 445 с. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 421-422. - ISBN 978-5-222-24320-6
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2

2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

Лабораторная работа 8

Исследование влияния температуры нагрева металла на усилие деформации

Цель работы

Определение температурного интервала обработки и исследование влияния температуры нагрева металла на усилие деформации.

Формируемые компетенции

ИД-2_{ук-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Температура является фактором, в наибольшей степени влияющим на пластичность и сопротивление деформированию. С повышением температуры

пластичность увеличивается, сопротивление деформированию уменьшается. Наибольшей пластичностью металлы обладают при температурах выше температуры рекристаллизации, поэтому в большинстве случаев металлы подвергаются горячей пластической деформации.

В обработке давлением совокупность пластичности и сопротивление определяют технологические свойства металла – ковкость. Чем выше пластичность и меньше сопротивление деформированию, тем лучше ковкость обрабатываемого металла.

Исследование влияния нагрева металла на усилие деформирования

Определение сопротивления металла деформированию характеризуется тем, что в процессе обработки давлением металл противодействует прилагаемым внешним силам. Это противодействие определяет сопротивление металла деформированию, которое равно напряжению σ_i , определяемому по формуле:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{F_i}, \text{ кг/мм}^2 \text{ (Мн/м}^2, \text{ МПа)}, \quad (1)$$

где P_i – усилие деформирования в некоторый момент времени, (кГ, Н);

F_i – площадь контакта между инструментом и заготовкой в момент действия силы, (мм²).

Под действием усилия изменяется форма и размеры исходной заготовки (рисунок 1). Количество формоизменения определяется степенью деформации ε_i :

при сжатии:

$$\varepsilon_{сж} = \frac{H_0 - H_{\kappa}}{H_0} \times 100, \%, \quad (2)$$

при растяжении:

$$\varepsilon_p = \frac{L_{\kappa} - L_o}{L_o} \times 100, \%, \quad (3)$$

где H_o, L_o – соответственно высота и длина исходной заготовки, мм;

H_k, L_k – соответственно высота и длина в момент действия силы P_k ,

мм.

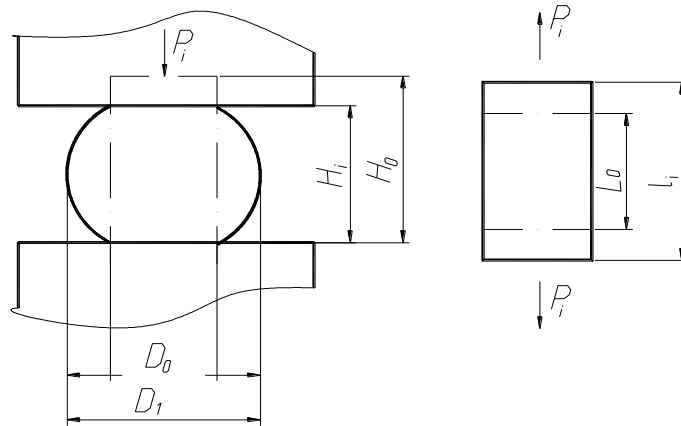


Рисунок 1. Схема приложения усилий при деформации

Определение скорости деформации

Скорость деформации равна степени деформации за единицу времени:

$$V_d = \frac{\varepsilon}{\Delta t} = \frac{H_0 - H_k}{H_0 \cdot \Delta t}, \text{ 1/с.} \quad (4)$$

Металл можно деформировать только до определенной степени деформации, после чего наступает разрушение. Максимально допускаемая степень деформации, не вызывающая разрушения, количественно определяет пластичность металла:

при сжатии (относительное сжатие):

$$\varepsilon_{сж} = \frac{H_0 - H_k}{H_0} \times 100 \%, \quad (5)$$

при растяжении (относительное растяжение):

$$\varepsilon_p = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100, \quad \%, \quad (6)$$

где H_k , L_k – соответственно высота и длина заготовки в момент разрушения.

Определение температурного режима. Температура нагрева и интервал обработки определяется по диаграмме состояния и по формуле:

$$T = \alpha \cdot T_{пл}, \quad \alpha_n = 0.9, \quad \alpha_k = 0.7, \quad (7)$$

где T – температура нагрева, °C;

α – коэффициент,

α_n и α_k – соответственно начальная и конечная температура обработки (температурный интервал $T_n = T_n - T_k$);

$T_{пл}$ – температура плавления $Al=658$ °C, $Fe=1539$ °C.

Определение удельного усилия при осадке. Удельное усилие деформации при осадке равно:

$$P_{уд} = \frac{P}{F_k}, \text{ кГ/мм}^2, \quad (8)$$

где P – полное усилие деформации;

$F_k = \frac{\pi D^2}{4}$ – площадь контакта образца с одной плитой;

D – контактный диаметр образца.

Оборудование и материалы

1. Пресс гидравлический.
2. Нагревательная печь.
3. Образцы.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии

машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Ознакомиться с устройством прессы и нагревательной печи.
2. Нагреть образцы из стали 20 до температур: 20, 300, 600, 900 °С.
3. Произвести осадку образцов при заданных температурах. При этом замерять и записывать высоту образца и показания шкалы (манометра) в таблицу 1.
4. Произвести расчет удельного усилия ($P_{y\partial}$), сопротивления (σ_i), и пластичности (δ) по формулам (1,5,8).
5. Построить графики зависимости $P_{y\partial}$, δ_i , δ от температуры нагрева.

Таблица 1. Результаты исследования опытных данных

Температура нагрева, °С	Размеры, мм					Усилие Р, кГ	Опытные данные		
	H ₀	H _k	D ₀	F _k	D _k		P _{уд}	σ, МПа	δ, %

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы, теоретические основы.
2. Опытные данные полного и удельного усилия деформации при 20°С, 300, 600 и 900 °С.
3. Графическая зависимость удельного усилия ($P_{y\partial}$), сопротивления ($\sigma_{сж}$) и пластичности (δ) от температуры нагрева металла. Расчетный интервал нагрева образца, а также эскиз образцов до и после осадки.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Сущность обработки давлением.
2. Виды обработки давлением.
3. Влияние температуры нагрева на пластичность и сопротивление деформированию.
4. Что такое ковкость и как она зависит от пластичности?
5. Чем характеризуется сопротивление металла деформированию?
6. Чем определяется формирование заготовки?
7. Чему равна скорость деформации?
8. Как определяется пластичность металла?
9. Формула для определения температуры нагрева.
10. Как определить удельное усилие деформации при осадке?
11. Устройство прессы и нагревательной печи.
12. Что характеризует график зависимостей удельного усилия, сопротивления и пластичности?

Лабораторная работа 9

Изучение методов и режимов резания при обработке на токарном и сверлильном станке

Цель работы

Изучение основ токарной обработки. Изучение методов и режимов резания. Изучение оборудования и режущего инструмента. Изучение приемов работы на токарном станке. Привитие навыков работы студентам на токарном станке.

