

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВПО РГУПС)
Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта
(ТТЖТ – филиал РГУПС)

Щербакова М.А

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ
ПМ.03 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ

для специальности

22.02.06 Сварочное производство

Тема 1.1. Микроанализ. Микроструктура углеродистых, легированных сталей и цветных сплавов чугунов.

Тема 1.2. Микроструктура зоны термического влияния при ручной, электродуговой, газовой и автоматической сварке под флюсом.

Тема 1.3. Методы испытаний металлов, сплавов, сварных соединений. Статические, динамические, циклические испытания.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по
Учебной работе
Н.Ю. Шитикова


01 / 09 2015 г.

Методические рекомендации профессионального модуля ПМ.05 Выполнение работ по одной или нескольким профессиям рабочих, должностям служащих разработаны на основе федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования **специальности 22.02.06 Сварочное производство (базовый уровень)** утверждённого приказом Министерства образования и науки РФ от 21 апреля 2014 г. № 360.

Организация-разработчик: Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ТТЖТ – филиал РГУПС)

Разработчики:

Щербакова М.А. – преподаватель ТТЖТ – филиала РГУПС

Рекомендована цикловой комиссией № 8 «Специальности 22.02.06».
Протокол заседания № 1 от 01.09. 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ:

Введение

Инструкционные карты:

Практическая работа № 1 Изготовление образцов для микроанализа.

Практическая работа № 2 Подбор оборудования, реактивов и режимов травления образцов.

Практическая работа № 3 Оценка протравленных темплетов и изломов.

Практическая работа № 4 Оформление результатов испытаний.

Практическая работа № 5 Исследование микроструктуры углеродистой стали.

Практическая работа № 6 Исследование микроструктуры углеродистой стали после термической обработки.

Практическая работа № 7 Исследование микроструктуры легированной стали.

Практическая работа № 8 Исследование микроструктуры чугунов.

Практическая работа № 9 Исследование микроструктуры цветных сплавов на основе меди, алюминия

Практическая работа № 10 Изучение методики работы с металлографическим микроскопом.

Практическая работа № 11 Исследование микроструктуры зоны термического влияния при ручной электродуговой сварке.

Практическая работа № 12 Исследование микроструктуры зоны термического влияния при газовой сварке.

Практическая работа № 13 Исследование микроструктуры зоны термического влияния при автоматической сварке под флюсом.

Практическая работа № 14 Изучение схемы роста кристаллов в металле однопроводного сварного шва.

Практическая работа № 15 Изучение металлургических процессов, протекающих при газовой сварке.

Практическая работа № 16 Изучение структурных изменений в металле при газовой сварке.

Практическая работа № 17 Изучение особенностей металлургических процессов при сварке под флюсом.

Практическая работа № 18 Изучение кристаллизации металла в сварочной ванне при сварке под флюсом.

Практическая работа № 19 Проведение испытаний на разрывной машине.

Практическая работа № 20 Определение твердости образца на приборе Бринелля и универсальном твердомере.

Практическая работа № 21 Определение условного предела пропорциональности при растяжении.

Практическая работа № 22 Определение ударной вязкости при испытаниях на маятниковом копре.

Практическая работа № 23 Определение энергии, затраченной на ударный разрыв и ударное сжатие.

Практическая работа № 24 Испытания образцов на выносливость при циклических испытаниях.

Практическая работа № 25 Схема нагружения при испытании на усталость.

Список рекомендуемой литературы

ВВЕДЕНИЕ

«Методические рекомендации по выполнению практических работ» предназначены для студентов всех образовательных программ. Профессиональный модуль ПМ.03 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ, является базовой дисциплиной специальностей и отражает необходимые изменения продиктованные современностью.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Студент выполняющий практическую работу обязан выполнять следующие действия:

- Заблаговременно готовиться к предстоящему занятию используя инструкции, методические указания к практическим работам и рекомендованную литературу.
- При выполнении практической работы находится только на своем рабочем месте, не трогать оборудование и приборы, не относящиеся к работе, соблюдать тишину и порядок.

Запрещается:

Без разрешения трогать или переносить приборы, макеты и пр.

- Заниматься делами непосредственно не связанными с выполняемой работой.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Изготовление образцов для микроанализа.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться со способами изготовления образцов для микроанализа

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить понятие микроанализа .
2. Ознакомиться с выбором места для вырезки образца .
3. Изучить методы отрезки и заторцовки шлифа.
4. Методы шлифовки образцов .

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Микроанализ - изучение строения и пороков металла с помощью микроскопа , т.е. при больших увеличениях .

Исследованию подвергают специально приготовленные микрошлифы.

Микроанализ позволяет определить форму и размер кристаллических зерен в металле, выявлять микропороки , неметаллические включения , определять химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и т.д. Микроскопический анализ состоит из приготовления микрошлифов и исследования их под микроскопом .

Приготовление микрошлифов складывается из:

- 1) выбора места на детали для вырезки образца;
- 2) отрезки и заторцовки шлифа;
- 3) шлифования;
- 4) полирования.

1. Выбор места на детали для вырезки образца.

Образец должен быть вырезан из такого места в рабочей части детали, которое давало бы характеристику внутреннего строения, обеспечивало бы условия службы детали и технологию ее изготовления. Например, в шестерне, где рабочей частью является зубчатый венец, для исследования

структуры берется один или несколько зубьев, а в самом зубе исследуется поверхностный слой и его сердцевина. В коленчатом вале исследуется шейка вала в поверхностном слое в сердцевине.

2. Отрезка и заторцовка шлифа.

Эта операция проводится ножовкой или на токарном станке. Если металл очень твердый, образец отрезают посредством тонкого алундового или карборундового круга. Исследуемую поверхность образца заторцовывают на плоскость на наждачном круге или опиляют напильником. Отрезку и заторцовку следует производить с охлаждением образца водой, чтобы не повлиять на изменение его структуры.

Наиболее удобными размерами микрошлифа является цилиндр диаметром 12 мм и высотой 10 мм или параллелепипед с площадью основания 12x12мм при той же высоте. Образцы малых размеров (проволока, тонкий лист) занимают в специальных струбцинках или заливают в металлических кольцах в легкоплавкие материалы (сплав бура, сера, бакелит, полистирол).

3. Шлифование.

Заточенный образец шлифуется на шлифовальной бумаге, до полного удаления рисок, с постепенным переходом от бумаги с абразивом №12-3 с зернистостью 150-25 мк до бумаги микронной зернистостью №М40-М5 с зернистостью от 40 до 8,5 мк. При переходе с одного номера зернистости на другой необходимо очищать образец от абразива и менять направление шлифовки на 90. Шлифовальные шкурки на бумажной и тканевой основе соответственно по ГОСТам 6456-68, 5009-68. Зернистость абразивного материала шлифовальных шкурок определена ГОСТом 3647-59.

Шлифовка образцов производится либо вручную, когда шлифовальная бумага кладется на ровные плоские плиты (стекло, мрамор), либо на специальных шлифовальных станках, с закреплением шлифовальной бумаги на вращающихся дисках или лентах.

Для шлифовки образцов, кроме шлифовальной бумаги можно применять специальные пасты. Паста ГОИ, в состав которой входит окись хрома,

стеарин , олеиновая кислота , сода , керосин , применяется для шлифовки черных металлов. Она имеет три сорта зернистости (тонкая, средняя, грубая) . Хромоалюминиевые пасты для сталей отличаются от пасты ГОИ, в основном добавкой окиси алюминия. Пасты наносятся на бумагу или сукно. Шлифовка на пастах ведется после обработки образца на грубой и средней шлифовальной бумаге (№220).

При шлифовке мягких металлов рекомендуется смачивать шлифовальную бумагу керосином , а при обработке цветных металлов покрывать ее тонким слоем парафина . Образец после окончательной шлифовки тщательно очищается от абразива и полируется до полного исчезновения рисок.

4. Полирование.

Предварительное полирование проводят на специальном полировальном станке с кругом диаметром 200-250 мм, обтянутым грубым сукном, со скоростью 400-600 об/мин. Сукно смачивается полировальной жидкостью, которая составляется путем смешения 10-15 граммов окиси хрома или 5 граммов окиси алюминия в одном литре воды. Окончательное полирование ведется на тонком мягком сукне (фетре), смачиваемом тонкой взвесью тех же окислов, до полного уничтожения рисок и получения зеркальной поверхности , что занимает при хорошо отшлифованной поверхности 5-7 мин.

После полирования шлиф промывают водой, затем спиртом и сушат на воздухе или, прикладывая его к фильтровальной бумаге. Наиболее совершенный способ полирования – электрохимический. Сущность его состоит в том что, шлифованный образец, в качестве анода, помещают в электролит (H_2SO_4) и присоединяют к положительному источнику тока : катодом является свинцовая или цинковая пластинки, расположенные на определенном расстоянии от полируемой поверхности. При достаточной плотности тока неровности поверхности шлифа растворяются, и она получается гладкой и блестящей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое микроанализ?
2. Способ изготовления образца?
3. Для чего используется полирование?
4. Как выполнить шлифовку образцов?
5. Для чего производят микроанализ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Подбор оборудования, реактивов и режимов травления образцов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Научиться выбирать оборудование, реактивов и режимов травления образцов

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с необходимым оборудованием для травления образцов
2. Ознакомится с ГОСТ 10243-75 .
3. Изучить применяемые реактивы.
4. Виды обработки образцов , после травления .

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Для травления темплетов следует применять ванны, сосуды, изготовленные из материалов, не вступающих в реакцию с применяемыми травильными растворами.

Перед травлением темплеты необходимо очистить от грязи и, если требуется, обезжирить.

Образцы в травильных ваннах не должны соприкасаться контролируемыми плоскостями друг с другом и со стенками ванны. Количество травильного раствора должно обеспечивать небольшое снижение концентрации кислоты за время травления.

Количество раствора должно быть, в см ГОСТ 10243-75 (СТ СЭВ 2837-81)

Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры (с Изменением N 1) (ориентировочно):

на 10 см ГОСТ 10243-75 (СТ СЭВ 2837-81) Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры (с Изменением N 1) площади темплета;

на 100 см ГОСТ 10243-75 (СТ СЭВ 2837-81) Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры (с Изменением N 1) площади темплета;

2000 - на 1000 см ГОСТ 10243-75 (СТ СЭВ 2837-81) Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры (с Изменением N 1) площади темплета.

Образцы перед травлением рекомендуется подогреть до 60-80 °С, т. е. до температуры раствора.

Применяемые реактивы должны быть чистыми, светлыми, без взвешенных частиц и пены.

Условия травления должны исключать возникновение ложных дефектов.

При использовании больших ванн допускается одновременно травить образцы от марок, близких по химическому составу.

Время травления должно быть более продолжительным :

для легированных и кислотостойких сталей;

для металла с повышенной твердостью;

при травлении образцов без подогрева;

при травлении в менее нагретом растворе.

Травление образцов должно обеспечивать получение четко выявленной макроструктуры, позволяющей надежно оценивать ее при сравнении со шкалами и фотоснимками.

В случае сильного растравливания металла (потемнения поверхности, появления ложной пористости по всему сечению, шероховатости) испытания повторяют на тех же образцах после снятия поверхностного слоя на глубину не менее 2 мм.

После травления в любом реактиве образцы должны быть тщательно промыты в проточной воде и просушены. При этом рекомендуется использовать неметаллические щетки.

Образцы, предназначенные для хранения, рекомендуется дополнительно обработать 10%-ным спиртовым раствором аммиака или промыть спиртом, а затем покрыть бесцветным лаком.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Перечислите методы испытаний?
2. Назовите применяемые реактивы для очистки темплета?
3. Каким должно быть количество травильных растворов?
4. В каких случаях применяют повторное испытание образца?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Оценка протравленных темплетов и изломов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить виды и оценку степени развития дефектов макроструктуры

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы

ХОД РАБОТЫ:

- 1.Оценка заготовок .
- 2.Оценка степени развития дефектов .
- 3.Ознакомится с видами проб.
- 4.Изучить величину дефектов .

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Определение вида и оценку степени развития дефектов макроструктуры производят сравнением натурального вида свежепротравленных образцов с эталонами шкал или с фотоснимками. Для правильной классификации дефектов, обнаруживаемых в изломе, используют фотоснимки и краткие описания.

Каждая шкала состоит из пяти баллов. Шкалы иллюстрируют следующие виды дефектов макроструктуры:

- шкалы N 1 и 1а - центральную пористость;
- шкалы N 2 и 2а - точечную неоднородность;
- шкалы N 3, 3а и 3б - общую пятнистую ликвацию;
- шкалы N 4 и 4а - краевую пятнистую ликвацию;
- шкалы N 5 и 5а - ликвационный квадрат;
- шкалы N 6 и 6а - подсадочную ликвацию;
- шкала N 7 - подкорковые пузыри;
- шкала N 8 - межкристаллитные трещины;
- шкала N 9 - послойную кристаллизацию;
- шкала N 10а - светлую полосу (контур).

Образцы от заготовок размером 90-140 мм, а также от перекованных проб оценивают по шкалам N 1, 2, 3, 3б, 4, 5, 6, 7, 8, 9; образцы от заготовок размером свыше 140 до 250 мм - по шкалам N 1а, 2а, 3а, 4а, 5а, 6а, 10а.

Подкорковые пузыри, межкристаллитные трещины, послойную кристаллизацию в заготовках размером от 140 до 250 мм оценивают по шкалам N 7, 8, 9 (соответственно). Светлую полосу (контур) в заготовках размером 90-140 мм оценивают по шкале N 10а.

При оценке заготовок размером свыше 250 мм и менее 90 мм площадь, занимаемая дефектами, по сравнению со шкалами должна быть соответственно увеличена (для заготовок более 250 мм) или уменьшена (для заготовок размером менее 90 мм) пропорционально увеличению или уменьшению площади поперечного сечения контролируемой заготовки. При этом принимается во внимание степень развития дефекта.

Величину дефектов допускается оценивать как целым баллом, так и половиной (0,5; 1,5 и т. д.). Баллом 0,5 оценивают структуру темплетов, имеющих дефекты со степенью развития в полтора, два раза меньше, чем на фотоэталонах первых баллов соответствующих шкал.

При отсутствии дефектов проставляют балл 0; при грубом развитии - балл более 5.

При одновременном присутствии нескольких дефектов оценку и классификацию каждого дефекта производят отдельно.

Оценку степени развития дефектов в изломах и на продольных макротемплетах производят сопоставлением их натурального вида с фотоэталонами специальных шкал, согласованных между поставщиком и потребителем.

При оценке макроструктуры металла по фотоснимкам (в арбитражных испытаниях) последние должны быть выполнены четко, в натуральную величину или с указанием масштаба.

При неудовлетворительных результатах первичного контроля макроструктуры повторные испытания производят в объеме, установленном стандартами на конкретную металлопродукцию.

При отсутствии указаний повторное испытание рекомендуется проводить по одному из следующих вариантов:

- а) на удвоенном количестве проб;
- б) на пробах от дефектных заготовок, а при послиточной маркировке - от дефектных слитков после дополнительной обрезки дефектной части заготовок;
- в) на пробах от смежных заготовок после отсортировки дефектных;
- г) на пробах от каждого слитка или от каждой заготовки - в особо ответственных случаях или при обнаружении дефектов нового вида.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Как производят оценку степени развития дефектов?
2. Перечислите виды возникающих дефектов ?
3. По каким шкалам оценивают заготовки размером 90-140?
4. Как допускается оценивать величину дефектов?
5. Как производят оценку степени развития дефектов в изломе?

Практическая работа № 4 Оформление результатов испытаний.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить правила оформления протокола испытаний

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомится с оформлением результатов испытаний .
2. Изучить режимы травления .
3. Оценка макроструктуры.
4. Реактивы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Оформление результатов испытаний.

Результаты оценки макроструктуры заносят в протокол испытаний с указанием:

марки стали, номера плавки, обозначения стандарта на поставку;

сечения и размера контролируемой заготовки, мм;

номера и индекса заготовки;

баллов по дефектам:

ЦП - центральной пористости,

ТН - точечной неоднородности,

ОПЛ - общей пятнистой ликвации,

КПЛ - краевой пятнистой ликвации,

ЛК - ликвационному квадрату,

ПУ - подсадочной ликвации,

ПП - подкорковым пузырям;

МТ - межкристаллитным трещинам;

ПК - послойной кристаллизации;

СП - светлой полосы (контура);

дефектов, не нормированных шкалами, и дефектов поверхности,

обнаруживаемых на поперечных темплетях (вписываются в примечание).

В документе о качестве на металл указывается "годен" или "соответствует требованиям".