Изучение методов и режимов резания при обработке заготовок на сверлильном станке. Изучение устройства станка, режущего инструмента и приемов работы на станке.

Формируемые компетенции

ИД-2_{ук-6} Реализует и корректирует стратегию личностного и профессионального развития, с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

Теоретическое обоснование

Наиболее распространенным видом обработки металлов резанием является токарная обработка, для чего создано большое количество станков, которые делятся на девять типов: одношпиндельные и многошпиндельные автоматы и полуавтоматы револьверные, сверлильноотрезные, карусельные, токарные лобовые, многорезцовые, специализированные, разные токарные. На станках токарной группы производится обработка заготовок, имеющих преимущественно форму тел вращения, обрабатываются наружные и внутренние, цилиндрические, конические, фасонные, сферические и винтовые поверхности, торцевые плоскости, нарезаются резьбы и др. Основной режущий инструмент – резцы, применяют для различных операций также сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, накатки и др. Основные элементы режима резания при обработке на токарных станках: скорость (V), продольная подача (S), глубина резания (t) и машинное время (T_m).

Сверление – технологический метод изготовления и обработки отверстий режущим инструментом (сверлами, зенкерами, развёртками). Сверление применяют для получения отверстий заданного размера и качества. Местоположение отверстия обеспечивается разметкой или сверлением по кондуктору (приспособление, снабженное сверлильными плитами с отверстиями, для точного направления инструмента). Применение кондуктора необходимо при развертывании изношенных отверстий при массовом производстве деталей. Сверление – наиболее распространенный способ получения сквозных или глухих отверстий в обрабатываемой заготовке, на

специальных сверлильных станках или вручную, дрелью (ручной, электрической).

Сверление осуществляется при сочетании вращения инструмента вокруг оси – главного движения и поступательного его движения вдоль оси – движения подачи.

Для изготовления отверстий в сплошном материале пользуются сверлами. Для чистовой обработки отверстий и при незначительных увеличениях диаметров обрабатываемых отверстий применяют зенкеры и развертки.

Вертикально – сверлильный станок модели 2Н125 состоит из следующих основных узлов: фундаментной плиты, стола, колонны, коробки скоростей и подач, сверлильной головки, электродвигателя, шпинделя, насоса, органов управления. Коробка обеспечивает двенадцать чисел оборотов: 45, 63, 125, 90, 180, 250, 355, 500, 710, 1000, 1400, 2000 об/мин и коробке подач на девять подач: 0,11; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6 мм/об.

Органы управления станка: рукоятки переключения скоростей (оборотов) и подач;

- кнопки включения ручкой подачи левого и правого вращения шпинделя;
- кнопка «Стоп»;
- штурвал сверлильной головки;
- рычаг отключения механической подачи при достижении заданной глубины обработки;
- кулачки настройки глубины обработки и нарезанной резьбы;
- рычаг автоматического реверсирования главного привода при достижении заданной глубины нарезания резьбы;
- рукоятки зажима стола, перемещения стола и сверлильной головки;
- лимб для отсчета глубины обработки;
- выключатели: вводной, освещения и насоса охлаждения, кран включения охлаждения;
- болты регулировки клина стола и клина сверлильной головки.

Для крепления детали (заготовки) на столе станка имеются три Т - образных паза для болтов (крепление детали, дисков, прижимов).

Мощность установленного двигателя – 2,2 кВт (на станке 2Н125).

Определить режимы резания, потребную мощность двигателя и машинное время (по заданному варианту таблица 6.1) в следующей последовательности:

Определяем расчетное число оборотов шпинделя станка

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D}, \text{об / мин} \quad (1)$$

где V_3 – заданная скорость резания, м/мин (таблица 1);

D – диаметр сверла, мм.

Наиболее часто применяются спиральные сверла диаметром от 0,25–80 мм. Режущая часть их состоит из двух зубьев, образованных двумя канавками, служащими для отвода стружки. Кроме этих сверл применяются еще перовые (стержень с оттянутой на конце лопаткой), центровые и специальные сверла.

Зенкеры и развертки представляют собой многолезвийные инструменты (с большим числом зубьев и канавок, чем у сверл). Они могут быть цилиндрическими, коническими, торцевыми.

Сверла, зенкеры и развертки изготавливаются в основном из быстрорежущей инструментальной стали Р18 (среднее содержание вольфрама 18 %), иногда оснащаются пластинками из твердых металлокерамических сплавов марок Т15К6, ВК8 и т.д.

Режущий инструмент (сверла, зенкеры, развертки) состоит из режущей и рабочей частей, шейки и хвостовика.

Для нарезания резьбы в отверстиях применяют метчики (см. макет «Режущий инструмент для отверстий»).

Основным оборудованием для изготовления и обработки отверстий являются станки, на которых выполняют сверление, нарезание резьб в отверстиях, цекование бобышек (у отверстий).

Типы сверлильных станков используются в зависимости от характера работ:

- вертикально-сверлильные станки – для обработки отверстий диаметром от 1–80 мм. Для сверления отверстий до 12 мм – настольные станки (НС12 и др.), до 80 мм – станки напольные (2118, 2125, 2135 и так далее);
- радиально-сверлильные (255, 257 и др.) – для сверления тяжелых деталей. Они позволяют сверлить отверстия в разных местах деталей без их перестановки, посредством перемещения шпиндельной головки по направляющим (по горизонтали, вертикали, окружности);
- многошпиндельные – для сверления отверстий в деталях массового и серийного производства;
- центровочные – для центровки заготовок.

Оборудование и материалы

1. Токарно-винторезный станок 1А616П.
2. Режущий и мерительный инструмент.
3. Металлические заготовки (образцы, плакаты устройства и кинематической схемы станка, и видов работ, приспособления к станку).
4. Сверлильный станок 2Н125.
5. Режущий и мерительный инструмент.
6. Образцы заготовок.
7. Кинематическая схема станка.
8. Плакаты.

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Технологии машиностроения и технологического оборудования», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Задания

1. Изучить конструкцию и управление токарно-винторезным станком 1А616П, который имеет характеристику.

Основные узлы: станина, коробка скоростей, передняя бабка, коробка передач, суппорт, гитара сменных шестерен, задняя бабка, охлаждение, электрооборудования.

Органы управления: рукоятки-управления коробки скоростей, величины подачи и шаги резьбы;

- кнопка переключения ходового валика и ходового винта;
- рукоятки установки нормального и увеличенного шага нарезаемой резьбы, изменение направления подач, включения перебора, поперечной подачи суппорта, поворота и крепления резцовой головки;
- винт крепления резцовой головки к станине;
- рукоятки-подачи верхней части суппорта, крепления пиноли задней бабки;
- винт поперечного смещения задней бабки;
- винты натяжения ремней передней бабки, электродвигателя;
- рукоятки включения насоса охлаждения, электрооборудования станка в сеть местного освещения, пуска станка и реверсирования шпинделя, гайки ходового винта, поперечной подачи суппорта, продольной подачи суппорта;
- кнопка включения реечной шестерни из рейки при резании резьбы;
- маховичок ручного перемещения каретки;
- рукоятка отвода резца.