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕАКТИВЫ И РЕЖИМЫ ТРАВЛЕНИЯ

Марки стали	Состав реактива	Температура раствора, °С	Время травления, мин	Примечание
Все марки стали, кроме приведенных ниже	Реактив 1 Кислота соляная по ГОСТ 3118-77, 50%-ный водный раствор	60-80	5-45	-
Коррозионностойкие, жаропрочные и другие стали аустенитного класса	Реактив 2 Кислота соляная по ГОСТ 3118-77 - 100 см Кислота азотная по ГОСТ 4461-77 - 10 см	60-70	5-10	-
Коррозионностойкие, жаропрочные и другие стали аустенитного класса	Реактив 3 Кислота соляная по ГОСТ 3118-77 - 100 см Кислота азотная по ГОСТ 4461-77 - 100 см Вода - 100 см	60-70	5-10	-
Коррозионностойкие, жаропрочные и другие	Реактив 4 Кислота соляная по ГОСТ 3118-77 - 100	20	5-10	-

стали аустенитного класса	см Кислота азотная по ГОСТ 4461-77 - 100 см Вода - 100 см Калий двуххромовокислый по ГОСТ 4220-75 - 11,0-11,5 г Реактив 5			
Коррозионностойкие, жаропрочные и другие стали аустенитного класса и стали ферритного класса	Кислота соляная по ГОСТ 3118-77 - 100 см Кислота серная по ГОСТ 4204-77 - 7 см Медь сернокислая по ГОСТ 4165-78 - 30 г или медь сернокислая безводная - 20 г.	20	15-25	Травление рекомендуется производить протиркой ватой, смоченной в реактиве. Шлиф промыть водой и 5-10%-ным раствором хромпика (по ГОСТ 4220-75)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ :

1. Что такое протокол испытаний ?
2. Куда записываются оценки микроструктуры ?
3. Что указывается в протоколе испытаний ?
4. По каким ГОСТам выбирается состав реактива ?
5. Какая температура раствора для коррозионных сталей ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5 Исследование микроструктуры углеродистой стали.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии. Научиться определять массовую долю углерода в стали и марку стали по ее микроструктуре. Освоить маркировку углеродистых сталей.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы

ХОД РАБОТЫ :

1. Изучить углеродистые стали их химический состав .
2. Ознакомиться с химическим составом и ферритом .
3. Рассмотреть химический состав средне углеродистых , инструментальных и высококачественных сталей.
4. Научиться определять массовую долю углерода в стали и марку стали по ее микроструктуре.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

К углеродистым сталям относятся сплавы железа с углеродом с массовой долей углерода от 0,02 до 2,14 %.

Основными компонентами углеродистых сталей являются железо и углерод. Железо является полиморфным металлом, имеющим разные кристаллические решетки в различных температурных интервалах. При температурах ниже 910° С, железо существует в α -модификации, кристаллическое строение которой представляет собой объемно-центрированную кубическую решетку. Эта аллотропическая модификация железа называется α -железом. В интервале температур от 910° С до 1392° С существует γ -железо с гранецентрированной кубической решеткой.

Углерод является неметаллическим элементом, обладающим полиморфизмом. В природе встречается в виде графита и алмаза. В углеродистых сталях эти компоненты взаимодействуют, образуя, и в зависимости от их количественного соотношения и температуры, разные фазы, представляющие собой однородные части сплава. Это взаимодействие заключается том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твердом состоянии. Кроме того, он может образовывать с железом химическое соединение. Таким образом, в углеродистых сталях различают следующие фазы: жидкий сплав (Ж), твердые растворы - феррит (Ф) и аустенит (А) и химическое соединение цементит (Ц),

Феррит - твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Имеет объемно-центрированную кубическую решетку и содержит при нормальной температуре 0,006 % углерода. У феррита низкие твердость ($HV = 790 \text{ МПа}$) и прочность ($\sigma_b = 245 \text{ МПа}$), высокие пластичность ($\delta = 50 \%$, $\psi = 85 \%$) и ударная вязкость ($KCU = 2940 \text{ кДж/м}^2$).

Аустенит - твердый раствор внедрения углерода в γ -железе, при нормальной температуре в углеродистых сталях в равновесном состоянии не существует.

Цементит - химическое соединение железа с углеродом, карбид железа Fe_3C . Он обладает сложной кристаллической решеткой, содержит 6,67 % углерода. Для цементита характерна высокая твердость ($HV = 9800 \text{ МПа}$) и очень низкая пластичность.

Стали конструкционные углеродистые качественные (ГОСТ 1050-88).

К сталям этой группы предъявляют более высокие требования относительно состава: меньшее содержание серы (менее 0,04%) и фосфора (0,35 – 0,04%).

Они маркируются двужначными цифрами, обозначающими среднюю массовую долю углерода в стали в сотых долях процента (табл.4.2).

Например, сталь 30 – углеродистая конструкционная качественная сталь со средней массовой долей углерода 0,3%. Качественные конструкционные углеродистые стали широко применяются во всех отраслях машиностроения и в судостроении в частности.

Низкоуглеродистые стали (08, 10, 15, 20, 25) обладают высокой пластичностью, но низкой прочностью. Стали 08, 10 используют для изготовления деталей холодной штамповкой и высадкой (трубки, колпачки и т.п.). Стали 15, 20, 25 применяют для цементируемых и цианируемых деталей (втулки, валики, пальцы и т.п.), работающих на износ и не испытывающих высоких нагрузок. Низкоуглеродистые качественные стали используют и для ответственных сварных конструкций.

Среднеуглеродистые стали (30, 35, 40, 45, 50), обладающие после термической обработки хорошим комплексом механических свойств, применяются для изготовления деталей повышенной прочности (распределительных валов, шпинделей, штоков, плунжеров, осей, зубчатых колес и т.п.).

Высокоуглеродистые стали (55, 60) обладают более высокой прочностью, износостойкостью и упругими свойствами; применяются для деталей работающих в условиях тря при наличии высоких статических и вибрационных нагрузок. Из этих сталей изготавливают прокатные валки, шестерни и т.п.

Стали углеродистые инструментальные качественные и высококачественные (ГОСТ 1435-90).

Эти стали маркируются буквой У и следующей за ней цифрой, показывающей среднюю массовую долю углерода в десятых долях процента (табл.4.3). Например сталь У10 – инструментальная углеродистая качественная сталь со средней массовой долей углерода 1%. Если в конце марки стоит буква "А", это означает, что сталь высококачественная, т.е. содержит меньше вредных примесей (серы $\leq 0,025\%$ и фосфора $\leq 0,025\%$).

Для режущего инструмента (фрезы, зенкеры, сверла, ножовки, напильники и т.п.) обычно применяют заэвтектоидные стали (У10, У11, У12, У13). Деревообрабатывающий инструмент, зубила, отвертки, топоры и т. п. изготавливают из сталей У7 и У8.

Марки стали	Массовая доля элементов, %		
	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>
Ст0	> 0,023	—	—
Ст1кп	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	> 0,05
Ст1пс	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	0,05 – 0,15
Ст1сп	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	0,15 – 0,30
Ст2кп	0,09 – 0,15	0,25 – 0,50	> 0,05
Ст3пс	0,14 – 0,22	0,30 – 0,60	0,05 – 0,15
Ст4сп	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70	0,15 – 0,30
Ст5сп	0,28 – 0,37	0,50 – 0,80	0,15 – 0,30
Ст6пс	0,38 – 0,49	0,50 – 0,80	0,05 – 0,15

Таблица 1

Химический состав углеродистых конструкционных сталей обыкновенного качества по ГОСТ 380-88.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какие стали относятся к углеродистым?
2. Что такое феррит?
3. Что такое аустенит?
4. Что такое цементит?
5. Назовите марки высококачественных сталей?
6. Какие стали относятся к конструкционным?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Исследование микроструктуры углеродистой стали после термической обработки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить микроструктуру углеродистых сталей в после термической обработки

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить влияние термической обработки на структуру стали 08 кп
2. Ознакомиться с рисунком микроструктуры стали 08 кп после различных видов термической обработки
3. Влияние термической обработки на структуру стали 09Г2С
4. Изучить рисунок микроструктуры стали 09 Г2 С после различных видов термической обработки

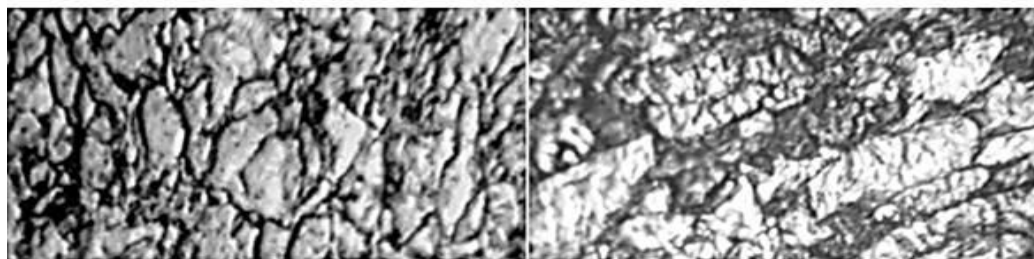
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Влияние термической обработки на структуру стали марки 08 кп

Металлографический анализ позволил установить (см. рис. 1), что структура после холодной прокатки имеет ярко выраженную текстуру деформации. Она образована вытянутыми в направлении прокатки сравнительно крупными ферритными зернами, среди которых наблюдаются полосообразные островки перлита, также ориентированные по направлению прокатки. Это указывает на повышенные прочностные свойства материала в сочетании с очень низкой пластичностью, а также свидетельствует о низкой технологичности материала.

Холодная прокатка

Прокатка + отжиг 650°С



Прокатка + отжиг 700°С

Нормализация 914°С

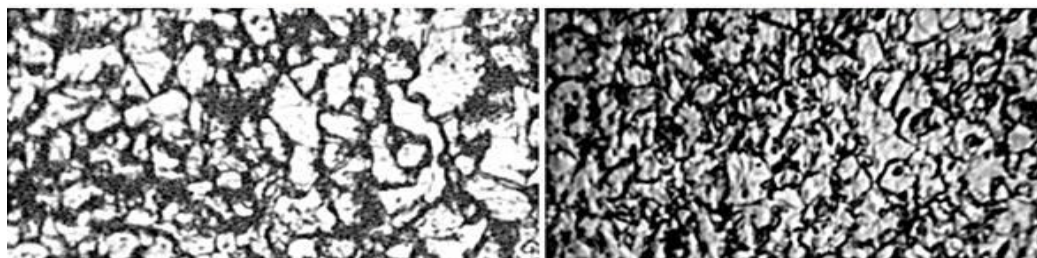


Рисунок 1. Микроструктуры стали 08 кп после различных видов термической обработки, х 500

В связи с перечисленными недостатками холоднокатаной стали 08 кп для изготовления из нее труб целесообразно проводить термическую обработку после деформации — рекристаллизационный отжиг, который проводили при температурах 650 и 700°C.

При температуре отжига 650°C имеет место начальная стадия рекристаллизации — образование центров кристаллизации и рост новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой.

Отжиг при 700°C способствует полной рекристаллизации, в результате чего металл приобретает равномерное мелкозернистое строение с равноосными зернами 10—11 балла. Материал подобной структуры обладает высокими пластическими свойствами в сочетании с достаточной прочностью, стало быть, целесообразен для изготовления из него трубопроводов.

На основании сделанных наблюдений установим, что оптимальной температурой отжига холоднодеформированной стали 08кп является температура 700°C.

Влияние термической обработки на структуру стали 09Г2С

Для стали 09 Г2 С (см. рис. 2) после холодной прокатки ярко выражена характерная для наклепанного металла строчечность, она образована вытянутыми в направлении прокатки ферритными зернами различного размера, среди которых равномерно распределены полосообразные островки перлита, также ориентированные по направлению прокатки.

Проведение отжига при 650°C способствует частичной рекристаллизации, в структуре присутствует около 50 % рекристаллизовавшихся мелких зерен, соседствующих с вытянутыми деформированными зернами.

Отжиг при 700°C способствует полной рекристаллизации, в результате чего металл приобретает равномерное мелкозернистое строение с равноосными зернами 11—13 балла. Материал подобной структуры обладает высокими пластическими свойствами в сочетании с достаточной прочностью, что облегчает его дальнейшую обработку и делает целесообразным его применение для изготовления трубопроводов.

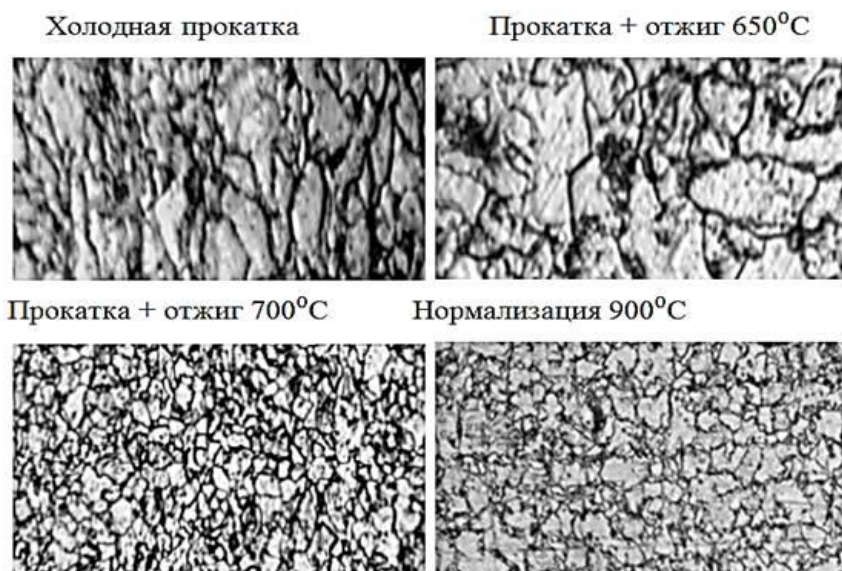


Рисунок 2. Микроструктуры стали 09 Г2 С после различных видов термической обработки, х 500

После нормализации с прокатного нагрева сталь 09 Г2 С имеет довольно мелкое равноосное ферритное зерно (10—12 балл). В структуре нормализованной стали 09 Г2 С проявляется перлитная полосчатость, свойственная кремние-марганцевым сталям после контролируемой прокатки. заключаем, что оптимальным способом термической обработки стали 09 Г2 С для производства штрипса, обеспечивающим высокие потребительские свойства готовых труб, является холодная прокатка при деформации 50 % с последующим отжигом при температуре 700°C.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Как влияет термическая обработка на свойства стали?
2. Назовите недостатки стали 08кп?
3. Какая оптимальная температура отжига для стали 08кп?
4. Перечислите достоинства и недостатки стали 09Г2С?
5. Какой оптимальный способ термической обработки для стали 09Г2С?

Практическая работа № 7

Исследование микроструктуры легированной стали.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить микроструктуру и химический состав легированной стали

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить примеси для улучшения сталей
2. Ознакомиться с пределом текучести, пластичность, предел выносливости легированных сталей
3. Изучить химический состав некоторых легированных сталей
4. Пользуясь фотографиями микроструктур и схемами зарисовок проанализировать структурные составляющие легированных конструкционных сталей

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Улучшаемые (среднелегированные) стали

Эти стали называют улучшаемыми потому, что их часто подвергают улучшению—термической обработке, заключающейся в закалке и отпуске при высоких температурах. Улучшаемые стали должны иметь высокую прочность, пластичность, высокий предел выносливости, малую чувствительность к отпускной хрупкости, должны хорошо прокаливаться. Химический состав некоторых улучшаемых сталей приведён в таблице:

Химический состав (%) некоторых улучшаемых среднелегированных сталей (ГОСТ 1050-74 и 4543-71)

Марка стали	Элементы	Другие элементы
	C	Mn Cr Ni
45X	0,41-0,49	0,5-0,8 0,8-1,1 $\leq 0,25$
30ХРА	0,27-0,33	0,5-0,8 1,0-1,3 $\leq 0,25$
30ХГСА	0,28-0,34	0,8-1,1 0,8-1,1 $\leq 0,25$ 0,9-1,2Si
45ХН	0,41-0,49	0,5-0,8 0,45-0,75 1,0-1,4
40ХН2МА	0,37-0,44	0,5-0,8 0,6-0,9 1,25-1,65 0,15-0,25Mo

Хромистые стали (40X, 45X). Благодаря высокой прочности и достаточно хорошей прокаливаемости эти стали применяют для изготовления коленчатых валов, зубчатых колес, осей валиков, рычагов, втулок, болтов,

гаек. Детали из этих сталей закаливают в масле с температуры 820-8500С. В зависимости от предъявляемых требований отпуск деталей проводят при различных температурах. Хромистые стали с 0,001-0,005% бора (30ХРА, 40ХР). Они имеют повышенную прочность и прокаливаемость.

Хромокремнемарганцевые стали (30ХГСА, 35ХГСА). Эти стали, называемые хромансиль. Не содержат дефицитных легирующих элементов. Имеют высокие механические свойства. Хорошо свариваются и заменяют хромоникелевые и хромомолибденовые стали. Хромоникелевые стали (40ХН, 45 ХН). Они имеют после термической обработки высокую прочность и пластичность и хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Прочность стали придает хром, а пластичность – никель. Хромоникелевые стали прокаливаются на очень большую глубину по сравнению не только с углеродистыми, но и другими легированными сталями. Указанные стали применяют для изготовления ответственных сильно нагруженных деталей – для шестерен, валов и т.п. Хромоникельмбденовая сталь (40ХН2МА). Эта сталь в улучшенном состоянии имеет высокую прочность при хорошей вязкости, высокую усталостную прочность, глубоко прокаливается; ее применяют для изготовления сильно нагруженных деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок. Улучшение проводят по режиму: закалка с 8500С в масле, отпуск при 6200С.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

Что называется легированной сталью?

Какие требования предъявляются к конструкционным сталям?

Перечислите стали которые входят в разряд конструкционных?

Где применяются хромистые стали?

Какие стали называют быстрорежущими?

Расшифруйте следующие марки сталей: ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ, 40Х9С2, 30ХГСА.

Практическая работа № 8

Исследование микроструктуры чугунов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с микроструктурой чугунов

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с определением понятию чугун
2. Изучить в чем заключается микроскопический анализ
3. Рассмотреть способы исследования микроструктуры чугуна

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Сплав железа с углеродом при содержании последнего больше 2.14 % называется чугуном.

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металлов при больших увеличениях с помощью микроскопа.