Основные технические данные станка:

- высота центров, мм, $BC=165$;
- расстояние между центрами, мм, $L=710$;
- пределы скоростей прямого и обратного вращения, об/мин (21 диапазон: 9; 11; 2; 18; 28; 45; 56; 71; 90; 112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 500; 710; 900; 1120; 1140; 1800);

- пределы продольных и поперечных подач, мм/об, $S=0,037-0,52$;
- мощность электродвигателя (главного движения), кВт, $N_3=4$;
- число оборотов электродвигателя $n_3=1450$ об/мин (см. станок 1А616П, схемы и плакаты к нему).

Токарные резцы подразделяют по назначению, материалу рабочей части, форме головки и направлению подачи, конструкций, сечению тела резца (стержня) и т.д.

- по назначению – проходные, подрезные, отрезные, расточные, галтельные, фасонные и резьбовые;
- по материалу – из быстрорежущих сталей, твердых сплавов и металлокерамики;
- по форме головки и направлению подачи проходные резцы делятся на правые (подачи справа налево) и левые (слева направо, т.е. от передней бабки к задней) – по форме головки отогнутые вправо или влево, изогнутые вверх или вниз и отогнутые;
- по конструкции – цельные, с приваренной встык головкой, припаянной твердосплавной пластинкой и с механическим креплением режущих пластинок по сечению стержня – прямоугольные, квадратные, круглые.

Выполнить работу по обработке цилиндрических деталей (валика) в следующей последовательности:

Определить оптимальные режимы резания (обороты) шпинделя, скорость резания, подачи, глубину резания, силу резания и мощность), используя варианты задания.

Определить расчетное число оборотов (n_p),

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D}, \quad (1)$$

где D – диаметр заготовки, мм;

V_3 – заданная скорость резания» м/мин.

Принять для точения ближайшее к расчетному имеющееся у станка число оборотов шпинделя.

Если ближайшее число оборотов превышает более чем на 10 % число оборотов шпинделя станка, оно выбирается в меньшую сторону.

Определить фактическую скорость резания при выбранном числе оборотов шпинделя станка:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}, \text{ м / мин} \quad (2)$$

Принять ближайшую к заданной подачу (продольную).

Определить глубину резания на один проход:

$$t = \frac{D - d}{2m}, \text{ мм} \quad (3)$$

где D, d – диаметр заготовки до и после обработки, мм;

m – число проходов.

Определить силу резания для определения коэффициента загрузки станка

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}}, \text{ кГ} \quad (4)$$

где C_{pz} – коэффициент, учитывающий состав обрабатываемого материала и режущий инструмент (для конструкционной стали – 150, чугуна – 114);

X_{pz}, Y_{pz} – показатели степеней, при обработке стали $X_p=1$;

$y_p=0,7$. чугуна 1 и 0,8.

Определить мощность резания:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{60 \cdot 102}, \text{ кВт} \quad (5)$$

Определить мощность (потребную) электродвигателя:

$$N_{\text{э.д}} = \frac{N_p}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (6)$$

где $\eta=0,85$ – коэффициент полезного действия станка.

Определить коэффициент загрузки станка (электродвигателя):

$$K = \frac{N_{з.д}}{N_{см}}, \text{кВт.} \quad (7)$$

Если $K=1$ или $K>1$, необходимо уменьшить число оборотов, глубину резания или подачу и вновь произвести расчет.

Таблица 1. Варианты задания

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
режимы									
V_z , м/мин	20	22	24	25	26	25	24	22	20
D , мм	16	17	18	19	20	19	18	17	16
d , мм	10	10	11	12	13	14	13	12	11
S , мм/об	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20
m , раз	5	5	6	7	6	5	6	7	6

Примечание: без инструктажа учебного мастера и показа им приёмов работы станок не включать!

Проделать на холостом ходу станка включения вращения шпинделя и подачи станка (вручную и автоматически).

Настроить станок на заданный режим и выполнить работу по точению, для чего:

- закрепить заготовку в патроне (и если надо в задней бабке);
- подвести резец к месту обработки заготовки;
- включить станок;
- выполнить работу, сдать учебному мастеру, сдать инструмент, убрать станок и рабочее место;
- составить отчет о проделанной работе.

Работа по точению конических поверхностей. Изучить способы точения конических поверхностей на токарно-винторезном станке: широким резцом, поворотом верхней каретки, суппорта, смещением корпуса задней бабки, копировальной конусной линейки.

Широким резцом – режущая кромка резца имеет уклон в основной плоскости, соответствующей конусности детали. Длина детали – 80 мм.

Поворотом – верхней каретки суппорта на угол α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2l}, \quad (8)$$

где α – угол конуса;

D, d – большой и малый диаметры конуса, мм;

l – высота конической поверхности, мм.

Точение ведется при ручной подаче. Длина конуса ограничена величиной хода верхней каретки.

Смещением задней бабки в поперечном направлении:

$$h = \frac{D-d}{2(L \cdot l)}, \quad (9)$$

где h – величина смещения, мм;

L – полная длина обрабатываемой заготовки, мм ($L \approx 1,5l$).

Обтачивают с механической продольной подачей резца длинные конические поверхности с небольшим углом конуса при вершине ($2\alpha \leq 8^\circ$).

С копировальной конусной линейкой обтачивают длинные конические поверхности с углом при вершине конуса до $30\text{--}40^\circ$. Угол поворота направляющей конусной линейки (см. станки 1А616П и плакаты):

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{D-d}{2l}. \quad (10)$$

Определить угол конуса при обработке поворотом верхней каретки суппорта по заданному варианту.

Таблица 2. Варианты задания

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8
режимы								
D, мм	26	28	28	26	29	28	26	26
d, мм	20	22	23	22	23	21	20	18
ℓ, мм	34	30	34	35	36	38	39	40

Таблица 3. Значения тригонометрических функций

Угол α функции	3^0	$3^0 30'$	4^0	$4^0 30'$	5^0	$5^0 30'$	6^0
$\operatorname{tg} \alpha$	0,0524	0,0612	0,0699	0,0787	0,0875	0,0963	0,1051

Примечание: цена одного деления шкалы поворота поверхности каретки суппорта (станка 6А616П), град – 1^0 .

Внимание! Без инструктажа учебного мастера и показа приемов работы станок не включать!

Настроить станок на заданный режим (цикл) и выполнить работу по течению конуса, для чего:

- закрепить заготовку в патроне;
- повернуть верхнюю каретку суппорта на заданный угол;
- подвести резец к месту обработки заготовки;
- включить станок;
- выполнить работу ручной подачей;
- отвести резец и включить станок;
- выполненную работу сдать учебному мастеру, сдать инструмент, убрать станок и рабочее место.