Наиболее простым и распространенным методом микроанализа является оптическая (световая) микроскопия. Этим методом изучают размеры, форму, взаимное расположение кристаллов (зерен), достаточно крупные включения в них, некоторые дефекты кристаллического строения (двойники, дислокации).

Исследование микроструктуры получаемых серых чугунов производим на металлографическом микроскопе МИМ-7.

Вначале обычно изучают структуру нетравленного микрошлифа, т.е. непосредственно после полирования. Под микроскопом такой шлиф имеет вид светлого круга, на котором часто можно заметить темные участки (серые или черные). Это неметаллические включения - оксиды, сульфиды, нитриды, силикаты, графит. Вследствие хрупкости неметаллические включения могут выкрашиваться при шлифовании, и тогда на поверхности шлифа остаются углубления, которые могут быть заполнены абразивными частицами. В любом случае эти углубления имеют темный цвет.

В серых чугунах на нетравленных шлифах наблюдают включения (серые или темные) графита. Оценку количества графитовых включений и характера их распределения производят также по типовой шкале, установленной ГОСТ 3443-77.

При изучении нетравленного микрошлифа литого материала часто обнаруживается микропористость.

После просмотра нетравленного шлифа для более полного изучения структуры сплава шлиф травят. Травление осуществляют несколькими способами, но чаще всего методом избирательного растворения фаз. Этот метод основан на различии физико-химических свойств отдельных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа.

Если освещать шлиф падающим светом, то из-за присутствия косых лучей образуются теневые картины, по которым можно судить о структуре сплава. Этот метод позволяет установить структуру многофазных сплавов, а также границы зерен в однофазных сплавах.

Для травления микрошлиф полированной стороной погружают в раствор на некоторое время (до появления матовой поверхности), затем промывают водой и спиртом и высушивают. Составы растворов для травления микрошлифов весьма разнообразны и зависят от материала и цели исследования. Чаще всего для исследования микроструктуры железоуглеродистых сплавов используют 2...4 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какой металл называется чугуном?
2. Что такое микроскопический анализ?
3. Для чего нужен металлографический микроскоп МИМ-7?
4. Какой раствор используется для травления образцов?

Практическая работа № 9

Исследование микроструктуры цветных сплавов на основе меди, алюминия.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с микроструктурой применяемых медных, алюминиевых и магниевых сплавов.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с цветными металлами и их сплавами, область их применения
2. Рассмотреть микроструктуру медных сплавов
3. Изучить микроструктуру алюминиевых сплавов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Цветные **металлы** и **сплавы** применяются в различных областях народного хозяйства. Алюминиевые и магниевые **сплавы** широко применяются в аэрокосмической промышленности; медь служит основой **изделий** электротехнической промышленности: **латуни**, **бронзы** используются для изготовления разнообразных изделий.

К медным сплавам промышленного применения относятся латуни и бронзы. Латуни. Латунями называются сплавы меди с цинком. Они подразделяются на двойные (простые) и специальные (сложные). Двойные латуни представляют собой двухкомпонентные сплавы меди с цинком. В специальные латуни для придания им определенных свойств помимо цинка вводят кремний, свинец, марганец, алюминий, олово, никель.

О фазовом составе двойных латуней можно судить по диаграмме состояния медь - цинк .

Практическое применение имеют латуни с содержанием цинка до 44 %. Двойные латуни могут быть однофазными (при содержании цинка менее 39 %) и двухфазными (при содержании цинка более 39 %).

Таким образом, однофазные α - латуни обладают хорошей пластичностью ($\delta = 40\%$) и относительно невысокой прочностью σ_B до 294 МПа. Поэтому α - латуни Л63. Л68. Л70 используются в виде тонких листов, лент и других полуфабрикатов, из которых штампуются различные детали. латуни с более высоким содержанием меди имеют цвет золота и применяются для изготовления ювелирных и декоративных изделий. К ним относятся полутомпаки Л80. Л85 и томпаки Л90. Л96. Число в марке латуни соответствует содержанию меди.

Двухфазные латуни имеют большую прочность $\sigma = 343 \dots 412$ МПа. но меньшую пластичность $\delta = 20$ %. Из латуни Л60 изготавливают трубы, штампованные детали.

Латуни сложные (специальные). В специальные латуни помимо цинка вводятся другие элементы. Например, свинец вводится для улучшения обрабатываемости резанием (автоматная латунь ЛС59 -1). олово - для повышения сопротивления коррозии в морской воде (морская латунь Л070 - 1). алюминий и никель - для повышения механических свойств (латунь ЛАН59 - 3 - 2)

Бронзы. Бронзами называются сплавы меди с другими элементами (оловом, алюминием, свинцом, бериллием, кремнием, марганцем, сурьмой, никелем и др.). цинк может входить в состав бронз в небольших количествах вместе с другими элементами, но не как основной легирующий элемент.

Бронзы оловянные. сплавы меди с оловом называются оловянными бронзами. На диаграмме медь - олово (рис. 2) область α - твёрдого раствора ограничена сплошными и пунктирными линиями. Сплошные линии относятся к равновесным сплавам, прошедшим после литья длительный отжиг а пунктирные - к литым неотожженным сплавам.

Как видно из диаграммы «медь - олово». структура литой бронзы при содержании олова менее 8 % состоит из α - твёрдого раствора, который представляет собой твёрдый раствор замещения олова в меди с гранецентрированной кубической решеткой.

Бронзы алюминиевые. Сплавы меди с алюминием называются алюминиевыми бронзами. Практическое применение имеют сплавы меди с 5 -10 % алюминия, а также добавками железа, никеля, марганца. В соответствии с диаграммой состояния медь - алюминий (рис. 3) бронзы при содержании алюминия менее 9.4 % состоят из α - твёрдого раствора, а при содержании алюминия более 9.4 % из α - твёрдого раствора и эвтектоида .

Алюминиевые бронзы превосходят оловянные по прочности и химической стойкости. Однофазные бронзы с 4 - 5% алюминия обладают максимальной пластичностью и невысокой прочностью. Двухфазные бронзы с 10% алюминия имеют максимальную прочность и низкую пластичность. При содержании алюминия более 10 % уменьшается прочность бронз. Поэтому наиболее часто применяются алюминиевые бронзы с 5 -10 % алюминия.

Алюминиевые бронзы кристаллизуются в узком интервале температур, поэтому обладают высокой жидкотекучестью и дают концентрированную усадочную раковину.

Бронзы свинцовые. сплавы меди со свинцом называются свинцовыми бронзами. Из диаграммы состояния медь - свинец (рис. 4) видно, что свинец не растворяется в меди, и поэтому двойные свинцовые бронзы после затвердевания состоят из кристаллов меди и включений свинца. Вследствие широкого интервала кристаллизации (954 - 327 °С) и большой разницы в плотности меди и свинца свинцовые бронзы склонны к ликвации по плотности, которую можно предупредить ускоренным охлаждением отливок.

Значения механических характеристик у двойных свинцовых бронз невысоки. Для повышения механических характеристик и коррозионных свойств в свинцовые бронзы добавляют олово и никель.

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Диаграммы состояния «алюминий - легирующий элемент (Л.Э.)» все одного типа: с ограниченной растворимостью в твёрдом состоянии с эвтектическим превращением (рис. 5).

Однофазные сплавы содержат Л.Э. в количестве, меньшем предела его растворимости при комнатной температуре. Они пластичны в холодном и горячем состоянии, не упрочняются термообработкой.

Если сплав содержит Л.Э. в количестве, большем его растворимости при комнатной температуре, но меньшем максимальной растворимости при высокой температуре, то появляется возможность получить пересыщенный твёрдый раствор. При этом сплавы остаются достаточно пластичными и могут упрочняться термической обработкой.

Если концентрация легирующего элемента превышает его максимальную растворимость в алюминии, то в структуре появляется эвтектика, что повышает жидкотекучесть сплава. Такие сплавы относятся к группе литейных.

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Сплавы на основе магния обладают более высокими механическими свойствами - чем чистый магний. Повышение прочности достигается за счёт образования сложнолегированных твёрдых растворов и фаз в виде соединений магния с вводимыми добавками.

В качестве легирующих добавок в магниевых сплавах используют: до 10 % алюминия, до 6 % цинка, до 2.5 % марганца, до 1.5 % циркония. Содержание Л.Э. ограничивается их растворимостью в магнии. Растворимость эта снижается с уменьшением температуры, что позволяет применять для этих сплавов термическую обработку.

Малый удельный вес (до 1.8 г/см³) и относительно высокие механические свойства (200 - 360 МПа, 6 - 20 %) позволяют использовать магниевые сплавы в качестве конструкционных материалов в различных областях техники.

Способность магниевых сплавов гасить ударные нагрузки делает их хорошим материалом для деталей, подверженных сильным толчкам (колеса самолетов, артиллерийских орудий).

Литейные сплавы маркируются: МЛ5, МЛ10; деформируемые сплавы: МА1, МА14.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какие цветные металлы и сплавы применяются на производстве?
2. Какие сплавы относятся к медным?
3. Какие металлы называют бронзами?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

Изучение методики работы с металлографическим микроскопом.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: освоение приемов приготовления микрошлифов, ознакомление с методами металлографического анализа.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Отшлифовать вырезанный образец.
2. Отполировать вырезанный образец.
3. Исследовать протравленный шлиф под металлографическим микроскопом.
4. Зарисовать исследуемую микроструктуру.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Большинство свойств материалов зависит от их строения. Исследование внутреннего строения металлов и сплавов с помощью микроскопа при больших увеличениях называется микроанализом металлов.

Внутреннее строение, видимое при больших увеличениях с помощью микроскопа, называется микроструктурой.

Изучение микроструктуры позволяет выявить построение металлов и сплавов из большого числа зерен (кристаллов), их форму, размеры и взаимное расположение. Также можно выявить частицы неметаллических включений, различные фазы в металле, микродефекты (раковины, мелкие трещины) и дефекты кристаллического строения (например дислокации). По микроструктуре можно судить о характере и качестве термической обработки, сварки, литья и др.

Изучение микроструктуры производят на микрошлифа

Микрошлиф – это специально подготовленный образец металла или сплава.

Металлографический микроскоп – это оптический прибор, позволяющий рассматривать при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете. Он состоит из оптической системы, осветительного устройства и механической

системы. Оптическая система состоит из объектива, окуляра, зеркала, призмы и т.п. (рис. 2).

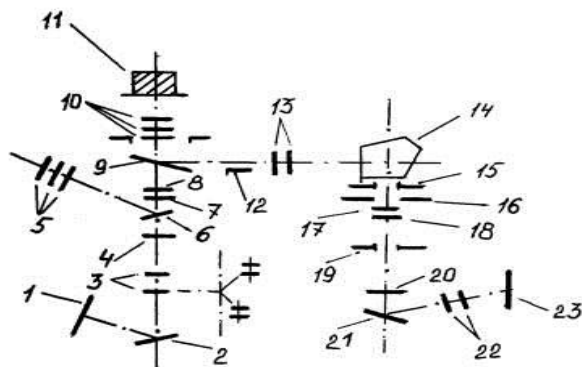


Рис. 2. Оптическая система вертикального металлографического микроскопа МИМ-7: 1 – матовое стекло фотокамеры; 2 – зеркало; 3 – оптическая система фотоокуляра; 4 – рамка; 5 – оптическая система окуляра; 6 – зеркало; 7 – ахроматическая линза; 8 – анализатор; 9 – зеркало; 10 – оптическая система объектива; 11 – образец; 12 – откидная диафрагма; 13 – линза; 14 – отражательная призма; 15 – полевая диафрагма; 16 – фотозатвор; 17 – вкладной анализатор; 18 – линза; 19 – апертурная диафрагма; 20 – светофильтр; 21 – зеркало; 22 – коллектор; 23 – осветительная лампа

Объектив – это система линз, дающая действительное увеличенное обратное изображение шлифа.

Окуляр – это система линз, обращенная к глазу наблюдателя, которое исправляет оптические дефекты и дает мнимое увеличенное изображение.

Шлиф освещается через объективы посредством применения специальной осветительной системы, состоящей из источника света, серии линз, светофильтров и диафрагм.

Механическая система микроскопа состоит из штатива, тубуса и предметного столика (рис.3).

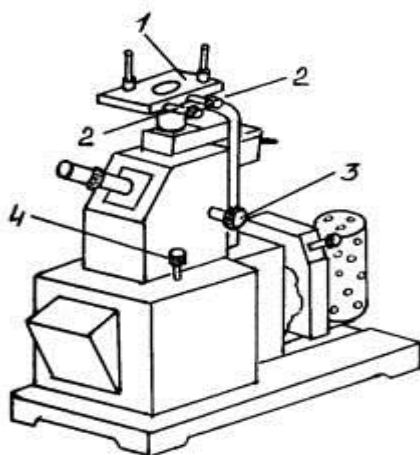


Рис. 3. Схема вертикального металлографического микроскопа МИМ-7

Шлиф устанавливают на предметный горизонтальный столик 1, который можно передвигать в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных плоскостях с помощью винтов 2, что позволяет просматривать микроструктуру в различных участках шлифа.

Для получения четкого изображения шлиф наводят на фокус при помощи макрометрического винта 3. Точное фокусирование достигается микрометрическим винтом 4.

Качество металлографического микроскопа определяется разрешающей способностью, качеством изображения объекта, общим увеличением микроскопа.

Под **разрешающей способностью** понимают наименьшее расстояние между двумя точками, при котором они видны отдельно.

По устройству различают микроскопы вертикальные и горизонтальные.

Наиболее широко для металлографических исследований используют вертикальные микроскопы МИМ-7 и ММР-4 и горизонтальный микроскоп МИМ-8.

В микроскопе МИМ-7 можно вести исследование в темном или светлом поле при вертикальном или косом освещении. Увеличение микроскопа составляет от 60 до 1440.

Микроскоп ММР-4 по конструкции и возможности превосходит микроскоп МИМ-7 благодаря наличию револьверной головки с шестью объективами, определенной системы линз и др.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Зависят ли свойства сплавов от их строения?
2. Что называется микроструктурой?
3. Что называется микрошлифом?
4. В чем заключается процесс изготовления микрошлифа?
5. Что называется объективом?
6. Что называется окуляром?
7. Назовите основные типы металлографических микроскопов

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11

Исследование микроструктуры зоны термического влияния при ручной электродуговой сварке.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить микроструктуру зоны термического влияния.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить что такое зона термического влияния.
2. Ознакомиться со структурными изменениями в ЗТВ
3. Схема термический цикл при сварке
4. Изучить изменения механических свойств в металле шва
5. Зарисовать схему изменений механических свойств в металле шва и околошовной зоне

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Зона термического влияния является обязательным спутником сварного шва при всех способах сварки плавлением и давлением, кроме холодной сварки. Эта зона охватывает основной металл, не расплавляющийся в процессе сварки и сохраняющий неизменным свой химический состав, но изменивший свою структуру и механические свойства вследствие нагрева и охлаждения (термообработки) в процессе сварки.

Прочность сварного соединения и его эксплуатационные свойства во многом зависят от структурных изменений, которые происходят в ЗТВ. Строение и размеры ЗТВ зависят от химического состава и теплофизических свойств свариваемого металла, мощности источника теплоты, степени его концентрированности, скорости движения и других факторов. Ширина ЗТВ меняется от 1...3 мм при ручной дуговой сварке до 20 мм и более при электрошлаковой сварке.

Термический цикл любой точки металла сварного соединения характеризуется максимальной температурой нагрева, длительностью нагрева до определенной температуры и скоростью охлаждения. Для ЗТВ характерно неравномерное распределение максимальных температур нагрева (рис. 1.4).

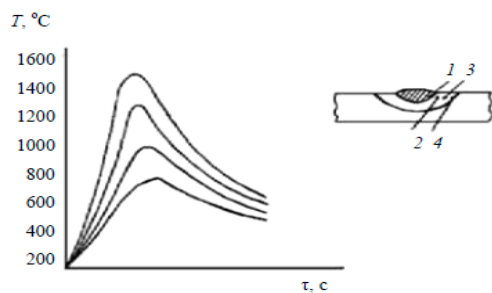


Рис. 1.4. Термический цикл при сварке плавлением: 1, 2, 3, 4 – точки, в которых измерялась температура

Результат теплового воздействия на металл в ЗТВ зависит от его отношения к термообработке. В зависимости от способа и погонной энергии сварки возможны два предельных случая:

- 1) закалка – при быстром охлаждении – с образованием твердых и хрупких структур и возникающих при этом значительных по величине напряжений;
- 2) перегрев – при медленном охлаждении, – характеризующийся чрезмерным ростом зерна и снижением пластических и вязких свойств металла.

Об изменении прочностных и в определенной степени пластических свойств в различных участках металла шва и ЗТВ можно судить по изменению твердости (рис. 1.6).

Повышение твердости обычно связано с повышением прочности и снижением пластичности. Характер распределения твердости в ЗТВ может быть различным, он определяется химическим составом стали и режимом сварки. Обычно в сварных изделиях не допускается твердость в зоне сварки более $HV = 300$ МПа.

Таким образом, зона термического влияния неоднородна по структуре и механическим свойствам. Наиболее ослабленным является участок перегрева, а наилучшие механические свойства имеет участок нормализации. В целом механические свойства ЗТВ хуже, чем у основного металла, поэтому ее размеры необходимо ограничивать.

Чувствительность стали к изменению термического цикла сварки зависит от содержания в ней углерода, а также элементов, повышающих ее прокаливаемость и склонность к перегреву.

В сварных соединениях низкоуглеродистой и большинства низколегированных сталей рост зерна в околошовной зоне не оказывает заметного влияния на свойства металла.