Составить отчет о проделанной работе по точению конуса.

Выполнить работу по нарезанию резьбы резцом.

Изучить способы нарезания резьбы на станке и органы управления для этого.

На токарно-винторезном станке 6А616П можно нарезать резьбу метчиком и резцом или плашкой.

Коробка подач станка с помощью ходового винта позволяет нагрывать метрические резьбы при настройке гитары 25/60 со следующими величинами подач (шага резьбы): 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5.

Рассчитать элементы заданного режима резания одного прохода из вариантов.

Определить скорость резания для нарезания резьбы и сравнить с допустимой:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \leq 30, \text{ м/мин} \quad (11)$$

Определить высоту профиля резьбы:

$$H = 0,65S, \text{ мм} \quad (12)$$

где S – шаг резьбы (подача).

Определить глубину резания черновых проходов:

$$t = \frac{h}{m} = \frac{D-d}{2m}, \text{ мм} \quad (13)$$

где D, d – наружный и внутренний диаметр резьбы, мм;

m – число черновых проходов.

С увеличением номера прохода глубину резания уменьшают.

Таблица 4. Варианты задания

Варианты	1	2	3	4	5	6	7
наименования							
значения резьбы, М	M20x2	M20x2,5	M20x3	M20x2	M20x2,5	M20x3	M20x2
$P_{\text{шп}}$, об/мин	224	180	140	140	112	90	180
m , раз	2	3	4	2	3	4	2
число чистовых проходов	2	2	2	2	2	2	2

Примечание: длина нарезания 30-40 мм.

Внимание! Без инструктажа учебного мастера и показа им приёмов работы станок не включать!

Настроить станок на заданный режим и выполнить работу по нарезанию резьбы, для чего:

- закрепить заготовку в патроне;
- обточить до заданного диаметра (наружный диаметр резьбы);
- настроить станок для нарезания резьбы по заданным режимам;
- выполнить работу по нарезанию резьбы резцом;

- выполненную работу сдать учебному мастеру, сдать инструмент, убрать рабочее место.

Составить отчет о проделанной работе по нарезанию резьб.

2. Пользуясь сверлильным станком 2Н125, его кинематической схемой и плакатами, изучить конструкцию станка, управление им и способы крепления заготовок на нем.

Принимаем ближайшее к расчетному число оборотов шпинделя, имеющихся у станка.

Если ближайшее число оборотов превышает расчетное более чем на 10 %, число оборотов выбирается в меньшую сторону.

Определяем фактическую скорость резания при выбранном числе оборотов шпинделя станка

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi} \cdot n_{cm}}{1000}, \text{ м / мин.} \quad (14)$$

Принимаем ближайшую к данной (таблица 6.1) подачу, имеющуюся у станка.

Определяем мощность двигателя (N_{δ}), мощность резания (N_p), крутящий момент (M_k)

$$N_{\delta} = \frac{N_p}{\eta_{cm}}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

$$N_p = \frac{M_k \cdot n_{cm}}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт}, \quad (16)$$

$$M_k = C_m \cdot D^{X_m} \cdot S^{Y_m} \cdot K_p, \quad (17)$$

где $\eta_{cm}=0,8-0,9$ – к.п.д. передач и механизмов станка;

N_p – мощность, затраченная на резание при сверлении;

M_k – крутящий момент, Н·м;

C_m – постоянный коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и условий резания (при обработке сталей $C_m=33,8$) серый чугун – 23,3;

$X_m=1,9$; $Y_m=0,8$ – показатели степеней;

K_p – поправочный коэффициент на изменение условий резания (~ 1)

(C_m, X_m, Y_m, K_p – берутся по справочнику в зависимости от материала инструмента обработки и условий резания).

Определяем машинное время, потребное для сверления (T_m)

$$T_m = \frac{L}{n_{cm} \cdot S_{cm}} = \frac{l_o + l_1 + l_2}{n_{cm} \cdot S_{cm}}, \quad (18)$$

где L – рабочий ход сверла, мм;

l_o – глубина сверления, мм;

$l_1 + l_2$ – врезание и перебег сверла, мм.

Таблица 5. Варианты задания (сверло спиральное, быстрорежущие стали)

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
режимы													
V_3 , м/мин	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5
D , мм	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	6	7
S , мм/об	0,05	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2
l_0 , мм	10	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	10	11

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое содержание основ обработки на токарных станках.
3. Основная характеристика станка, виды резцов и их назначение.
4. Расчет режимов при точении валика (цилиндрической заготовки).
5. Способы точения конусов и расчет режимов.
6. Способы нарезания резьбы и расчет режимов.
7. Описать (кратко) технологический метод сверления.
8. Основное устройство станка и инструмент.

9. Расчеты по режимам мощности и машинному времени.
10. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Сколько существует групп металлорежущих станков и какие?
2. Сколько существует типов и каковы станки токарной группы?
3. Какие виды работ выполняются на станках токарной группы?
4. Режущий инструмент, применяемый при обработке на токарных станках.
5. Основные режимы резания при обработке на токарных станках.
6. Основное устройство станка 6А616П.
7. Органы управления станка и их назначение.
8. Назначение коробок скоростей и подач.
9. Назначение и устройство суппорта.
10. Как установить на станке заданные обороты шпинделя?
11. Как установить продольную и поперечную (глубину резания) подачи?
12. Как определить обороты шпинделя по заданной скорости?
13. Как определить глубину резания за один проход?
14. Сила резания и влияние на нее режимов резания (формула).
15. Приложение сил резания к режущей части резца (схема сил).
16. Формула скорости резания в зависимости от диаметра обработки.
17. Влияние режимов резания (глубина и подачи) на скорость резания (формула).
18. Что определяет высота центров?
19. Что определяет расстояние между центрами?
20. Назначение кинематической схемы станка.
21. Способы и режимы точения конусов и как настроить станок на точение конуса?
22. Органы управления для нарезания резьбы.

23. Какой инструмент применяется для нарезания резьбы на токарном станке?
24. Назначение патрона токарного станка.
25. При какой длине заготовки работают с патроном, с задним центром и с люнетом?
26. Техника безопасности при работе на токарном станке.
27. Сущность метода сверления.
28. Назначение сверления.
29. Применяемый режущий инструмент для изготовления и обработки отверстий.
30. Оборудование, применяемое при сверлении.
31. Виды движений при сверлении отверстий.
32. Виды сверл, применяемых для сверления.
33. Устройство сверла, зенкера и развертки.
34. Инструмент для нарезания резьбы на станке.
35. Размеры спиральных сверл (по диаметру).
36. Материалы, применяемые для сверлильного режущего инструмента.
37. Типы сверлильных станков и их маркировка.
38. Устройство сверлильного станка 2Н125.
39. Назначение механизмов управления станка 2Н125.
40. Что такое подача и глубина резания?
41. Что больше: мощность резания или мощность двигателя.
42. Как определить обороты по заданной скорости и диаметру?
43. Что такое машинное время?
44. Формула определения машинного времени.
45. Как настроить станок на заданные обороты и подачу?
46. Как включить автоматическую подачу шпинделя?
47. Как закрепить деталь на столе станка?
48. Техника безопасности при работе на станке.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Двоеглазов, Г. А. Материаловедение: [учебник] / Г.А. Двоеглазов. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 445 с. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 421-422. - ISBN 978-5-222-24320-6
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 268 с. - ISBN 978-5-7638-3322-5.

Дополнительная литература:

1. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3.

Интернет-ресурсы:

1. www.dprm.ru/materialovedenie
2. academia-moscow.ru

Программное обеспечение

Специальное программное обеспечение не требуется.

**Инструкция
по технике безопасности
при проведении лабораторных работ
на установках и оборудовании в лабораториях «Технологии
машиностроения и технологического оборудования»**

Перед началом лабораторной работы

1. Изучить инструкцию по охране труда при работе студентов в технических лабораториях.
2. Пройти инструктаж на рабочем месте. Ознакомиться с безопасными методами выполнения лабораторной работы.
3. Изучить теоретические положения требований методики проведения лабораторной работы.
4. Получить допуск у преподавателя на выполнение лабораторной работы.
5. Ознакомиться с приборами тушения пожара и правилами обращения с огнетушителями ОУ-03, ОП-05, ОВЭ-6(з)-АВЕ-01.
6. Осмотреть оборудование, на котором выполняется лабораторная работа, проверить исправно ли действуют пусковые, регулировочные, остановочные устройства.

Требования безопасности во время работы

1. Приступать к выполнению лабораторной работы можно только после разрешения преподавателя и только на исправном оборудовании после того, как порядок выполнения работы будет полностью усвоен.
2. При выполнении работы быть предельно внимательным, не отвлекаться на посторонние дела и разговоры, не отвлекать других, следить за

показаниями контрольно-измерительных приборов и работой оборудования, бережно относиться к оборудованию, инструменту, приборам и мебели.

3. Запрещается самовольное включение электродвигателя, приборов и другого оборудования, а также открытие и закрытие вентилей, задвижек, снятие крышек, ограждений и перестановка оборудования, не имеющих отношения к выполнению данной лабораторной работы.

4. В ходе выполнения лабораторной работы следить за наличием и прочностью крепления ограждений (кожухов) на всех вращающихся и движущихся частях установки. Запрещается работа на оборудовании при снятых, неисправных или плохо закрепленных ограждениях. До полной остановки вращающихся деталей установок запрещается открывать крышки.

5. Категорически запрещается во время выполнения лабораторной работы становиться на оборудование или влезать на него, становиться на трубопроводы, электропроводку, а также вешать или класть на них посторонние предметы.

6. Запрещается во время работы оборудования касаться руками или другими частями тела вращающихся или движущихся частей установки.

7. При выполнении разборки оборудования снятые сборочные единицы и детали нужно складывать на заранее приготовленные места так, чтобы они не могли упасть. Крупные и тяжелые сборочные единицы укладывают на полу, располагая так, чтобы они не могли опрокинуться.

Не следует в одиночку снимать и устанавливать механизмы и агрегаты значительных габаритов и массы.

8. Запрещается пользоваться неисправным инструментом. Гаечные ключи должны соответствовать размерам гаек и головок болтов. Не разрешается: применять ключи со смятыми, изношенными или треснувшими губками; применять прокладки при зазоре между плоскостями губок и головок болтов или гаек; наращивать ключи трубами, другими ключами или иным способом. Необходимо следить за исправностью тисков, съемников и других приспособлений. Молотки должны быть надежно насажены на деревянные

ручки и закреплены металлическими клиньями. Отвертка должна выбираться по ширине рабочей части, зависящей от размера шлица в головке шурупа или винта.

9. При выполнении лабораторной работы студент должен быть максимально серьезным и не допускать шалостей и озорства.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

1. В случае травмирования или при обнаружении неисправности лабораторной установки необходимо прекратить выполнение работы, выключить электрооборудование и сообщить о поломке преподавателю.

2. При обнаружении случайного обрыва заземляющей шины необходимо выключить установку и сообщить преподавателю.

3. При обнаружении возгорания или пожара необходимо сообщить администрации, вызвать пожарную охрану по телефону 01, принять меры к эвакуации пострадавших, приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения в соответствии с инструкцией по пожарной безопасности (огнетушители, ящики с песком, расположенные в коридоре кафедры и на лестничной площадке возле аудитории 111).

4. При поражении электрическим током, пострадавшего быстро освободить от действия тока (выключить рубильник, перерубить провод оттянуть его от пострадавшего сухим шестом, рукояткой топора и т.д.), оказать ему срочную первую доврачебную помощь (искусственное дыхание, массаж сердца), вызвать врача. Помощь оказывать до прибытия врача

5. При травмах и мелких порезах пользоваться аптечкой, находящейся в мастерской. Для чего обработать рану, используя стерильный перевязочный материал (марля, салфетки, вата, бинт), а также дезинфицирующие средства (раствор йода, перекись водорода, раствор марганцовокислого кальция и др.).

Требования безопасности по окончании выполнения лабораторной работы.

1. Выключить все электродвигатели установки, обесточить электрошкаф, питающий их.
2. Обесточить линию, питающую установку от распределительного щита.
3. Выключить все приборы, закрыть вентили, задвижки и пр.
4. Привести в порядок рабочее место, убрать ненужные бумаги, инструмент, поставить на место столы, стулья, вымыть руки с мылом и с разрешения преподавателя покинуть лабораторию.
5. Невыполнение требований настоящей инструкции рассматривается как грубое нарушение дисциплины, виновные привлекаются к дисциплинарной ответственности, вплоть до исключения из университета.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТКМ»
для студентов специальности 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии
специализации «Технология бурения нефтяных и газовых скважин»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Общая характеристика самостоятельной работы бакалавра по дисциплине	5
План-график выполнения самостоятельной работы	8
Методические рекомендации по изучению теоретического материала	8
Вопросы к зачету	12
Литература	19

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы, прежде всего в связи с подписанием Болонской конвенции и вступлением России в международное образовательное сообщество, возрастает роль компетентностного подхода в подготовке бакалавров, который предусматривает переход от так называемой «знаниевой» парадигмы к системно-деятельностной. Возрастает роль самостоятельной работы студентов, и в связи с этим, особую значимость в практике современного образования приобретают формы и методы работы, которые стимулируют самостоятельность и творчество студентов.

Самостоятельная работа студентов – это планируемая учебная и научная работа, выполняемая по заданию преподавателя под его методическим и научным руководством. Это неотъемлемая составляющая образовательного процесса в высшем учебном заведении. Самостоятельная работа – это активные формы и методы обучения, это единство учебно-воспитательной и научно-производственной работы, это сотрудничество студента с преподавателем.