При сварке углеродистых и особенно легированных сталей быстрое охлаждение околошовной зоны вызывает часто закалку металла и образование структур, имеющих значительные твердость и хрупкость. В этих случаях для улучшения структуры и свойств ЗТВ применяют термическую обработку, обычно высокий отпуск.

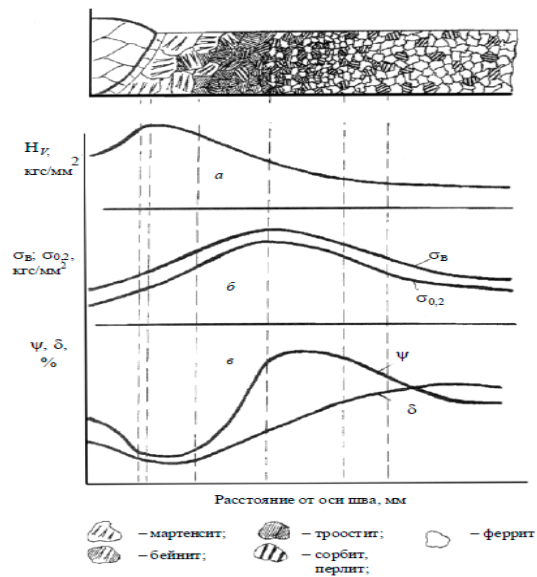


Рис. 1.6. Изменение механических свойств в металле шва и околошовной зоне: а – твердость; б – прочность; в – пластичность

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое ЗТВ?
2. Какие структурные изменения происходят в ЗТВ?
3. Чем характеризуется термический цикл сварного соединения?
4. Что такое закалка?
5. Что такое перегрев зоны шва?

ПАРКИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12

Исследование микроструктуры зоны термического влияния при газовой сварке.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с видами исследования микроструктуры зоны термического влияния при газовой сварке.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить металлургические процессы при газовой сварке
2. Ознакомиться с химическими реакциями при газовой сварке
3. Изучить рисунок - образование дендритов в результате частичного оплавления зерен
4. Ознакомиться с микроструктурой сварного соединения

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Металлургические процессы при газовой сварке по сравнению с обычными металлургическими процессами характеризуются:

- малым объемом ванны расплавленного металла;
- местным характером нагрева металла подвижным сосредоточенным источником;
- высокой температурой теплового источника;
- сравнительно большой скоростью расплавления и кристаллизации металла;
- взаимодействием расплавленного металла ванны с газами восстановительной (средней) зоны пламени;
- интенсивным перемешиванием металла ванны газовым потоком пламени.

При газовой сварке расплавленный металл сварочной ванны вступает во взаимодействие с газами, находящимися в пламени газовой горелки или в воздухе, в результате чего может произойти испарение, окисление (соединение с кислородом воздуха) и выгорание отдельных легирующих компонентов (составляющих) металла, раскисление расплавленного металла, насыщение металла углеродом или водородом и др.

Испарение металлов. В процессе сварки металлы нагреваются до температуры, близкой к температуре кипения, в результате происходит интенсивное испарение. Легко испаряются цинк, магний, свинец. Испарение металла при сварке (особенно медноцинковых, алюминий-магниевых, железомарганцевых и других сплавов) может привести к уменьшению

(выгоранию) легирующих компонентов, что, в свою очередь, повлечет за собой изменение свойств металла.

Окисление металла при сварке. В основном металл сварочного шва окисляется газами пламени горелки или кислородом воздуха из окружающей среды. Кроме того, окисление расплавленного металла может происходить и за счет окислов (ржавчина, окалина), находящихся на поверхности кромок свариваемого металла или присадочной проволоки.

Растворяясь в стали, кислород вступает в соединение с легирующими компонентами, что увеличивает общее содержание кислорода сварного шва. Таким образом, избыточное содержание В попа (в виде окислов или в чистом виде) приводит к снижению механических свойств сварного соединения.

В процессе сварки содержание некоторых элементов (углерод, марганец) в металле шва уменьшается, так как они выгорают. В результате выгорания указанных элементов свойства сварного соединения ухудшаются. Например, при выгорании углерода образуется окись углерода, которая, выходя на поверхность ванны расплавленного металла, вызывает сильное кипение ее с чрезмерным разбрызгиванием — шов получается пористым с пониженными механическими свойствами.

Раскисление металла. Если в жидком металле шва находится несколько разнородных окислов, то между ними могут произойти химические реакции, в результате которых получаются соединения с более низкой температурой плавления, чем у исходных окислов. Эта особенность облегчает удаление окислов из расплавленного металла, так как полученные соединения имеют более низкую температуру плавления и легко вытесняются на поверхность ванны расплавленного, металла шва.

При сварке некоторых металлов (алюминий, медь, латунь) применяют флюсы, в состав которых входят отдельные компоненты, способствующие образованию легкоплавких соединений. Таким образом, под раскислением следует понимать удаление из металла шва кислорода, находящегося в нем в виде различных окислов. Процессы раскисления и окисления происходят одновременно и взаимосвязанно.

Например, восстановление окислов железа в условиях сварки осуществляется преимущественно за счет окисления углерода, кремния и марганца.

Возможность протекания этих реакций зависит от температуры и процентного содержания элементов. В некоторой степени раскисление сварочной ванны осуществляется углеродом, окисью углерода или водородом, имеющимися в пламени газовой горелки. При этом пламя не только восстанавливает окислы, но и предохраняет расплавленный металл от окисления его кислородом и насыщения азотом воздуха, при растворении которых шов получается хрупким. Следует всегда помнить, что ацетилено-кислородное пламя является слабым восстановителем, так как газы пламени действуют в основном лишь на поверхности сварочной ванны.

Сварочное пламя по отношению к расплавленному металлу является не раскислителем, а защитной средой, затрудняющей доступ кислорода к сварочной ванне и замедляющей окисление металла. Особенно ярко это

выявляется при сварке высокоуглеродистых и высоколегированных сталей, а также при сварке меди, латуни, бронзы и алюминиевых сплавов, раскисление которых одним пламенем недостаточно. В этом случае необходимо применять флюсы, способствующие удалению окислов из металла.

При газовой сварке в металле шва и околошовной зоне происходят структурные изменения. В результате более медленного (по сравнению с дуговой сваркой) нагрева зона термического влияния при газовой сварке получается больше, чем при дуговой.

Основной металл, непосредственно прилегающий к сварочной ванне, перегревается и приобретает крупнозернистую структуру. Образование дендритов в результате частичного оплавления зерен представлено на рис. 10. Такое же строение получает и металл шва, кристаллизующийся на частично оплавленных крупных зернах внутренней границы ванночки.

Сварное соединение можно разделить на три основные зоны, имеющие различные микроструктуры (рис. 11):

I — зона основного металла; II — зона термического влияния; III — зона наплавленного металла.

Зона термического влияния — это участок основного металла, прилегающий к сварному шву, в котором произошли структурные изменения в результате нагрева его до температуры выше 720°C . Глубина этой зоны при газовой сварке 8—15 мм для малых толщин и 20—25 мм для больших толщин.

В свою очередь, зону термического влияния можно подразделить на три участка.

Участок А, подвергающийся воздействию температур от 720 до 950°C , характеризующийся неполной перекристаллизацией, т. е. частичным образованием новых мелких зерен феррита.

Участок Б, находящийся под воздействием температур от 950 до 1100°C , отличается мелким строением зерен, т. е. более полной перекристаллизацией, и обладает повышенными по сравнению с основным металлом механическими свойствами.

На участке В, подвергающемся действию температур свыше 1150°C , расположен перегретый металл с сильно выросшим зерном.

В зоне термического влияния может также образоваться закалочная структура (мартенсит) из-за интенсивного теплоотвода, вследствие чего вязкость и пластичность металла будут сильно понижены. В связи с этим зона термического влияния является таким местом, где в основном металле могут образоваться и развиваться трещины.

Между зоной термического влияния и металлом шва находится участок сплавления небольшой ширины

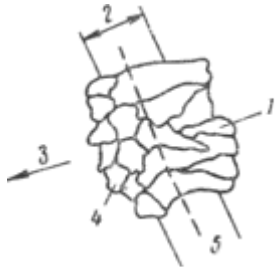


Рис. 10. Образование дендритов в результате частичного оплавления зерен
 1 — жидкий металл; 2 — зона взаимной кристаллизации; 3 — отвод тепла; 4 — твердый металл; 5 — граница сплавления

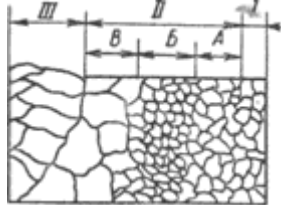


Рис. 11. Микроструктура сварного соединения

Металлографическое исследование дает возможность контролировать швы, выявлять внутренние и наружные трещины, поры, раковины непровары, шлаковые включения, а также определять структуру металла переходной зоны термического влияния. Из сварного соединения вырезают образец (в перпендикулярном направлении к оси сварного шва), который должен содержать зону термического влияния и прилегающие к ней небольшие участки основного металла. Этот образец называют темплетом.

Одну из поверхностей реза подвергают механической обработке, после чего тщательно полируют данную поверхность, доводя ее до зеркального вида. При механической обработке и последующей полировке необходимо помнить, чтоготавливаемая поверхность образца для металлографических исследований должна быть строго перпендикулярна оси шва, без завалов краев, т. е. должна быть идеальная плоскостность. После этого подготовленную поверхность протравливают специальным реактивом и помещают на столик микроскопа.

Окончательно подготовленная поверхность сварного образца для металлографических исследований должна быть идеально чистой. Принимают сварной шов, в котором при металлографических исследованиях не обнаружены трещины в металле шва и в зоне термического влияния, непровары, подрезы, несплавления металла шва с основным металлом, микротрещины, шлаковые включения, поры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое металлургический процесс ?
2. При каких металлах используются флюсы ?
3. Что такое окисление металла при сварке ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13

Исследование микроструктуры зоны термического влияния при автоматической сварке под флюсом.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с видами исследования микроструктуры зоны термического влияния при автоматической сварке под флюсом..

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить металлургические процессы при автоматической сварке под флюсом.
2. Ознакомиться с химическими реакциями при автоматической сварке под флюсом.
3. Ознакомиться с микроструктурой сварного соединения

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Микроструктура сварного соединения

Значительный нагрев основного металла, прилегающего к сварному шву, вызывает изменение его исходной структуры, что обусловливается, главным образом, протекающими при этом процессами вторичной кристаллизации. В связи с этим, наряду с макроструктурой металла шва, необходимо рассмотреть микроструктуру шва и прилегающей зоны основного металла, в которой произошли структурные изменения и которая называется зоной термического влияния (ЗТВ). Рассмотрим этот вопрос для углеродистых и низколегированных сталей.

В целом сварной шов и прилегающие участки основного металла образуют сварное соединение, механические свойства которого, очевидно, являются комплексной характеристикой. При сварке малоуглеродистых сталей микроструктура переплавленного металла шва состоит из вытянутых (вследствие столбчатой кристаллизации) зерен феррита, между которыми располагаются выделения перлита.

Сварной шов окружен значительной массой холодного металла. Это увеличивает скорость его охлаждения по сравнению со скоростью охлаждения стального слитка, поэтому металл шва может иметь структуру, отличающуюся от структуры слитка аналогичного химического состава. Г. А. Бельчук изучал изменение механических свойств металла при наплавке. Наплавка производилась проволокой Св08А под флюсом ФЦ-9 на

малоуглеродистую сталь Ст. 3 толщиной 25 мм (твердость $H_v = 155 \text{ кг/мм}^2$). При погонной энергии в 16300 кал/см механические свойства металла шва оказались такими же, как у основного металла, поэтому скорость охлаждения для этого случая принята за единицу.

Изучение микроструктуры показало, что такое изменение твердости объясняется существенным изменением обычной структуры малоуглеродистой стали. При высоких скоростях охлаждения образовавшийся перлит остается в металле шва в виде мелких, равномерно распределенных включений.

Такое мелкодисперсное строение металла шва и обеспечивает повышение его прочности и снижение пластичности.

Указанная особенность процесса вторичной кристаллизации в сварных швах приводит к тому, что при резком различии режимов сварки и толщин изделий механические свойства металла шва на малоуглеродистых и низколегированных сталях при одинаковом химическом составе могут изменяться в значительных пределах (разница в величине может достигать 40-50 %).

Что касается изменений в структуре основного металла в ЗГВ, то они зависят от температур и времени нагрева и скоростей охлаждения металла этой зоны.

На участке перегрева образуется крупнозернистая хрупкая видманштетова структура, которая хотя и не уменьшает прочности металла, но заметно снижает его пластичность; величина относительного удлинения падает на 10-15%. При автоматической сварке под флюсом благодаря высоким скоростям перемещения дуги время пребывания стали в перегретом состоянии невелико и участок перегрева может быть небольшим или даже может отсутствовать.

На участке нормализации благодаря полной перекристаллизации металла происходит измельчение зерна; структура основного металла становится более мелкозернистой, чем исходная, а механические свойства этого участка выше, чем у исходного металла.

На участке неполной перекристаллизации часть феррита остается в исходном состоянии. Поэтому при охлаждении и распаде аустенита, наряду со вновь образовавшейся мелкозернистой структурой, сохраняется и первоначальная, более крупная структура.

Новая мелкозернистая структура располагается в виде скоплений вновь образовавшегося феррита и перлита по границам старых зерен феррита.

Различие в структуре этого участка почти не изменяет его механические свойства по сравнению с исходными.

Размеры отдельных участков зоны термического влияния и ее общая ширина зависят от метода и режима сварки, размеров (толщины) изделия и химического состава стали.

По абсолютной величине ширина ЗТВ при дуговой сварке обычно колеблется в пределах 1-5 мм.

При сварке высокоуглеродистых и легированных сталей в шве обычно образуются хрупкие метастабильные структуры литой легированной стали; в ЗТВ также образуются метастабильные структуры в зависимости от термического режима: сорбит, тростит игольчатый тростит и мартенсит.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что вызывает изменение исходной структуры материала?
2. Почему структура металла шва отличается от структуры металла заготовки?
3. Что обеспечивает повышение прочности и снижения пластичности строения металла шва?
4. От чего появляются изменения в структуре основного металла?
5. Что образуется в шве при сварке высоколегированных сталей?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14

Изучение схемы роста кристаллов в металле однопроводного сварного шва.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить схемы роста кристаллов в металле сварного шва

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с условиями для кристаллизации сварочной ванны
2. Изучить схему роста кристаллов от границы сплавления в сварочной ванне
3. Зарисовать схему влияния формы шва на химическую неоднородность (ликвацию)
4. Изучить процессы первичной и вторичной кристаллизации сварочной ванны

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

При сварке плавлением под воздействием источника теплоты расплавляются кромки основного (свариваемого) металла и электродный металл, подаваемый в сварочную ванну, а также покрытие или флюс. Плавление происходит в зоне сварки – плавильном пространстве, которое перемещается вместе с источником теплоты. Плавильное пространство, или сварочная ванна, условно может быть разделено на две части: головную и хвостовую. В головной части происходит плавление, а в хвостовой – кристаллизация металла и формирование шва.

В отличие от кристаллизации слитка для кристаллизации металла сварочной ванны характерны следующие условия:

- незначительный объем расплавленного металла;
- быстрый локальный нагрев металла источником теплоты и быстрое его охлаждение;
- наличие подвижного температурного поля, создаваемого источником теплоты, вследствие чего средняя скорость кристаллизации в первом приближении равна скорости сварки.

По сравнению с основным металлом сварной шов имеет типичную структуру литого металла, быстро затвердевшего в условиях интенсивного отвода теплоты. Литой металл, как правило, уступает прокатному или кованому по своим пластическим и вязким свойствам, так как имеет более крупнозернистую структуру. Однако в отличие от слитков сварной шов обычно содержит меньше N_2 , S, P и C, имеет меньшие зональную и внутрикристаллическую ликвации. Кроме того, из-за особенностей первичной кристаллизации металл шва имеет более мелкозернистую структуру. В большинстве случаев сварные швы из малоуглеродистой и низколегированной сталей обладают высокими механическими свойствами даже без дополнительной термической обработки. Микроструктура металла шва зависит, главным образом, от условий первичной кристаллизации, которая во многом определяет его свойства.

Переход металла сварочной ванны из жидкого состояния в твердое называется первичной кристаллизацией. Процесс затвердевания представляет собой рост кристаллов в результате присоединения к их поверхности атомов из окружающего расплава.

Для большинства сварных швов характерна столбчатая структура. Рост столбчатых кристаллов в сварочной ванне начинается от частично оплавленных зерен основного металла. На них, как на своеобразной подкладке, начинают свой рост первичные кристаллы, количество которых ограничено. Кристаллы развиваются нормально к поверхности охлаждения, в направлении, обратном отводу тепла, – в глубь жидкого металла ванны. В результате они приобретают столбчатую форму (рис. 1).

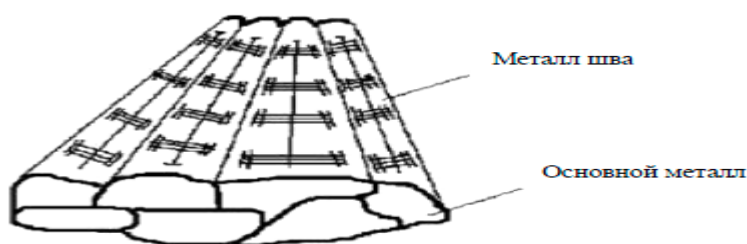


Рис. 1. Схема роста кристаллов от границы сплавления в сварочной ванне

Размеры столбчатых кристаллов зависят от способа и режимов сварки.