Самостоятельная работа может быть как аудиторной, так и внеаудиторной и включает: подготовку к аудиторным занятиям и выполнение соответствующих заданий; выполнение самостоятельных заданий в лабораторных практикумах и практических заданиях; работу над отдельными темами учебных дисциплин; выполнение контрольных и курсовых работ, написание рефератов; прохождение практик и выполнение предусмотренных ими заданий; подготовку ко всем видам контрольных испытаний; подготовку к итоговой аттестации и выполнение выпускной квалификационной работы; участие в научной и научно-методической работе, в научных и научно-практических конференциях, семинарах.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Цель освоения дисциплины – формирование совокупности знаний о строении, свойствах материалов и способах их изменения, способах получения материалов, технологических методах получения, обработки заготовок и упрочнения, закономерностях процессов резания, элементах режима резания конструкционных материалов, станках и инструментах.

Задачи дисциплины:

- изучение современных технологических процессов получения конструкционных материалов;
- изучение свойств, строения металлов и сплавов и технологических процессов изменяющих свойства материалов;
- изучение классификации материалов;
- научиться выбирать материалы и технологии для изготовления деталей машин для конкретных условий их эксплуатации.

Цель самостоятельного решения задач - обучение творчески думать, самостоятельно разбираться в различных вопросах применения современных технологических процессов получения конструкционных материалов. Самостоятельное решение задач значительно повышает учебную активность обучающихся, возбуждает их интерес к решению задач, стимулирует творческую инициативу. Таким образом, повышается эффективность занятия. Самостоятельное решение задач развивает мыслительную деятельность. Не имея возможности копировать решение задачи с доски, обучающийся вынужден сам разбираться в решении задачи, а потому и лучше готовиться к занятиям. Самостоятельное решение математических и теоретических задач часто сокращает время, необходимое для опроса обучающихся на занятиях, так как оценивать успехи учащихся в некоторых случаях можно и по итогам самостоятельного решения задач. Преподаватель получает возможность

направлять индивидуальную работу студентов по решению задачи, предотвращать ошибки, указывать пути их исправления.

Цель самостоятельного изучения литературы: систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов; углубление и расширение теоретических знаний; формирование умений использовать нормативную, научную, справочную документацию и специальную литературу; развитие познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности; формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации; развитие исследовательских умений;

Цель подготовки к собеседованию - освоить материал, выносимый на самостоятельную работу студентов и предложенный преподавателем в соответствии с Государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по дисциплине "Материаловедение и ТКМ". В ходе собеседования преподаватель ориентирует студента на успешную сдачу экзамена.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить следующие виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Рекомендуемые источники информации (№ источника)			
		Основная	Дополнительная	Методическая	Интернет- ресурсы
1	Подготовка к лабораторным работам	1, 2,3	1, 2,3	1, 2, 3	1, 2, 3
2	Самостоятельное изучение литературы	1, 2,3	1, 2,3	1, 2, 3	1, 2, 3
3	Подготовка к лекциям	1, 2,3	1, 2,3	1, 2, 3	1, 2, 3

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Материаловедение: учебное пособие / С. В. Давыдов, Д. А. Болдырев, Л. И. Попова, М. Н. Тюрков. - Материаловедение, 2026-10-01. - Электрон. дан. (1 файл). - Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. - 424 с. - электронный. -

Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-9729-0417-4, экземпляров неограничено

2. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учебник / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко [и др.]. - Материаловедение. Технология конструкционных материалов, Весь срок охраны авторского права. - Электрон. дан. (1 файл). - Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. - 541 с. - электронный. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4497-0590-7, экземпляров неограничено

3. Солнцев, Ю. П. Материаловедение : учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин ; под редакцией Ю. П. Солнцева. - Материаловедение, 2023-07-26. - Электрон. дан. (1 файл). - Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2020. - 783 с. - электронный. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 078-5-93808-345-6, экземпляров неограничено

Дополнительная литература

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. пособие / [О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, Л. Ф. Керженцева и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. - 3-е изд., испр. и доп. - Минск : Новое знание, 2009. - 670 с. : ил. - (Техническое образование). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 662. - ISBN 978-985-475-355-3

2. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / [С. Н. Колесов, И. С. Колесов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2008. - 536 с. : ил. - (Для высших учебных заведений. Энергетика, энергетическое машиностроение). - Гриф: Доп. МО. - Авт. указ. на обл. - Библиогр.: с. 525-526. - ISBN 978-5-06-005950-2

3. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : [учебник] / В.А. Оськин, В.В. Евсиков, Кн. 1. - М. : КолосС, 2007. - 447 с. : ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). - Библиогр.: с. 441. - ISBN 978-5-9532-0369-2, экземпляров 26.

Методическая литература

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Материаловедение и ТКМ".

2. Конспект лекций по дисциплине «Материаловедение и ТКМ».

3. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Материаловедение и ТКМ».

Интернет-ресурсы

1. [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/) Университетская библиотека онлайн.

2. <http://www.rsl.ru> – Российская государственная библиотека.

3 . <http://uisrussia.msu.ru> Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ).

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Правильная организация самостоятельной работы и ее систематичность, позволяет развивать умения и навыки; проводить систематизацию полученных знаний, обеспечивать высокий уровень успеваемости в период обучения, получить навыки повышения профессионального уровня.

При самостоятельном изучении материалов по представленным темам следует придерживаться приведенного ниже графика:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Срок изучения материалов
1	Общая характеристика металлов. Атомно-кристаллическая структура металлов. Дефекты кристаллической решетки металлов. Понятие о строении сплавов. Связь между свойствами и диаграммой состояния сплава.	2 неделя
2	Виды напряжений. Упругая и пластическая деформации металлов. Нагрузки, напряжения и деформации. Влияние пластической деформации на свойства металлов. Понятие о конструктивной прочности материалов.	4 неделя
3	Общая характеристика механических свойств. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях. Твердость металлов. Механические свойства определяемые при динамических испытаниях. Механические свойства при переменных (циклических) нагрузках. Изнашивание металлов.	6 неделя
4	Конструкционные стали. Рессорно-пружинные стали. Шарикоподшипниковые стали. Автоматные стали. Инструментальные стали. Стали и сплавы с особыми свойствами. Чугуны. Цветные металлы и сплавы (титан и сплавы на его основе; магний и его сплавы; алюминий и его сплавы; медь и сплавы на ее основе). Баббиты.	8 неделя
5	Мартенситное превращение в стали, изотермическое превращение аустенита в легированных сталях. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении, термическое и деформационное старение углеродистой стали. Дефекты, возникающие при термической обработке стали. Поверхностная закалка стали.	10 неделя
6	Сварка в атмосфере защитных газов. Пайка и кислородная резка. Оборудование для контактной сварки. Холодная сварка. Сварка трением.	12 неделя

	Ультразвуковая сварка.	
7	Физические основы и классификация методов формообразования заготовок литьём. Литьё в разовые песчано-глинистые формы. Специальные способы литья. Методы получения жидкого металла. Заливка, выбивка форм и очистка отливок. Литейные свойства сплавов. Контроль качества и исправление дефектов отливок.	14 неделя
8	Физические основы методов обработки металлов давлением. Сущность обработки металлов давлением. Характеристика методов обработки металлов давлением. Прокатка. Прессование и волочение. Ковка. Объёмная штамповка (горячая штамповка, холодная объёмная штамповка). Листовая штамповка. Традиционные методы листовой штамповки. Специальные методы листовой штамповки.	16 неделя
9	Общая характеристика механической обработки роль и место обработки резанием. Физические основы обработки резанием. Сведения о металлорежущих станках. Обработка заготовок на фрезерных, шлифовальных, сверлильных, строгальных долбежных, зуборезных, отделочных и др. станках. Режимы резания, геометрия срезаемого слоя. Точность, качество и производительность обработки. Электрофизические и электрохимические методы обработки	18 неделя
10	Выполнение контрольной работы	1-18 неделя

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельная работа с учебниками и книгами (а также самостоятельное теоретическое исследование проблем, обозначенных преподавателем на лекциях) – это важнейшее условие формирования у себя научного способа познания. Основные советы здесь можно свести к следующим:

- Составить перечень книг, с которыми Вам следует познакомиться; «не старайтесь запомнить все, что вам в ближайшее время не понадобится, – советует студенту и молодому ученому Г. Селье, – запомните только, где это можно отыскать» (Селье, 1987. С. 325).

- Такой перечень должен быть систематизированным.
- Обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге.
- Разобраться для себя, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть.

- При составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и научными руководителями (или даже с более подготовленными и эрудированными сокурсниками), которые помогут Вам

лучше сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время...

• Естественным, все прочитанные книги, учебники и статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц).

• Если книга – Ваша собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные для Вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора (это очень хороший совет, позволяющий экономить время и быстро находить «избранные» места в самых разных книгах).

• Если Вы раньше мало работали с научной литературой, то следует выработать в себе способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда Вам понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать), и это может занять немалое время (у кого-то – до нескольких недель и даже месяцев); опыт показывает, что после этого студент каким-то «чудом» начинает буквально заглатывать книги и чуть ли не видеть «сквозь обложку», стоящая это работа или нет...

• «Либо читайте, либо перелистывайте материал, но не пытайтесь читать быстро... Если текст меня интересует, то чтение, размышление и даже фантазирование по этому поводу сливаются в единый процесс, в то время как вынужденное скорочтение не только не способствует качеству чтения, но и не приносит чувства удовлетворения, которое мы получаем, размышляя о прочитанном», – советует Г. Селье (Селье, 1987. – С. 325-326).

• Есть еще один эффективный способ оптимизировать знакомство с научной литературой – следует увлечься какой-то идеей и все книги просматривать с точки зрения данной идеи. В этом случае молодой ученый будет как бы искать аргументы «за» или «против» интересующей его идеи, и одновременно он будет как бы общаться с авторами этих книг по поводу своих идей и размышлений... Проблема лишь в том, как найти «свою» идею...

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют **четыре основные установки в чтении научного текста:**

1. информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)
2. усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)

3. аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)

4. творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к научному тексту связано существование и нескольких **видов чтения**:

1. библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

2. просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

3. ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

4. изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

5. аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с научным текстом.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

2. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

3. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

4. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

5. Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от аспиранта целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

Лабораторная работа.

Для того чтобы лабораторные работы приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что работы проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на лабораторных работах как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач в ходе подготовки к лабораторной работе нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Отчеты по лабораторным работам при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Самопроверка.

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств. В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

Консультации

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

3. Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы к зачету

Тема 1. Строение металлов.

1. Общая характеристика металлов.
2. Атомно-кристаллическая структура металлов.
3. Дефекты кристаллической решетки металлов.
4. Понятие о строении сплавов.
5. Связь между свойствами и диаграммой состояния сплава.

Тема 2. Деформация и разрушение металлов.

1. Виды напряжений.
2. Упругая и пластическая деформации металлов.

3. Нагрузки, напряжения и деформации.
4. Влияние пластической деформации на свойства металлов.
5. Понятие о конструктивной прочности материалов.

Тема 3. Механические свойства металлов и сплавов.

1. Общая характеристика механических свойств.
2. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях.
3. Твердость металлов.
4. Механические свойства определяемые при динамических испытаниях.
5. Механические свойства при переменных (циклических) нагрузках.
6. Изнашивание металлов.

Тема 4. Конструкционные и инструментальные металлы и сплавы.

1. Конструкционные стали.
2. Рессорно-пружинные стали.
3. Шарикоподшипниковые стали.
4. Автоматные стали.
5. Инструментальные стали.
6. Стали и сплавы с особыми свойствами.
7. Чугуны.
8. Цветные металлы и сплавы (титан и сплавы на его основе; магний и его сплавы;
9. Алюминий и его сплавы; медь и сплавы на ее основе).
10. Баббиты.

Тема 5. Теория и технология термической обработки стали.

1. Фазовые превращения при нагреве, рост зерна аустенита при нагреве.
2. Общая характеристика превращений переохлажденного аустенита (диаграмма изотермического превращения аустенита).
3. Мартенситное превращение в стали, изотермическое превращение аустенита в легированных сталях.
4. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении, термическое и деформационное старение углеродистой стали.
5. Отжиг стали.
6. Нормализация.
7. Закалка стали.
8. Отпуск стали.
9. Термомеханическая обработка стали.
10. Дефекты, возникающие при термической обработке стали.
11. Поверхностная закалка стали.
12. Химико-термическая обработка стали.

Тема 6. Технология сварочного производства

1. Общая характеристика сварочного производства.
2. Физические основы и классификация методов сварки.
3. Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса.
4. Полуавтоматическая (механизированная) дуговая сварка под слоем флюса.
5. Дуговая сварка плавящимся электродом.
6. Сварка с неплавящимся (вольфрамовым) электродом.
7. Газовая сварка.
8. Плазменная сварка.
9. Электронно-лучевая сварка.
10. Лазерная сварка.
11. Электрошлаковая сварка.
12. Сварные соединения и методы контроля их качества.
13. Сварка чугуна.
14. Сварка стали.
15. Сварка цветных металлов.
16. Сварка пластмасс.

Тема 7. Технология литейного производства

1. Литьё в разовые песчано-глинистые формы.
2. Специальные способы литья.
3. Методы получения жидкого металла.
4. Заливка, выбивка форм и очистка отливок.
5. Литейные свойства сплавов.
6. Контроль качества и исправление дефектов отливок.