Снижение температуры ванны и длительности пребывания металла в жидком состоянии способствует образованию крупных кристаллов.

Рост столбчатых кристаллов способствует удалению из расплавленного металла газов и шлаковых включений. Поскольку температура кристаллизации зависит от чистоты металла, то в первую очередь затвердевает менее загрязненный примесями металл. В процессе затвердевания сварных швов перед фронтом растущих кристаллов маточный раствор непрерывно обогащается примесями. В последнюю очередь затвердевает средняя часть шва, в которой сосредотачивается максимальное количество примесей. Химическая неоднородность, называемая ликвацией, снижает механические свойства металла шва, так как ослабляет связь между кристаллами и является одной из причин возникновения горячих (межкристаллизационных) трещин. Ликвация зависит от формы шва. В узком шве максимальное количество примесей концентрируется в средней части (рис. 2, а), а в широком – в верхней части (рис. 2, б). Вследствие этого влияние примесей в широком шве менее опасно.

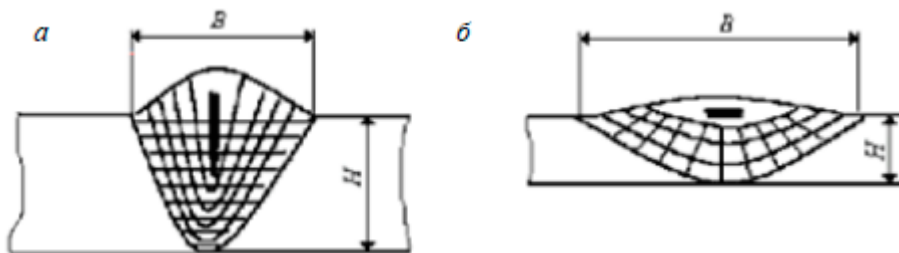


Рис. 2. Влияние формы шва на химическую неоднородность (ликвацию) металла: а – узкий шов; б – широкий шов

При сварке сплавов на основе железа кристаллы имеют аустенитную структуру при первичной кристаллизации. В процессе дальнейшего охлаждения у этих сплавов происходят аллотропические превращения γ - железа в α - железо с появлением новых образований в пределах первичного зерна аустенита. Этот процесс называется вторичной кристаллизацией, а возникающая в результате структура – вторичной структурой.

По химическому составу металл шва представляет собой нечто среднее между основным и электродным металлом (с учетом возможного выгорания легирующих элементов, окисления и азотирования за счет окружающей среды).

Участок неполного расплавления представляет собой узкую полоску металла, в которой он в процессе сварки находится в твердожидком состоянии. За время контакта жидкой и твердой фаз в нем протекают диффузионные процессы и развивается химическая неоднородность, а структура металла напоминает видманштеттову структуру (иглообразное расположение структурных составляющих). На этом участке, представляющем собой тонкую переходную полоску от металла шва к основному металлу, и происходит собственно сварка, т. е. формирование кристаллов шва на частично оплавленных зернах основного металла.

Свойства этого участка и металла шва во многих случаях оказывают решающее влияние на работоспособность сварного соединения, так как здесь часто образуются трещины, межкристаллитная коррозия, хрупкие разрушения и т. п. Ширина участка неполного расплавления невелика и для дуговой сварки составляет примерно 0,1...0,5 мм.

Далее следует околошовная зона, называемая зоной термического влияния (ЗТВ).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Назовите условия кристаллизации сварочной ванны?
2. Что такое первичная кристаллизация ?
3. Что такое вторичная кристаллизация?
4. Откуда берется столбчатая структура?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 15

Изучение металлургических процессов, протекающих при газовой сварке.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить металлургические процессы при газовой сварке

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с явлениями происходящими в сварной ванне
2. Изучить воздействие газов на сварной шов при сварке
3. Изучить металлургические процессы сварочной ванны

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Металлургические процессы при газовой сварке.

Кратковременность процесса [газосварки](#) и малый объем расплавленного металла значительно осложняют изучение протекающих при сварке реакций и позволяют лишь (по анализам начального и конечного состояний системы и отчасти по аналогии с процессами большой металлургии) судить о явлениях, происходящих в сварочной ванне.

При газовой сварке на расплавленный металл ванны активно воздействует газовый поток средней зоны пламени, содержащий в основном углекислый газ, водород и частично пары воды.

В средней зоне пламени возможно также наличие в незначительном количестве свободного углерода, не успевшего полностью окислиться в СО на границе ядра пламени. Характер протекающих в сварочной ванне реакций определяется составом средней зоны пламени, зависящим от соотношения газов в горючей смеси. Основные реакции сварочной ванны - реакции окисления и восстановления.

Наибольшие изменения происходят в металле, расплавляющемся в процессе сварки: меняется содержание примесей и легирующих добавок в металле, может происходить обогащение его кислородом, а при некоторых условиях - водородом, азотом и углеродом.

Вероятность протекания реакций раскисления в сварочной ванне определяется сходством различных элементов к кислороду и их количеством в сварочной ванне.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что осложняет изучение металлургических процессов при газовой сварке?
2. Откуда при газовой сварке в сварочной ванне появляются пары воды и углекислый газ?
3. Где происходят наибольшие изменения структуры?
4. Какие основные реакции происходят в сварочной ванне?
5. Откуда берутся реакции раскисления в сварочной ванне?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 16

Изучение структурных изменений в металле при газовой сварке.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться со структурными изменениями в металле шва, изучить схему основных реакций в сварочной ванне

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

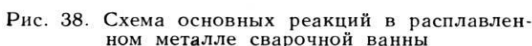
1. Ознакомиться с изменениями структуры металла во время сварки
2. Зарисовать схему основных реакций в расплавленном металле сварочной ванны
3. Изучить химические реакции протекающие при газовой сварке
4. Рассмотреть схему равновесия закиси железа с раскислителями

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Реакции в расплавленном металле при сварке

В процессе сварки металл соприкасается с газами пламени, а вне пламени - с окружающей средой, обычно с воздухом. В результате этого взаимодействия металл подвергается изменениям, характер которых зависит от свойств металла, способа и режима сварки.

Наибольшим изменениям подвергается металл, расплавляющийся в процессе сварки. При этом изменяется содержание примесей и легирующих добавок в металле, а также может происходить обогащение его кислородом, а при некоторых условиях - водородом, азотом и углеродом. Так, при сварке стали, представляющей собой сплав железа с углеродом с присутствующими в виде примесей и добавок Mn, Si, S, P, общая схема реакций в жидком металле сварочной ванны имеет вид, представленный на рис. 38.


$$\begin{aligned} \text{FeO} + \text{C} &= \text{Fe} + \text{CO} - 37,3 \text{ ккал/г} \cdot \text{мол}; \\ 2\text{FeO} + \text{Si} &= 2\text{Fe} + \text{SiO}_2 + 63 \text{ ккал/г} \cdot \text{мол}; \\ \text{FeO} + \text{Mn} &= \text{Fe} + \text{MnO} + 2,4 \text{ ккал/г} \cdot \text{мол}. \end{aligned}$$

Обладая в конкретных условиях большим сродством к кислороду, чем железо, Mn, Si и C в реакциях (приведенных выше) могут связывать в сварочной ванне кислород: удалять его либо в виде газообразного продукта CO, либо неметаллических жидких или твердых соединений MnO , SiO_2 и др. В металле ванны при этом уменьшается содержание кислорода - происходит раскисление. Такое раскисление называется осаждающим.

По мере уменьшения количества раскислителя в жидком металле вероятность его соединения с кислородом уменьшается и равновесное ему содержание кислорода увеличивается. Так, применительно к реакции ($\text{FeO} + \text{Mn} = \text{Fe} + \text{MnO} + 2,4 \text{ ккал/г}\cdot\text{мол}$) связь между равновесными количествами раскислителя Mn и закисью железа FeO (а следовательно, и кислорода в жидком металле) определяется формулой: $[\text{FeO}] [\text{Mn}] = K = \text{const}$

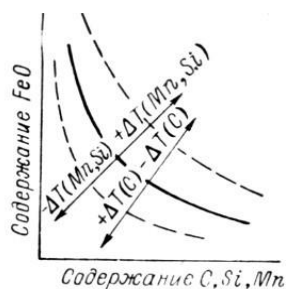


Рис. 39. Схема равновесия окиси железа с раскислителями (C, Si, Mn)

Качественно зависимость конечного содержания окиси железа (кислорода) в сварочной ванне при какой-то температуре показана на рис. 39.

На конечное содержание кислорода в ванне также будут влиять и количества Si, C, Al и других раскислителей. При изменении температуры эта зависимость может смещаться либо в сторону ослабления действия раскислителя (вправо вверх), либо в сторону усиления его действия (влево вниз). Так, для экзотермических реакций раскисления марганцем и кремнием повышение температуры (+ΔT) смещает зависимость вправо вверх, при понижении температуры (-ΔT) - влево вниз. Углерод, дающий эндотермическую реакцию, при изменении температуры смещает эту зависимость в обратных направлениях.

В целом увеличение количества раскислителей в ванне способствует ее освобождению от кислорода. Это обстоятельство следует учитывать при сварке таких металлов, в составе которых раскислители практически отсутствуют (чистой меди, никеля высокой чистоты и др.), что приводит к возможности значительного окисления ванны при сварке.

Основным способом введения раскислителей для осаждающего раскисления является применение присадочного металла, содержащего такие составляющие. Так, например, в присадочный металл для сварки сталей обычно вводят повышенные по сравнению со свариваемым металлом количества Mn или Mn и Si.

При сварке нежелезных металлов и сплавов применяются и другие раскислители.

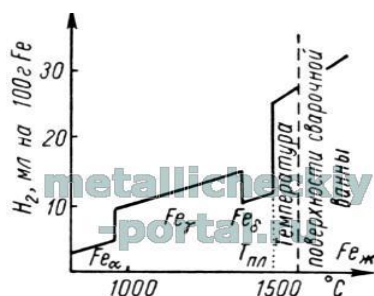
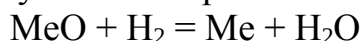


Рис. 40. Растворимость водорода в железе в зависимости от температуры

При сварке следует учитывать влияние водорода. При охлаждении сварочной ванны в расплавленном металле растворяется атомарный водород, который по мере понижения температуры стремится выделиться из раствора (рис. 40). Если охлаждение металла и затвердевание (кристаллизация) происходят достаточно быстро, выделившийся водород в виде отдельных газовых пузырей (обычно на дне ванны или на неметаллических включениях, находящихся в ванне) приводит к пористости или увеличивает поры, полученные от образования в ванне СО по реакции (первой). При дальнейшем охлаждении металла водород продолжает выделяться в оставшиеся полости и пустоты у границ зерен, создавая возможность разрыва спайности зерен. Это приводит к пороку - флокенам, особенно при сварке легированных закаливающихся сталей, а иногда и при сварке углеродистых сталей с несколько повышенным содержанием углерода.

При реакции водорода с окислами металлов в процессе кристаллизации могут также образовываться нерастворимые в металле пары воды:



Это приводит к появлению внутренних надрывов (водородной болезни) и ухудшению механических свойств металла.

В пламени могут присутствовать SO_2 или P_2O_5 , которые, взаимодействуя с расплавленным металлом, увеличивают в нем содержание S и P, что может быть весьма вредным (в частности, увеличение содержания S приводит при кристаллизации к образованию горячих трещин). Поэтому при сварке металлов, чувствительных к таким загрязнениям (например, Ni в отношении S), количество вредных примесей в пламени необходимо сводить к минимуму, применяя только очищенный ацетилен.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какой металл подвергается наибольшим изменениям?
2. Откуда появляется закись железа?
3. Какие химические реакции протекают при газовой сварке?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 17

Изучение особенностей металлургических процессов при сварке под флюсом.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с особенностями металлургических процессов при сварке под слоем флюса

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с металлургическими реакциями протекающими при сварке под слоем флюса
2. Изучить ряд особенностей металлургических процессов
3. Изучить способы и режимы сварки под слоем флюса

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Металлургические процессы при сварке под флюсом

В процессе сварки между жидким флюсом и металлом протекают металлургические реакции, в результате которых происходит восстановление находящихся во флюсе окислов марганца и кремния, и за счет этого металл шва обогащается марганцем и кремнием. Образующаяся в процессе реакции закись железа (FeO) переходит в шлак.

Переход марганца и кремния из флюса в металл шва зависит от содержания этих элементов в проволоке и флюсе и от режима сварки. С увеличением содержания марганца и кремния во флюсе возрастает интенсивность перехода их в шов. С увеличением сварочного тока переход в шов марганца и кремния уменьшается, а при увеличении напряжения на дуге - увеличивается. Это связано с изменением соотношения между количеством расплавленного флюса и металла шва. Увеличение сварочного тока приводит к повышению доли расплавленного основного металла в металле шва, а повышение напряжения дуги - к увеличению количества расплавленного флюса. В процессе сварки происходит выгорание углерода и выделение его окиси из

металла во время затвердевания. При недостаточном содержании в сварочной ванне марганца и кремния в металле шва образуются поры. Как отмечалось выше, подбором марки сварочной проволоки и флюса, а также изменением режима сварки можно регулировать химический состав металла шва.

При сварке под плавными флюсами защита зоны сварки от окружающего воздуха происходит более эффективно. Это доказано исследованием содержания азота в металле шва. Например, при сварке тонкопокрытыми электродами остаточный азот составляет около 0,2 %; при сварке толстопокрытыми электродами - 0,03 %; при сварке под плавным флюсом - 0,008 %.

Имеется ряд особенностей металлургических процессов при сварке под флюсом. Особенно интенсивно протекают металлургические процессы между жидким (расплавленным) флюсом и металлом, в результате чего изменяется состав металла шва.

Сварку низкоуглеродистых сталей рекомендуется проводить под марганцовистыми высококремнистыми флюсами, где наблюдается процесс восстановления кремния и марганца, частичное окисление углерода, при этом оксид железа растворяется в жидком металле шва, частично переходит в шлак. На участках сварочной ванны позади дуги при охлаждении жидкого металла, вплоть до затвердевания, продолжается раскисление металла. Кремний и марганец подавляют реакцию окисления углерода, что уменьшает образование пор. Обогащение металла шва марганцем очень важно, так как он обеспечивает вывод сернистых соединений из металла шва, предупреждая тем самым появление горячих трещин. Изменение режима сварки влияет на содержание серы и фосфора в шве. При увеличении сварочного тока увеличивается количество расплавленного флюса и, как следствие, содержание фосфора в шве уменьшается, а содержание серы несколько возрастает. Повышение напряжения дуги при неизменном токе приводит к тому, что расплавленного флюса становится значительно больше, чем требуется для защиты расплавленного металла. В этом случае увеличивается

переход марганца и кремния в шов, но увеличивается и переход фосфора в металл шва. Одновременно содержание серы в металле шва уменьшается. Таким образом, невозможно идеально освободиться от вредных примесей. Улучшения качества сварного шва можно добиться за счет применения керамических флюсов. Керамические флюсы содержат большое количество ферросплавов, что позволяет улучшить металлургические процессы при сварке. В процессе сварки происходит более полное раскисление наплавленного металла, легирование наплавленного металла осуществляется в широких пределах. Для улучшения структуры сварных швов в металл шва вводят специальные добавки (модификаторы).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В каких случаях переход марганца и кремния в сварной шов увеличивается, а в каких уменьшается?
2. В следствии чего происходит выгорание углерода?
3. Под какими флюсами производится сварка низкоуглеродистых сталей?
4. При сварке низкоуглеродистых сталей на что влияет изменение режима сварки?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 18

Изучение кристаллизации металла в сварочной ванне при сварке под флюсом.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с особенностями кристаллизации металла при сварке под слоем флюса

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с кристаллизацией металла сварочной ванны
2. Изучить первичную и вторичную кристаллизацию сварочной ванны
3. Рассмотреть схему зоны термического влияния и температурные участки
4. Изучить распространение теплоты выделяемое сварочной дугой

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Кристаллизация металла сварочной ванны начинается у границы с нерасплавившимся основным металлом в зоне сплавления. Различают кристаллизацию первичную и вторичную. Первичной кристаллизацией называют процесс перехода металлов и сплавов из расплавленного (жидкого) состояния в твердое. Структура металлов, не имеющих аллотропических превращений, определяется только первичной кристаллизацией. Металлы и сплавы, имеющие аллотропические формы или модификации, после первичной кристаллизации при дальнейшем охлаждении претерпевают вторичную кристаллизацию в твердом состоянии — переход из одной аллотропической формы в другую (фазовые превращения).

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны протекает периодически, так как периодически ухудшается теплообмен, периодически выделяется скрытая теплота кристаллизации. Это приводит к слоистому строению металла шва, к появлению ликвации, как зональной, так и дендритной. Толщина закристаллизовавшихся слоев зависит от объема

сварочной ванны и скорости охлаждения металла и колеблется в пределах от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Зональная (слоистая) ликвация проявляется в неоднородности химического состава металла шва в периферийной и центральной зонах. Это является следствием того, что металл периферийных зон затвердевает раньше и поэтому содержит меньше примесей, а металл центральной зоны оказывается обогащенным примесями. Дендритная ликвация характеризуется химической неоднородностью кристаллитов. Первые кристаллиты (центральные и начальные части дендритов) содержат меньше примесей, а междендритное пространство оказывается более загрязненным примесями.