Тема 8. Технология обработки металлов давлением

1. Характеристика методов обработки металлов давлением.
2. Прокатка.
3. Прессование.
4. Волочение.
5. Ковка.
6. Объёмная штамповка (горячая штамповка).
7. Холодная объёмная штамповка.
8. Листовая штамповка.
9. Традиционные методы листовой штамповки.
10. Специальные методы листовой штамповки.

Тема 9. Технология механической обработки резанием

1. Обработка заготовок на фрезерных станках.
2. Обработка заготовок на шлифовальных станках.
3. Обработка заготовок на сверлильных станках.
4. Обработка заготовок на строгальных станках.
5. Обработка заготовок на долбежных станках.
6. Обработка заготовок на зуборезных станках.
7. Обработка заготовок на отделочных станках.
8. Режимы резания, геометрия срезаемого слоя.

9. Точность, качество и производительность обработки.
10. Электрофизические методы обработки.
11. Электрохимические методы обработки.

1. Критерии оценивания компетенций (в соответствии с результатами освоения дисциплины)

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в не полном объеме; владение умениями и навыками реализуются не в полном объеме.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками.

2. Описание шкалы оценивания

Промежуточная аттестация в форме **зачета с оценкой**

Процедура зачета (зачета с оценкой) как отдельное контрольное мероприятие не проводится, оценивание знаний обучающегося происходит по результатам текущего контроля.

При дифференцированном зачете используется шкала пересчета рейтингового балла по дисциплине в оценку по 5-балльной системе

*Шкала пересчета рейтингового балла по дисциплине
в оценку по 5-балльной системе*

Рейтинговый балл по дисциплине	Оценка по 5-балльной системе
88 – 100	<i>Отлично</i>
72 – 87	<i>Хорошо</i>
53 – 71	<i>Удовлетворительно</i>
< 53	<i>Неудовлетворительно</i>

3. Методические рекомендации по подготовке к оценочному мероприятию.

Методические рекомендации по подготовке к оценочному мероприятию представлены в методических указаниях по выполнению практических/лабораторных работ. В методических указаниях по выполнению практических/лабораторных работ приводятся критерии оценивания компетенций в соответствии с используемыми оценочными средствами: вопросы к зачету, собеседованию, тестирование, контрольные работы и прочее.

Оценочные средства для контрольной работы по дисциплине «Материаловедение и ТКМ»

Структура работы:

1. Выбрать и описать стали и сплавы для изготовления деталей машин и инструмента.
2. Назначить режимы термической обработки.
3. Описать свариваемую сталь по плану: химический состав, механические свойства, свариваемость, мероприятия по предотвращению или уменьшению возможности получения холодных или горячих трещин, коробления и остаточных напряжений.
4. Выбрать по марке свариваемой стали и механическим свойствам, марку, тип электрода или присадочного материала.
5. Выбрать род сварочного тока (и при необходимости полярность).
6. Выбрать диаметр электрода.
7. Выбрать силу сварочного тока, используя формулы для ручной, полуавтоматической или автоматической сварки.
8. Выбрать источник сварочного тока с приведением технической характеристики.
9. Выбрать форму разделки кромок, технологию наращивания шва по длине и толщине, схему движения электрода, положение шва в пространстве, приспособления и т.п.
10. Зарисовать схему сварного соединения.

Уровень обученности	Формулировка задания	Контролируемые компетенции или их части
Знать	Методику выбора и назначения сталей и сплавов для изготовления конкретных деталей машин и различного вида инструментов. Технологические процессы сварки, оборудование, материалы, инструменты и приспособления.	ИД-2 _{УК-6}
Уметь	Пользоваться справочными материалами, что в дальнейшем правильно выбрать материал при курсовом проектировании, при выполнении выпускной квалификационной работы. Привести схему сварного соединения с проставлением параметров, согласно заданию и обозначением на рисунке.	ИД-2 _{УК-6}
Владеть	Методикой расчёта для электродуговой и газовой сварки.	ИД-2 _{УК-6}

Графическая часть выполняется в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации, ГОСТ 2.001 – 2013; ГОСТ 2.123 – 93 и выполняется в одной из систем автоматизированного проектирования.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если студент показал глубокое, прочное и

аргументированное освоение программного учебного материала, при этом поставленный вопрос раскрыт последовательно, четко и логически стройно, в полном исчерпывающем объеме, основные категории, понятия и термины учебного курса формулировались правильно, не допущено при ответе ошибок. Работа выполнена и правильно оформлена в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент показал твердое знание программного учебного материала, при этом поставленный вопрос раскрыт грамотно и по существу, в достаточно полном объеме, основные категории, понятия и термины учебного курса формулировались правильно, допущены при ответе отдельные неточности или одна ошибка. Работа выполнена и правильно оформлена в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент показал знание только основной части учебного материала без его частных деталей, при этом поставленный вопрос раскрыт с нарушением логической последовательности, не в полном объеме; были допущены неточные формулировки основных категорий, понятий и терминов учебного курса, а также ошибки (не более двух) или ряд незначительных неточностей, не исказивших существенно суть ответа. Работа выполнена и правильно оформлена в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки (более двух), существенно исказившие его суть. Оценка неудовлетворительно выставляется также, если отсутствует ответ на вопрос, либо студент отказался его сдавать. Работа не выполнена.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Контрольная работа оформляется в соответствии с требованиями ГОСТов, ЕСКД и других стандартов и нормативных документов к текстовым документам и должно состоять из титульного листа, содержания, введения, последующих листов пояснительной записки и заканчиваться списком литературы, использованной студентом при выполнении работы. Все таблицы, схемы, рисунки, формулы и эскизы должны иметь наименование и нумерацию. При использовании справочной литературы необходима ссылка на нее.

Студент допускается к защите, если контрольная работа выполнена, верно и оформлена согласно требованиям ГОСТов. Защита проходит в форме собеседования по теме контрольной работы. Принимает ведущий преподаватель.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-2 _{УК-6}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность и четкость ответов	
	правильность речи в быстром или умеренном темпе	
	умение использовать методическую, научную и техническую литературу	
	инициативность в поиске информации	

Литература

1. В. Сенашенко. Самостоятельная работа студентов: актуальные проблемы / В. Сенашенко, Н. Жалнина // Высшее образование в России №7, 2006. – с. 103-109.
2. Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной работы. Разработано директором департамента по учебно-методической работе Т.Н. Фадеевой, начальником методического отдела Е.Е. Дурневой // МГГУ им. М.А. Шолохова. Москва, 2010. – 48 с.
3. ГОСТ 2.104-98 ЕСКД. Основные надписи. – М. : Изд. стандартов, 1998.
4. ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М. : Госстандарт, 1995.
5. ГОСТ 7.203. Библиографическая запись. Библиографическое описание. – М. : ИПК Изд. стандартов, 2003.
6. ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.
7. ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.