На процесс ликвации существенно влияет способ сварки. Улучшая условия диффузии ликвидирующих примесей в твердом металле, можно значительно снизить как слоистую, так и дендритную ликвации. Например, увеличивая скорость охлаждения металла, сокращают длительность двухфазного состояния металла сварочной ванны и этим снижают степень неоднородности состава жидкой и твердой фаз. Большое значение имеет температурный интервал кристаллизации. Чем меньше температурный интервал кристаллизации, тем ниже уровень ликвации. Например, в сталях низкоуглеродистых, имеющих интервал кристаллизации 25...35°C, ликвация незначительна. С увеличением содержания в стали углерода температурный интервал кристаллизации возрастает и степень ликвации повышается.

Вторичная кристаллизация металла происходит в виде изменений форм зерен. Она в значительной степени зависит от химического состава металла, скорости охлаждения, а также от ряда других факторов.

Теплота, выделяемая дугой при сварке, распространяется в основной металл. При этом по мере удаления от границы сплавления скорость и максимальная температура нагрева металла снижаются. Вследствие этого в зоне основного металла происходят фазовые и структурные изменения, которые влияют на прочность сварного соединения.

Зону основного металла, прилегающую к сварочной ванне, называют зоной термического влияния.

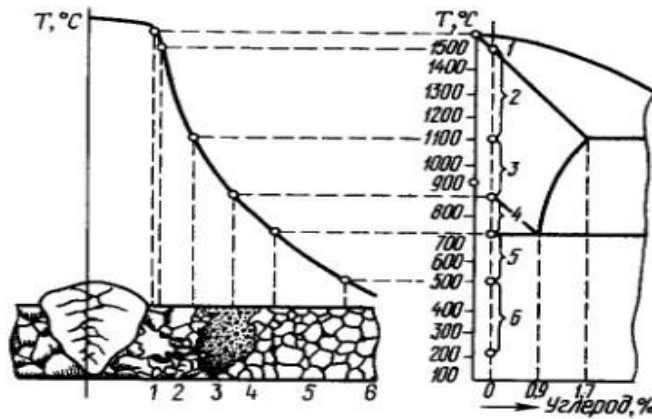


Рис. 1.

На рис. 1 схематично показаны строение этой зоны и температурные участки с различными структурными превращениями низкоуглеродистой стали.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Где начинается кристаллизация металла сварочной ванны?
2. Что такое первичная кристаллизация?
3. В виде чего происходит вторичная кристаллизация?
4. Что такое зона термического влияния?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 19

Проведение испытаний на разрывной машине.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с назначением и принципом действия разрывной машины

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить назначение и принцип действия разрывной машины, общее описание и способ управления
2. Ознакомиться с комплектацией и техническими требованиями предъявляемыми к разрывным машинам
3. Изучить способы проведения испытаний на разрывной машине

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Назначение и принцип действия:

Разрывные машины используются для проведения статических испытаний образцов металлов, арматурной стали, образцов из листового и круглого проката на растяжение при нормальной температуре, а также резин, пластиков, тканей и бумаг.

Общее описание:

Разрывные машины оснащены системой измерения, позволяющей производить испытания с заданной скоростью нагружения, обеспечивающей измерение перемещения активного захвата разрывной машины и его индикацию, запись результата на самопишущем двухкоординатном приборе. Разрывные машины оснащены торсионным блоком измерения нагрузки.

Управление

Благодаря использованию компьютерного управления, в разрывных машинах доступен широкий спектр испытаний: растяжение, сжатие, циклические, гистерезисные испытания, (пределы нагружения могут задаваться по нагрузке, напряжению, времени, удлинению) Испытание на прокол

(опционально)

Комплектность

В комплект разрывных машин обычно входят обоймы для испытания плоских образцов, цилиндрических и цилиндрических с головками. По отдельному заказу машины разрывные комплектуются приспособлениями для испытания на изгиб, сплющивание, а также может поставляться с удлинёнными колоннами для испытания трансформаторов давления.

Технические требования:

Технические требования к разрывной машине и характеристики могут дополняться и изменяться по предложению Заказчика.

Кроме того, существует возможность дальнейшего увеличения функциональных возможностей данной разрывной машины, без внесения изменений в её конструкцию, путем обновления программного обеспечения.

Испытания

Калибровка разрывной машины проводится по стандартной методике для универсальных разрывных машин. Первичная калибровка проводится на заводе.

В ходе испытания на экране компьютера отображаются все измеряемые параметры, строятся кривые нагружения.

После проведения испытания производится статистическая обработка, и результаты могут быть экспортированы (в табличном и графическом представлении) в другие программы например в MsWord.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Для чего предназначена разрывная машина?
2. Как проходят испытания на разрывной машине?
3. Что входит в комплектацию разрывной машины?
4. Какой способ управления разрывной машиной?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 20

Определение твердости образца на приборе Бринелля и универсальном твердомере.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить методы определения твердости на приборе Бринелля

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить универсальные твердомеры
2. Ознакомиться с методами измерения твердости
3. Изучить принцип действия универсального твердомера
4. Ознакомиться с модификацией твердомеров

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Твердомеры универсальные – это приборы, используемые для определения твердости разных типов сталей и сплавов. Основная классификация универсальных твердомеров касается методов измерения твердости лежащих в основе работы оборудования, а также шкал отображения полученных данных.

Три метода измерения твердости:

- По Бринеллю.

Заключается в постепенном вдавливании с определенной нагрузкой в поверхность изучаемого материала стального закаленного шарика диаметров 1; 2,5; 5; 10мм. Испытания твердости по методу Бринелля проводятся на стационарных твердомерах в течение заданного промежутка времени (как правило, 30 секунд).

- По Виккерсу.

В поверхность материала вдавливается алмазный индентор, имеющий четырехгранную пирамидальную форму. Вдавливающая нагрузка может быть от 1 грамма до 100кг и выбирается в зависимости от

исследуемого объекта. Твердомер, работающий по этому методу, должен измерять обе диагонали отпечатка с точностью до 1мкм.

- По Роквеллу.

В поверхность вдавливается либо алмазный индентор с углом при вершине 120° , либо стальной шарик диаметром в 1,588мм. Твердомер имеет специальный индикатор, который и показывает число твердости исследуемого материала.

Универсальный твердомер для измерения твердости по всем шкалам.

- Нагрузки от 5 кг. до 187,5 кг.
- Максимальная высота образца 260 мм.
- Методы теста – Роквелл, Бринелль (нестандартный прямой метод измерения), измерение твердости пластика.
- Сенсорное управление.
- Автоматическое измерение твердости.
- Автоматическое перемещение по оси Z.
- Сенсорное управление.



Принцип действия приборов основан:

- для шкал Виккерса на статическом вдавливании алмазного пирамидального наконечника с последующим измерением длин диагоналей восстановленного отпечатка;

- для шкал Роквелла и Супер-Роквелла на статическом вдавливании алмазного или шарикового наконечников с последующим измерением глубины внедрения наконечника;
- для шкал Бринелля на статическом вдавливании твёрдосплавного шарикового наконечника с последующим измерением диаметра окружности восстановленного отпечатка.

Универсальные твердомеры имеют следующие модификации: KB3000, KB 1000, KB 750 и KB 250. Модификации отличаются диапазоном воспроизводимых нагрузок и шкал Виккерса и Бринелля.

При измерениях по методу Роквелла (Супер-Роквелла) система приложения нагрузки обеспечивает приложение предварительной нагрузки и трёх основных нагрузок.

Универсальные твердомеры поставляются с автоматической револьверной головкой, которая обеспечивает установку в рабочее положение объектива или наконечника.

Все модификации оснащены CCD камерой высокого разрешения и объективом с 10-ступенчатым электроприводом для изменения степени увеличения изображения.

Каждая из модификаций может быть исполнена с встроенным в корпус твердомера электронным блоком или вынесенным ПК.

Испытательная нагрузка устанавливается на всех моделях автоматически, значение нагрузки задаётся с экрана монитора или с экрана ПК.

Все модификации позволяют выполнять измерения по Виккерсу и Бринеллю в полуавтоматическом и автоматическом режиме, что обеспечивается автофокусировкой на поверхность измеряемого образца и программой обнаружения и измерения линейных параметров отпечатка и вычислением соответствующей твёрдости.

Все модификации оснащены средствами архивации результатов измерений и статистической обработки результатов измерений. В зависимости от

комплектации управление работой твердомера осуществляется через встроенный LCD монитор или через дисплей вынесенного ПК.

Универсальные твердомеры позволяют выполнять измерения твёрдости в полуавтоматическом и автоматическом режимах.

Измерения автоматизированы. Цифровое изображение, полученное камерой, увеличивается объективом и отображается на большом LCD дисплее с антибликовым покрытием, что обеспечивает высокую точность измерений.

Расчет единиц твердости автоматический. Значения твердости выводятся на дисплей. Цифровое изображение отпечатков может быть сохранено в формате .bmp (опция) Возможна полная автоматизация процесса измерений при оснащении прибора моторизованным столиком и программным обеспечением для автоматической обработки изображений.

Автоматическая статистическая обработка результатов серии измерений: среднее значение, максимальное, минимальное, среднеквадратичное отклонение, СР/СРК, построение гистограмм и графиков.

Встроенная цифровая камера, цветной LCD дисплей, пленочная пылезащищенная клавиатура, светодиодная подсветка

Возможна комплектация пылезащитным кожухом и системой охлаждения (при инсталляции оборудования в помещениях с температурой воздуха выше 30°C)

Для экономии времени при частой смене режимов работы все модели опционально комплектуются турелью объективов и инденторов, прибор автоматически выберет и установит нужный индентор, переместит для измерения нужный объектив

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Для чего предназначен твердомер?
2. Какие методы измерения твердости вы знаете?
3. Перечислите комплектацию универсального твердомера?
4. Каким способом проходит обработка результатов исследования?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 21

Определение условного предела пропорциональности при растяжении.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить диаграмму растяжения, определить характеристики прочности и пластичности материалов

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить определение понятию предел пропорциональности
2. Ознакомиться с испытанием образца на растяжение
3. Зарисовать образец для испытаний
4. Изучить диаграмму растяжения образца

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Предел пропорциональности — максимальная величина деформации, при которой ещё выполняется закон Гука, то есть деформация тела прямо пропорциональна приложенной нагрузке (силе). Период деформирования от начала испытания до момента достижения предела пропорциональности принято называть упругой деформацией. При снятии нагрузки в этом интервале деформация тела полностью исчезает

При определении качества конструкционных материалов, выпускаемых промышленностью, одним из основных видов испытаний являются испытания на растяжение. Результаты испытаний позволяют судить о прочности материалов при статических нагрузках, выбирать материал для проектируемой конструкции. Они являются основными при расчетах на прочность деталей машин и элементов конструкций.

Механические характеристики материалов зависят от многих факторов: вида нагружения, времени воздействия нагрузки, скорости нагружения, температуры, радиации и др. Наиболее простыми являются испытания материалов при комнатной температуре $t=200^{\circ}\text{C}$ и статическом нагружении, когда мин-1.

Механические характеристики делятся на три группы:

- характеристики прочности;
- характеристики пластичности;
- характеристики вязкости.

Характеристиками прочности измеряют силовую реакцию твёрдых тел на воздействие внешних нагрузок. Эта реакция непостоянна в процессе нагружения и в ней явно прослеживаются несколько характерных зон (см. диаграмму нагружения). К характеристикам прочности относятся: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, разрушающее напряжение. Дадим определение этих понятий в порядке возрастания значений их величин.

Для замера деформаций на расчетной части образца отмечают отрезок, называемый расчетной длиной. Чаще всего применяются цилиндрические образцы, у которых расчетная длина равна десяти диаметрам (длинные образцы) и образцы с расчетной длиной равной пяти диаметрам (короткие образцы). Чтобы результаты испытаний образцов прямоугольного и круглого сечений были сопоставимы, в случае прямоугольного сечения в качестве характеристики, определяющей расчетную длину, принимается диаметр равновеликого круга.

На рис. 1 показан эскиз пропорционального цилиндрического образца до нагружения и после его разрыва.

Для получения сравнимых результатов испытаний образцы с цилиндрической или прямоугольной формой поперечного сечения рабочей части изготавливаются по ГОСТ 1497-84.

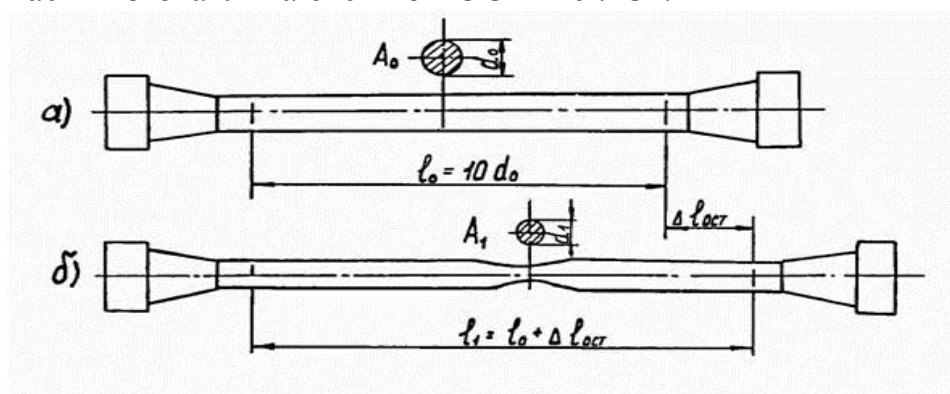


Рис. 1 Образец для испытания на растяжение: *а* – до нагружения; *б* – после разрыва

ДИАГРАММОЙ РАСТЯЖЕНИЯ называется график, показывающий функциональную зависимость между нагрузкой и деформацией при статическом растяжении образца до его разрыва. Эта диаграмма вычерчивается автоматически на разрывной машине специальным приспособлением. В нашей лаборатории для этой цели используется разрывная машина Р-10.

На рис. 2 показан примерный вид параметрической диаграммы растяжения малоуглеродистой стали в координатах: абсолютное удлинение $\Delta(t)$ – нагрузка $F(t)$. В качестве параметра здесь выступает время нагружения, которое для простоты обычно не показывают.

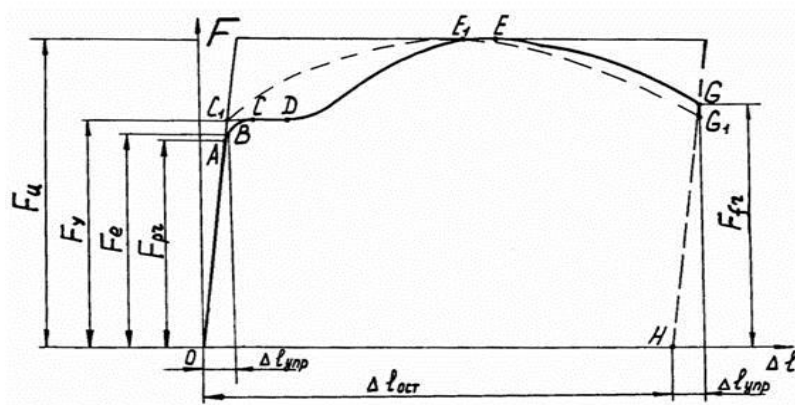


Рис. 2 Диаграмма растяжения образца

Так как испытание проводят на гидравлической машине, в которой деформация является первичной ($\frac{d\Delta l}{dt} = \text{const}$), а нагрузка вторичной ($\frac{dF}{dt} = \text{var}$), то осью абсцисс (аргументом) является абсолютное удлинение Δl , а осью ординат (функцией) – нагрузка F , т.е. фактически мы имеем зависимость $F = f(\Delta l)$, интерпретированную Гуком, проводившим опыты в упруго-пропорциональной зоне нагружения: «каково удлинение, такова сила». Однако в современной трактовке, с учётом того что в реальных условиях эксплуатации машин и сооружений первичной является нагрузка, функциональную зависимость обращают, полагая, что $\Delta l = f(F)$, и обсуждают, как изменяется деформация образца в зависимости от нагрузки (какова сила, таково удлинение).

На диаграмме растяжения $OABCEG$ показаны 7 характерных точек, соответствующих определённому уровню нагрузки и ограничивающих 6 различных зон деформирования:

ОА – зона пропорциональности (линейной упругости);

АВ – зона нелинейной упругости;

ВС – зона упругопластических деформаций;

CD – зона текучести (пластических деформаций);

DE – зона упрочнения;

EG – зона закритических деформаций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие по форме поперечного сечения образцы предусматривает ГОСТ?
- Почему диаграмму растяжения следует называть параметрической?
- Сколько характерных зон деформирования имеет диаграмма растяжения?
- Как называют зоны деформирования диаграммы растяжения?
- Как проходит процесс деформирования на различных участках диаграммы?
- От каких факторов зависят механические характеристики материалов?
- На какие группы делят механические характеристики?
- Какую реакцию твёрдых тел измеряют механическими характеристиками прочности?
- Что относят к характеристикам прочности?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 22

Определение ударной вязкости при испытаниях на маятниковом копре.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение методики определения ударной вязкости пластических масс и других неметаллических материалов при испытании стандартных образцов на маятниковом копре

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить зависимость ударной вязкости стали от температуры отпуска
2. Ознакомиться с видами хрупкостей стали
3. Ознакомиться со схемой маятникового копра и принцип работы
4. Изучить схему установки образцов: а) образцы из пластмасс; б) образцы из металлов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Среди многочисленных методов ударных испытаний наиболее широкое практическое применение нашел метод испытания на ударный изгиб с измерением величины ударной вязкости. Эта характеристика механических свойств играет огромную роль при оценке служебных свойств конструкционных, а также инструментальных сталей.

Удельной ударной вязкостью α материала называют отношение работы ΔW_F , затраченной маятником на разрушение стандартного образца к площади его поперечного сечения A в месте излома.

$$\alpha = \frac{\Delta W_F}{A} \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} \right] \quad (1)$$

Чем больше величина ударной вязкости, тем лучше материал сопротивляется динамической нагрузке. Образцы из хрупких материалов ломаются легко, с небольшой затратой работы на разрушение. Образцы из пластичных материалов наоборот – требуют на разрушение большей энергии. Материалы, требующие большой затраты энергии на излом называют вязкими. Все материалы, из которых изготавливают детали, воспринимающие динамические нагрузки, обязательно испытывают на удар.

Ударная вязкость в зависимости от температуры отпуска меняется немонотонно (рис. 1).

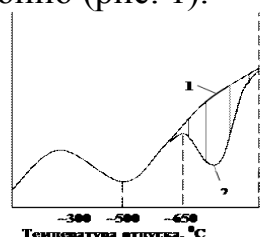


Рис.1. Зависимость ударной вязкости стали от температуры отпуска

Сталь, отпущенная в интервале температур порядка 300...350 °С, имеет минимальную ударную вязкость. Отпускная хрупкость первого рода проявляется у большинства сталей независимо от их состава и скорости охлаждения. Считают, что это явление обусловлено выделениями частиц типа цементита по границам зерен, которые при дальнейшем повышении температуры вновь растворяются. При этом менее прочные приграничные участки становятся концентраторами напряжений, т. е. хрупкое состояние обусловлено возникновением объемно-напряженного состояния, получающегося при неоднородном распаде мартенсита. Сталь в состоянии необратимой отпускной хрупкости имеет блестящий межкристаллитный излом.

Хрупкость первого рода устраняется нагревом стали выше 400 °С, снижающим твердость.

Хрупкость второго рода наблюдается в легированных сталях при охлаждении в печи или на воздухе после отпуска в интервале температур 500...550 °С или при слишком длительной выдержке в этом температурном интервале.

В стали в состоянии отпускной хрупкости второго рода уменьшается работа зарождения и особенно распространения трещины.

При быстром охлаждении в воде этот вид хрупкости не возникает, излом стали – волокнистый, характерный для вязкого состояния. После медленного охлаждения с температуры 500...650 °С сталь имеет хрупкий кристаллический излом. Хрупкость второго рода можно устранить повторным отпуском при 600...650 °С с последующим обратным быстрым охлаждением.

С помощью испытаний на ударный изгиб выявляются такие дефекты как синеломкость, хладноломкость, обратимая и необратимая отпускная хрупкость и т. п.

Ударные испытания выявляют такие различия между материалами, которые не отражаются при обычных (статических) испытаниях гладких образцов. Например, значения предела прочности мало отличаются для мелкозернистого железа (36,5 кгс/мм²) и крупнозернистого железа (34,5 кгс/мм²), тогда как в значениях ударной вязкости имеется существенное различие: 13,1 кгс/см² и 2,6 кгс/см², соответственно.

Одно из важнейших достоинств ударных испытаний как метода оценки состояния металла – повышенная чувствительность. Так, например, колебания механических свойств около среднего значения для осевой стали (0,35% С) составляют 99% для A_H , 15% для σ_b , 8,8% для δ и 5,7% для ψ .

Ударная вязкость в значительной мере отражает состояние поверхности образца, т. к. распределение деформации в образце неравномерно и часто бывает сосредоточенно, в основном, в поверхностных слоях. Наличие твердых поверхностных слоев понижает ударную вязкость, а мягкие поверхностные слои повышают ее. Например, если надрезы на стальном образце, предназначенном для испытания на ударный изгиб, сделаны до термической обработки, то даже небольшое обезуглероживание поверхности, приводящее

к образованию мягкого и пластичного феррита, может повысить ударную вязкость вдвое.

Поэтому при ударных испытаниях предписывается изготавливать надрез на ударных образцах (ГОСТ 9454-78) после их термической обработки.

Наиболее простым из методов практического массового контроля является метод ударных испытаний при 20 °С на маятниковых копрах. На результатах определения ударной вязкости сказывается и скорость маятника в момент удара.

Однако широкое применение нашли испытания при пониженных температурах, разработанные Н.Н. Давиденковым, так называемые “серийные испытания”.

При проведении таких испытаний делается серия опытов на ударный изгиб при постепенно понижающейся температуре до перехода металла в хрупкое состояние, причем температура резкого уменьшения ударной вязкости служит мерой качества металла. Чем ниже эта температура – “критическая температура хрупкости” – тем выше сопротивление металла хрупкому разрушению.

Охлаждающими смесями могут быть: сухая углекислота, дающая температуру -70 °С, жидкий воздух дает -183 °С, жидкий азот позволяет получить температуру -195 °С, жидкий водород, дающий -252 °С.

Применение “серийных испытаний” целесообразно только для типично хладноломких материалов с ОЦК-решеткой (Fe- α , Zn и сплавы на их основе), которые дают резкий переход в хрупкое состояние. Многие легированные стали, особенно содержащие Ni, при понижении температуры дают постепенное понижение вязкости и поэтому для них определение даже “критического интервала хрупкости” становится затруднительным. Некоторые сплавы, например Al+4% Mg, остаются вязкими и разрушаются путем среза даже при жестких условиях (при одновременном действии удара, надреза и низкой температуры), поэтому для таких материалов применение ударных испытаний как серийных, так и при 20 °С нецелесообразно.

Существует много разных методов испытания металлов на ударную вязкость. При использовании метода Шарпи призматический образец металла с надрезом подставляют под удар отведенного маятника. Работу, затраченную на разрушение образца, определяют по расстоянию, на которое маятник отклоняется после удара. Такие испытания показывают, что стали и многие металлы ведут себя как хрупкие при пониженных температурах, но как вязкие – при повышенных. Переход от хрупкого поведения к вязкому часто происходит в довольно узком температурном диапазоне, среднюю точку которого называют температурой хрупко-вязкого перехода. Другие испытания на ударную вязкость тоже указывают на наличие такого перехода, но измеренная температура перехода изменяется от испытания к испытанию в зависимости от глубины надреза, размеров и формы образца, а также от метода и скорости ударного нагружения. Поскольку ни в одном из видов испытаний не воспроизводится весь диапазон рабочих условий, испытания на ударную вязкость ценны лишь тем, что позволяют сравнивать разные материалы. Тем

не менее, они дали много важной информации о влиянии сплавления, технологии изготовления и термообработки на склонность к хрупкому разрушению. Температура перехода для сталей, измеренная по методу Шарпи с V-образным надрезом, может достигать $+90^{\circ}\text{C}$, но соответствующими легирующими присадками и термообработкой ее можно понизить до -130°C .

Испытание проводится на специальном маятниковом копре (рис. 2). Работа ΔW_F , затраченная маятником на разрушение определяется по зависимости

$$\Delta W_F = Gh_1 - Gh_2 - W_{\text{потерь}}$$

где G - вес маятника;

Gh_1 - потенциальная энергия, запасенная маятником в самом верхнем его положении;

Gh_2 - потенциальная энергия, сохраненная маятником после разрушения образца.

$W_{\text{потерь}}$ - энергия потерь, затраченная маятником на преодоление вредных сопротивлений (трение в узлах копра, сопротивление воздуха, сотрясение копра и фундамента, на смятие образца на опорах и под ножом, на сообщение энергии обломкам образца и на упругую деформацию штанги маятника). Особенно велики потери энергии при несовпадении оси удара и середины надреза на образце. Поэтому величины ударной вязкости, определенные на различных копрах, могут отличаться друг от друга на 10-30%. Потери для каждого экземпляра копра известны.

Испытания проводятся для металлов согласно ГОСТ 9454-84; для пластмасс - согласно ГОСТ 4647-84.

Металлы испытываются на копрах с предельной энергией маятника до 300 Дж и скоростью в пределах от 4 до 7 м/с, пластмассы - до 5 Нм и $3,5 \pm 0,5$ м/с, соответственно.

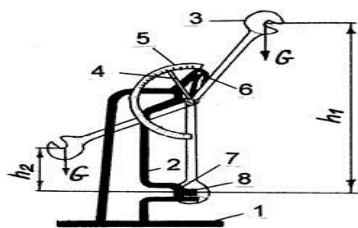


Рис.2. Схема маятникового копра

Описание установки для испытаний. Испытание на ударную вязкость проводится на маятниковом копре ХР-05, схема которого показана на рис. 2. Копер состоит из массивного основания 1 с двумя вертикальными стойками 2. К верхней части этих стоек на горизонтальной оси подвешен маятник 3, представляющий собой плоский стальной диск с вырезом. Кроме того, на оси маятника установлена стрелка 4, напротив которой к стойке 2 прикреплена шкала 5 для отсчета затрат энергии на разрушение образца. Для фиксации маятника в исходном верхнем положении предусмотрена защелка 6.

На стойках 2 предусмотрены опоры 7 для установки образцов 8 из испытуемого материала. Расстояние между опорами 7 регулируется в пределах от 40 до 70 мм (см. рис.3, а). Для образцов толщиной 5 мм и менее,

расстояние между опорами 7 принимают $40 \pm 0,2$ мм, а для образцов толщиной более 5 мм – $70 \pm 0,2$ мм.

При проведении испытаний маятник 3 поднимают вверх и фиксируют защелкой 6. Стрелку 4 устанавливают на нуль, а на опоры 7 помещают испытуемый образец 8. Затем, повернув защелку 6, отпускают маятник 3, который при своем падении разрушит образец и двигаясь далее, переместит стрелку 4 по шкале 5, на которой считывают величину энергии, сохраненной маятником после разрушения образца. Образец устанавливают на нижних опорах копра симметрично относительно опор и так, чтобы надрез был обращен в сторону, противоположную направлению удара.

Образцы для испытаний на ударную вязкость изготавливают механической обработкой из листов, плит или стержней; а также прессованием; или литьем под давлением. При испытании листовых и слоистых материалов толщиной менее 10 мм ширину поперечного сечения образцов принимают равной толщине этих листов. На образцах следует указать направление, соответствующее длине листа или плиты, из которых изготовлены эти образцы, так как механические свойства пластмасс в различных направлениях неодинаковы.

При динамических испытаниях закон подобия не действует. Поэтому здесь необходима жесткая унификация размеров образцов и условий проведения испытания.

Образцы, изготовленные литьем под давлением, в соответствии с ГОСТ 4647 – 84 имеют размеры поперечного сечения $(6 \pm 0,2) \times (4 \pm 0,2)$ мм и длину – 55 ± 1 мм.

Поверхность образцов должна быть гладкой, ровной, без трещин, сколов, вздутий и раковин.

Форма надреза стандартных образцов может быть в виде U, V, Т.

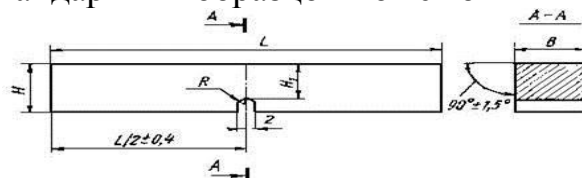


Рис.3. Образец с U-образным надрезом для испытаний на ударный изгиб

В образцах Шарпи U-образный надрез наносится посередине длины. Он имеет ширину и глубину 2 и радиус закругления 1 мм. Образцы с V-образным концентратором имеют те же габариты и отличаются только геометрией надреза. V-образный выполняется с углом при вершине 45° и радиусом закругления 0,25 мм. Третий тип образцов, предусмотренный ГОСТ 9454—78, имеет Т-образный концентратор (надрез с усталостной трещиной).

Образцы с V-образным концентратором (образцы Менаже) являются основными и используются при контроле металлических материалов для ответственных конструкций (летательных аппаратов, транспортных средств и т.д.). Образцы Шарпи с U-образным надрезом рекомендуется применять при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов до установления норм на образцы с V-образным концентратором. Образцы с надрезом и трещиной

предназначены для испытания материалов, работающих в особо ответственных конструкциях, где сопротивление развитию трещины имеет первостепенное значение.

В соответствии с этим при записи ударной вязкости (КС) в ее обозначение вводится третья буква, указывающая вид надреза – КСУ, КСV, КСТ.

Параметром КСV оценивается пригодность материалов для сосудов давления, трубопроводов и других конструкций повышенной надежности. Параметр КСТ характеризует работу развития трещины при ударном изгибе и оценивает способность материала тормозить начавшееся разрушение. Он учитывается при выборе металлов и сплавов для конструкций особо ответственного назначения (летательные аппараты, роторы турбин и т. п.)

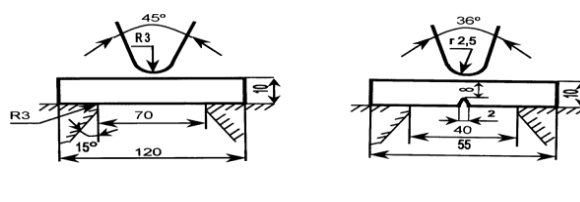


Рис. 4. Схема установки образцов: а) образцы из пластмасс; б) образцы из металлов

Ударные испытания, как и статические, можно проводить при отрицательных и повышенных температурах. Методика этих испытаний регламентирована стандартами. По ГОСТ 9454—78 динамический изгиб при отрицательных температурах производят с использованием тех же образцов, что и при комнатной. Образец выдерживают в жидком хладагенте не менее 15 мин при температуре на 2-6°С ниже заданной, затем вынимают из ванны, устанавливают на копер и немедленно испытывают.

Аналогичная методика используется при высокотемпературных испытаниях (ГОСТ 9454-78). Предварительный нагрев образцов рекомендуется вести в муфельных печах, при необходимости в нейтральной атмосфере, перегревая образец относительно заданной температуре на 3-50°С в зависимости от ее абсолютной величины. При этом время установки образца с момента выемки из печи до удара маятника должно быть не больше 3-5 с.

Вопросы для подготовки к защите работы

- В каких случаях проводятся испытания на ударную вязкость?
- Что такое удельная ударная вязкость?
- Какие факторы влияют на величину ударной удельной вязкости?
- О каких свойствах материала судят по величине ударной удельной вязкости?
- Как определить энергию, запасенную маятником в самом верхнем положении?
- Как влияет расстояние между опорами установки образца на величину удельной ударной вязкости?
- Как изменится удельная ударная вязкость с изменением температуры?
- Чем отличается маятниковый копер для определения ударной вязкости металлов от копра для испытаний неметаллических материалов?
- В чем состоит принцип работы маятникового копра?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 23

Определение энергии, затраченной на ударный разрыв и ударное сжатие

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с методикой определения ударной вязкости при изгибе. определить ударную вязкость конструкционных материалов.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Механические свойства материала в значительной степени зависят от скорости приложений нагрузки. Поэтому механические характеристики, полученные при статических испытаниях, не могут быть использованы для оценки сопротивляемости конструкции ударному нагружению, которое достаточно часто встречается в инженерной практике. Физические свойства большинства конструкционных материалов таковы, что с увеличением скорости деформирования у них в большей степени начинают проявляться хрупкие свойства. Это является одной из причин того, что удар относится к наиболее опасным видам нагружения конструкций. Под ударной вязкостью понимается способность материала сопротивляться ударному разрушению. Мерой такого сопротивления является работа (или энергия), которую необходимо совершить, чтобы разрушить образец. Понятно, что чем больше энергия такого разрушения, тем лучше материал сопротивляется удару, тем он более вязкий. Пластичные материалы являются более вязкими, чем хрупкие. Это объясняется тем, что при ударном разрушении пластичного материала работа разрушения затрачивается не только на разрыв межмолекулярных связей и образование трещины. Значительная ее часть расходуется на интенсивное пластическое деформирование материала в малой области вокруг вершины трещины. В хрупких материалах пластических деформаций практически нет. Количественной мерой ударной вязкости является работа, затраченная на образование поверхности трещины единичной площади. Ударная вязкость a равна отношению работы разрушения к площади поверхности трещины. Чем выше a , тем лучше материал сопротивляется действию ударной нагрузки. Так государственный стандарт на котельную и мостовую стали требует, чтобы ударная вязкость у них была соответственно не ниже $6 \cdot 10^5$ и $8 \cdot 10^5$ Дж/м². Таким образом, ударная вязкость a имеет следующий физический смысл – это есть работа разрушения, необходимая для образования трещины с поверхностью равной единице. Эксперименты показывают, что величина ударной вязкости зависит не только от материала образца, но и от его формы и размеров, а также от условий

проведения испытаний – формы и размеров ударяющего тела, его скорости. Поэтому для получения сравнимых результатов испытания на ударную вязкость проводят в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78. Согласно этому государственному стандарту испытания проводят на ударный изгиб. Метод испытаний на ударный изгиб по ГОСТ 9454-78

Образцы для испытаний Форма и размеры образцов, применяемых при испытаниях на ударный изгиб, устанавливаются данным государственным стандартом. В качестве основных применяют образцы квадратного поперечного сечения, ослабленные надрезом (концентратором напряжений) U- или V-образной формы. Образцы с U-концентратором используют при предварительном выборе и приемочном контроле металлов и сплавов до установления норм на образцах с V-концентратором. Образцы с концентратором типа V применяются при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надежности – сосуды и аппаратура высокого давления, летательные аппараты, транспортные средства и т.д. Надрез образца должен быть строго перпендикулярен его граням. Видимых глазом рисок на поверхности концентраторов быть не должно. В материале образца на некоторой глубине от дна концентратора возникает объемное (трехосное) напряженное состояние с тремя растягивающими главными напряжениями. Такое напряженное состояние затрудняет образование пластических деформаций в этой зоне образца, что позволяет дополнительно оценить склонность материала к хрупкому разрушению. Испытательные машины и методика испытаний

Для испытаний образцов на ударный изгиб согласно ГОСТ 9454-78 применяют маятниковые копры с максимальной энергией удара маятника не более 294 Дж (30 кГ·м). Допускается применять копры и с другой энергией удара. Максимальная энергия удара маятника должна быть такой, чтобы величина работы ударного разрушения составляла от нее не менее 10%. Скорость маятника в момент удара должна быть $5 \pm 0,5$ м/с. При работе на маятниковых копрах необходимо соблюдать дополнительные повышенные требования безопасности: все рабочие манипуляции с маятником производятся только преподавателем. необходимо оградить траекторию движения маятника копра. при проведении испытаний разрешается стоять только со стороны исходного взведенного положения маятника. при взведенном маятнике запрещается манипулировать в зоне его движения. в момент спуска должно быть сделано предупреждение окружающим. В данной работе применяется копер МК-30 с максимальной энергией удара 30 кГм (294 Дж). Схема копра приведена на рис.23,б. Копер состоит из чугунной станины 1 с двумя вертикальными стойками 2. В верхней части этих стоек на горизонтальной оси подвешен тяжелый маятник 3. Он представляет собой тяжелый диск 4 с вырезом. На этой же оси подвешена подъемная рама 5, которую можно установить на любой высоте с помощью собачки храпового механизма 6. Маятник крепится к подъемной раме и удерживается защелкой 7. В начале испытаний подъемную раму вместе с маятником вручную поднимают в верхнее исходное положение. Образец 10 из испытываемого материала устанавливают на закаленные опоры,

смонтированные на станине. Основные размеры опор и ножа маятника приведены на рис.23,а. При подъеме маятника специальный палец, закрепленный на нем, поднимает линейку 8, проградуированную в кГм. В исходном положении маятник поднят на высоту H_0 , которой соответствует потенциальная энергия. При освобождении защелки 6 маятник свободно падает и, встречая на своем пути образец, разрушает его. Затем, пролетая дальше, он поднимается на высоту H_1 , которой соответствует энергия подъема маятника равна K_1 . При этом палец маятника поднимает вдоль шкалы 8 указатель 9. В результате этот указатель остается в положении, показывающем разность энергий, затраченную на ударное разрушение образца $K = K_0 - K_1$. Остановка маятника при обратном холостом ходе производится ременным тормозом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. От чего зависят механические свойства материала?
2. Что такое ударная вязкость?
3. Какая продукция соответствует ГОСТу 9454-78?
4. Где применяются образцы с v-концентратором?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 24

Испытания образцов на выносливость при циклических испытаниях.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с методом определения предела выносливости материала; Исследование влияния на его усталостную прочность концентрации напряжений.

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить что такое выносливость материала
2. Ознакомиться с графиком виды циклов и их характеристики
3. Начертить диаграмму испытаний стали на выносливость
4. Изучить кинематическую схему машины МУИ-6000

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Способность материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, циклически изменяющихся во времени, называется *выносливостью*.

Изменение напряжений во времени изображают графиком в координатах нормальные (или касательные) напряжения – время, т. е. $\sigma(t)-t$. Этот график обычно изображают в виде синусоиды. Совокупность всех последовательных переменных напряжений за один период их изменения называют *циклом напряжений*. Цикл нормальных напряжений характеризуют следующие параметры (рис. 1):



Рис.1. Виды циклов и их характеристики: 1 - несимметричный цикл; 2,3 - пульсирующие циклы; 4 - симметричный цикл;

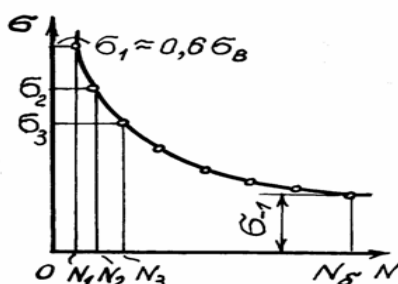


Рис.2. Диаграмма испытаний стали на выносливость
(диаграмма Велера)

Опытами установлен для каждого материала *предел выносливости* – наибольшее напряжение цикла, при котором образец может сопротивляться без разрушения неограниченно долго.

Обозначают его $\sigma_R(\tau_R)$, где R - коэффициент асимметрии цикла. Так при симметричном цикле нагружения предел выносливости по нормальным напряжениям обозначают σ_{-1} , при пульсирующем - σ_0 .

Предел выносливости σ_R определяют при построении диаграммы испытаний на выносливость в координатах: максимальное напряжение цикла – число циклов. При этом о величине σ_R судят по результатам нагружения серии образцов (в количестве до 100 штук), одинаковых по форме, размерам и чистоте обработке. Диаграмму испытаний на выносливость называют диаграммой Велера (рис. 2).

При испытании первый образец нагружают так, чтобы создать в нем $\sigma_1 = 0,6\sigma_R$. Образец испытывают до разрушения, которое происходит при числе циклов N_1 . Второй образец испытывают при $\sigma_2 < \sigma_1$ (на 40-20 н/мм²). Очевидно, что необходимое число циклов N_2 для его разрушения будет больше, т.е. $N_2 > N_1$. От образца к образцу, снижают напряжения до тех пор, пока очередной образец не выдержит N_σ циклов (N_σ - заданное техническими условиями число циклов, называемое *базой* испытаний при определении предела выносливости). Обычно *база* испытаний принимается не ниже следующих величин:

а) для стали и сплавов, имеющих горизонтальный участок на кривой усталости, - $N_\sigma = 10^7$ циклов;

б) для цветных металлов и легких сплавов, кривые которых не имеют горизонтального участка, - $N_\sigma = 10^8$ циклов.

Величина предела выносливости σ_R материала зависит от размера образца (масштабный фактор). С увеличением диаметра образца σ_R уменьшается. Также на σ_R влияют чистота обработки и концентрация напряжений.

При наличии на деталях машин концентраторов напряжений (выточек, отверстий, шпоночных канавок, резких переходов в размерах и т. п.) происходит снижение $\sigma_R(\tau_R)$, которое учитывают *эффективным* (действительным) коэффициентом концентрации напряжений $K_\sigma(K_\tau)$. Его

значения приведены в справочниках. Если нет экспериментальных данных, то $K_{\sigma}(K_{\tau})$ вычисляют по значениям теоретических коэффициентов концентрации напряжений $\alpha_{K\sigma}$ и $\alpha_{K\tau}$ по формулам

$$K_{\sigma} = 1 + q(\alpha_{K\sigma} - 1), \quad K_{\tau} = 1 + q(\alpha_{K\tau} - 1) \quad (1)$$

где q - коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений. Величина q возрастает с повышением прочности материала, но не может быть $q > 1$. Для деталей из серого чугуна $q \approx 0$, т. е. чугун не чувствителен к концентрации напряжений, что объясняется включениями графита между зёрнами чугуна. Это создает межкристаллическую концентрацию напряжений, которая в итоге оказывается больше внешней концентрации.

Снижают влияние концентрации напряжений двумя путями:

- а) конструктивными мероприятиями (увеличение радиусов переходов и т. п.);
- б) термохимической обработкой деталей (например, закалка ТВЧ, азотирование зон концентрации).

Работа выполняется на машине МУИ-6000, предназначенной для испытания металлов и сплавов на усталость при *ч и с т о м* изгибе вращающегося образца по симметричному циклу нагружения. Обеспечивает максимальный изгибающий момент 500 кгсм (49 нм).

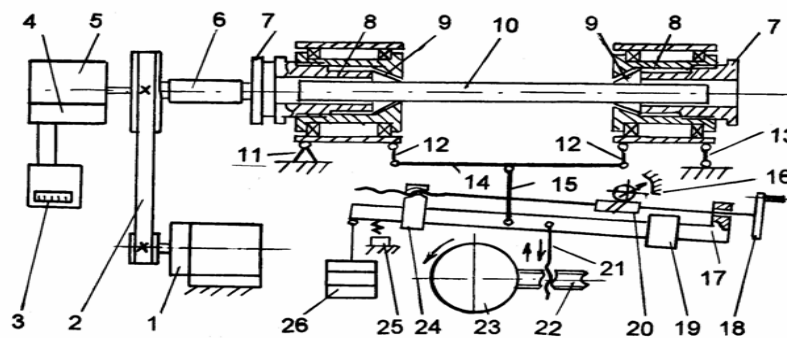


Рис.3. Кинематическая схема машины МУИ-6000

Кинематическая схема машины представлена на рис. 3. От электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 и гибкий валик 6 вращение передается на шпиндель 8, в котором заворачиванием резьбовой втулки 7 закреплен в цангах 9 испытуемый образец 10. Корпус шпинделя 7 закреплен на станине машины на шарнирно-неподвижной опоре 11. Второй конец образца закреплен аналогичным образом, но корпус этого узла опирается на шарнирно-подвижную опору 13. Усилие на образец передается через серьги 12, балочку 14 и тягу 15 от механизма нагружения,

состоящего из рычага 17, подвешенного к тяге 15, подвижного 24 и сменных 26 грузов, и противовеса 19. Нагрузка устанавливается перемещением груза 24 по рычагу 17 при вращении маховичка 18, а величина ее определяется по шкале 16 при повороте стрелки червячной пары 20. Приложение установленной нагрузки на образец 10 осуществляется вращением маховика 23, который через червячную пару 22 опустит вниз шток 21, и рычаг 17 через тягу 15 нагрузит образец 10.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- Как графически показывают закон изменения циклических напряжений?
- Как получают диаграмму усталости материала?
- Что понимают под пределом выносливости материала? Как его обозначают?
- Какова форма, чистота обработки поверхности образцов для испытаний на усталость?
- Как теоретически вычислить коэффициент концентрации напряжений?
- Почему в деталях из серого чугуна практически не возникает концентрация напряжений?
- Каким образом в металлах и их сплавах уменьшить влияние концентраторов напряжений?
- Опишите устройство и принцип действия испытательной машины.
- Какой вид изгиба возникает в образце? Изобразите эпюру изгибающих моментов.
- Разрушится ли образец, если при испытаниях в нем возникнут напряжения ниже предела текучести?
- Какое практическое значение имеют испытания материалов при переменных напряжениях?
- Выведите формулу для определения максимальной нагрузки, прилагаемой к образцу?
- Влияет ли на величину предела выносливости выбор диаметра образца?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 25

Схема нагружения при испытании на усталость.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с методом испытаний на усталость, схема нагружения

ОБОРУДОВАНИЕ: Методические указания по выполнению практической работы, конспект, учебник

ХОД РАБОТЫ:

1. Изучить действие циклических нагрузок на материал
2. Ознакомиться с типичной схемой испытаний на усталость
3. Ознакомиться с ГОСТ 25.502-79
4. Изучить диаграмму усталости для материалов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Большинство разрушений деталей и конструкций при эксплуатации происходит в результате циклического нагружения. Металл при таком нагружении может разрушаться при более низких напряжениях, чем при однократном плавном нагружении.

Процесс постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящий к образованию трещин и разрушению, называют усталостью. Свойство материалов противостоять усталости называют выносливостью.

На рис.1 приведена типичная схема испытаний на усталость с соответствующими циклами напряжений. Согласно схеме, циклическое нагружение осуществляется подвешенным неподвижным грузом при вращении консольно закрепленного цилиндрического образца (рис. 1а). Цикл напряжений – это совокупность переменных значений напряжений за один период T их изменения. За максимальное напряжение цикла $\sigma_{\max}$ принимают наибольшее по алгебраической величине напряжение, а за минимальное $\sigma_{\min}$ – наименьшее. Цикл характеризуется коэффициентом асимметрии $R\sigma = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$. Если $|\sigma_{\min}| = |\sigma_{\max}|$, то $R\sigma = -1$ и цикл называют симметричным (рис. 1б). Если $|\sigma_{\min}| \neq |\sigma_{\max}|$, то цикл называют асимметричным.

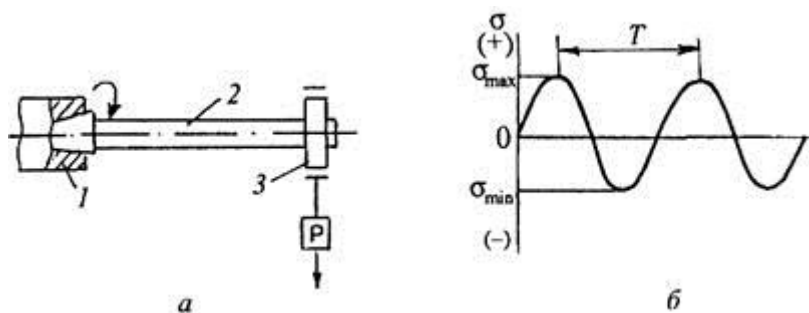


Рис.1. Испытание на усталость: а – схема нагружения образца (1 – вращающийся шпиндель, 2 – образец, 3 – подшипник с грузом Р); б – циклическое изменение напряжения σ в образце

Сопротивление усталости характеризуется пределом выносливости σ_R , под которым понимают максимальное напряжение, которое не вызывает разрушения образца при любом числе циклов (физический предел выносливости) или заданном числе циклов (ограниченный предел выносливости). Предел выносливости при симметричном цикле обозначается σ_{-1} .

Методика проведения испытаний материалов на усталость регламентирована ГОСТ 25.502-79. Для определения предела выносливости испытывают не менее 15 образцов. Каждый образец испытывают только на одном уровне напряжений – до разрушения или до базового числа циклов. По результатам испытаний отдельных образцов строят диаграммы усталости в координатах максимальное напряжение ($\sigma_{\max}$) – число циклов (N). При графическом изображении таких диаграмм удобно использовать логарифмические координаты – рис.2.

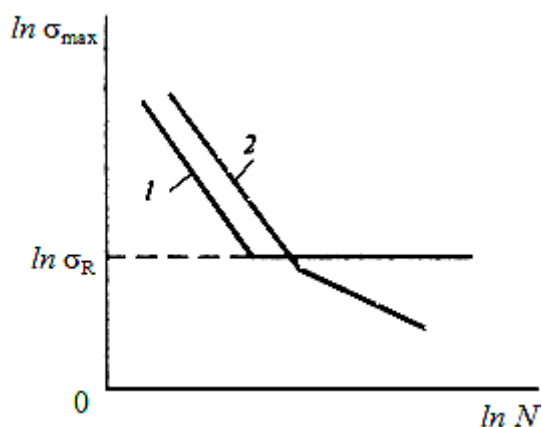


Рис.2. Диаграмма усталости для материалов имеющих (1) и не имеющих (2) физического предела выносливости

Переход кривой усталости в горизонталь наблюдается обычно у сталей после 107 циклов нагружения, для цветных сплавов это значение составляет примерно 108 циклов. Ордината, соответствующая постоянному значению $\sigma_{\max}$, является физическим пределом выносливости. Но могут быть случаи, когда и после указанного числа циклов кривая усталости не переходит в

горизонталь, а продолжает снижаться. Тогда $N = 10^7$ для сталей и $N = 10^8$ для цветных сплавов принимают за базу испытаний и при указанных числах циклов определяют ограниченный предел выносливости.

Изложенная выше методика испытания материалов относится к испытаниям на многоцикловую усталость, когда используются большая база испытаний (до $10^7 \dots 10^8$ циклов) и высокая частота нагружения (до 300 Гц). Однако на практике имеют место испытания и на малоцикловую усталость, отражающие условия эксплуатации конструкций, подвергающихся воздействию сравнительно редких, но значительных по величине циклических нагрузок. Испытания на малоцикловую усталость проводятся при сравнительно малой частоте нагружения (3...5 Гц) на базе, не превышающей $5 \cdot 10^4$ циклов.

Между пределом выносливости σ_{-1} и временным сопротивлением σ_b существует определенная связь. Для многих сталей отношение $\sigma_{-1}/\sigma_b \approx 0,5$; для медных сплавов – 0,3...0,5; а для алюминиевых – 0,25...0,4. Поэтому, зная σ_b , можно ориентировочно определить σ_{-1} . Однако следует иметь в виду, что при высоком значении σ_b ($\sigma_{0,2}$) отношение σ_{-1}/σ_b снижается. С повышением прочности (σ_b , $\sigma_{0,2}$) возрастает σ_{-1} за счет увеличения сопротивления зарождению трещины усталости. Однако с увеличением $\sigma_{0,2}$ снижается пластичность, что затрудняет релаксацию напряжений у вершины трещины и ускоряет ее развитие. С повышением прочности (понижением пластичности) возрастает чувствительность к концентраторам напряжений. Поэтому высокопрочные стали могут иметь более низкий σ_{-1} , чем менее прочные стали.

Коррозия металла, приводящая к разупрочнению поверхности и появлению дополнительных концентраторов напряжения, снижает предел выносливости σ_{-1} на 50...60 % и более.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое диаграмма усталости материалов?
2. Как производят испытания материалов на усталость?
3. Что приводит к снижению предела выносливости материалов?
4. В следствии чего появляется усталость материала.?
5. Что регламентирует ГОСТ 25.502-79?

Список рекомендуемой литературы

1. Е.А Банников Сварочные работы: современное оборудование и технология работ - М.:АСТ: Астрель, 2009
2. В.А Чебан Сварочные работы – Ростов н/Д:Феникс,2009
3. Г.Г Чернышов Сварочное дело: Сварка и резка металлов – М.: ИРПО;ПрофОбрИздат,2002
4. В.Ф. Криворудченко, Р.А. Ахмеджанов Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта – М.: Маршрут,2005
5. В.И. Берлин, П.С. Костяев, К.Д. Шапкин Материаловедение М., «Транспорт»,1973
6. В.В. Овчинников Контроль качества сварных соединений – М.: Издательский центр «Академия» ,2009