



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

М.А. Шекшеев
А.Б. Сычков
С.В. Михайлицын

**СТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.
МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ И АНАЛИЗА**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве лабораторного практикума*

Магнитогорск
2016

Рецензенты:

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой металлургических технологий,
АНО ДПО КЦПК «ПЕРСОНАЛ»

В.Л. Корнилов

доктор технических наук,
профессор кафедры технологий металлургии и литейных процессов
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

А.Н. Емелюшин

Шекшеев М.А., Сычков А.Б., Михайлицын С.В.

Структура сварных соединений. Методы описания и анализа [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / Максим Александрович Шекшеев, Александр Борисович Сычков, Сергей Васильевич Михайлицын ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,37 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Практикум знакомит с особенностями методов анализа и описанием структуры и свойств металла сварных соединений.

Предназначен для обучающихся направлений 15.03.01 «Машиностроение» и 15.04.01 «Машиностроение».

УДК 621.791

Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ К ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА ЛЕГИРОВАННОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШЛИФОВ И ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 МАКРОАНАЛИЗ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 МЕТАЛЛОГРАФИЯ. МИКРОАНАЛИЗ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 СТРУКТУРА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ.....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	36
Приложение А	38
Приложение Б.....	39
Приложение В	40

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ К ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ

Цель работы:

1. Исследовать склонность углеродистых и низколегированных конструкционных сталей к трещинообразованию.
2. Получить навыки аналитической оценки склонности сталей к образованию горячих и холодных трещин при сварке.

Краткие теоретические сведения

Свариваемость - технологическая характеристика металла, которая зависит от технологии его производства и технологии сварки, отражает реакцию данного металла на процесс сварки и определяет пригодность металла для изготовления конструкций, удовлетворяющих условиям их эксплуатации.

Трещины – один из наиболее распространенных недопустимых дефектов, возникающих при сварке. Выделяют два основных типа трещин – «горячие» и «холодные».

Образование **горячих трещин** обусловлено химическим составом металла сварных швов, условиями и характером процесса кристаллизации, степенью развития внутрикристаллической неоднородности, конструкцией и жесткостью сварного соединения. Причинами образования горячих трещин является в частности формирование структурных и температурных литейных напряжений, наличие легкоплавких эвтектик, грубого дендритного строения материала шва и околошовной зоны.

Холодные трещины образуются вследствие изменения структуры металла в результате сварки по сравнению со структурой металла в состоянии поставки, в котором металл не склонен к трещинам. При наличии в структуре сварного соединения прочной и хрупкой фазы, под воздействием сварочных напряжений и деформаций, высока вероятность образования холодных трещин. Основной причиной формирования холодных трещин сварных соединений является формирование высоко напряженных закалочных структур – мартенсита, троостомартенсита, бейнита. Их возникновение обусловлено критической скоростью закалки металла с конкретным химическим составом и прогнозируется при помощи диаграмм изотермического и анизотермического (термокинетических диаграмм - ТКД) распада аустенита при охлаждении сварного соединения.

Наиболее простой и эффективный способ борьбы с холодными трещинами заключается в регулировании термического цикла сварки путем выбора соответствующих температур подогрева, а также способа и режима сварки.

Необходимое оборудование и материалы

1. Калькулятор

Содержание работы

Склонность сталей к трещинообразованию, при выборе технологии сварки, оценивают на основе решения ряда параметрических уравнений.

О склонности стали к образованию **горячих трещин** судят на основе расчета показателя трещиностойкости HCS (показатель К. Итамурэ) и UCS (Европейский стандарт EN 1011-2 : 2001):

$$HCS = \frac{C \cdot (S + P + Si/25 + 0,01 \cdot Ni) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V}, \quad (1)$$

при $HCS > 4$ склонна;

$$UCS = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb + 12,3 \cdot Si - 5,4 \cdot Mn - 1, \quad (2)$$

при $UCS > 30$ склонна.

Для оценки склонности стали к образованию **холодных трещин** служат параметр стойкости к образованию трещин P_{CM} и значение углеродного эквивалента $C_{ЭКВ}$:

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo + V}{15} + 5 \cdot B \quad (3)$$

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (4)$$

При $P_{CM} > 0,23$ % и $C_{ЭКВ} \geq 0,45$ % стали считаются склонными к образованию холодных трещин.

Положительное заключение о свойствах сварных соединений делается в том случае, когда расчетные значения не превышают критических во всех рассмотренных случаях.

Порядок выполнения работы

1. Согласно варианту (табл. 1, см. приложение А), с помощью калькулятора рассчитать показатели трещиностойкости (1) - (4) для заданной марки стали.
2. Сравнить расчетные данные с критическими значениями и сделать заключение о склонности стали к образованию холодных и горячих трещин.
3. Оценить вклад химических элементов в склонность стали к трещинообразованию.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Что такое свариваемость?
2. Причины образования горячих и холодных трещин?
3. Способы борьбы с образованием трещин?
4. Как оценивается склонность к трещинообразованию?
5. Как химический состав сталей влияет на их склонность к образованию трещин?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА ЛЕГИРОВАННОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Цель работы:

1. Определить фазовый состав металла сварных швов аустенитных сталей.
2. Оценить склонность металла шва к образованию горячих трещин.
3. Получить навыки аналитической оценки фазового состава металла сварных швов аустенитных сталей с помощью диаграммы Шеффлера.

Краткие теоретические сведения

К аустенитному классу относят высоколегированные стали, образующие при кристаллизации преимущественно однофазную аустенитную структуру γ -Fe с гранцентрированной кристаллической (ГЦК) решеткой и сохраняющие ее при охлаждении до криогенных температур. Количество другой фазы - высоколегированного феррита (δ -Fe с объемноцентрированной кристаллической (ОЦК) решеткой) изменяется от 0 до 10 %. Они содержат 18 - 25 % Cr, обеспечивающего жаро- и коррозионную стойкость, а также 8 - 35 % Ni, стабилизирующего аустенитную структуру и повышающего жаропрочность, пластичность и технологичность сталей в широком интервале температур. Это позволяет применять аустенитные стали в качестве коррозионно-стойких, жаропрочных, жаростойких и криогенных конструкционных материалов в теплоэнергетических, химических и атомных установках, где они подвергаются совместному действию напряжений, высоких температур и агрессивных сред.

Необходимое оборудование и материалы

1. Калькулятор

Содержание работы

Совместное действие легирующих элементов на конечную структуру аустенитных сталей оценивают по соотношению $Cr_{эКВ}/Ni_{эКВ}$, называемому хромоникелевым эквивалентом:

$$\frac{Cr_{эКВ}}{Ni_{эКВ}} = \frac{Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb}{Ni + 30 \cdot C + 0,5 \cdot Mn}$$

При помощи структурной диаграммы Шеффлера (рис. 1). На этой диаграмме структура стали определяется соотношением координат $Cr_{экв}$ и $Ni_{экв}$. Стали, попадающие в области А, Ф и М, имеют стабильно аустенитную, ферритную или мартенситную конечную структуры соответственно. Стали, попадающие в переходные области А + Ф, А + М, А + М + Ф, обладают смешанной структурой. Соотношение А + Ф дифференцировано количественно с помощью ряда веерообразно расположенных линий. Цифры над линиями указывают количество высоколегированного феррита (δ -Fe с ОЦК-решеткой), содержащегося в стали наряду с аустенитом (γ -Fe).

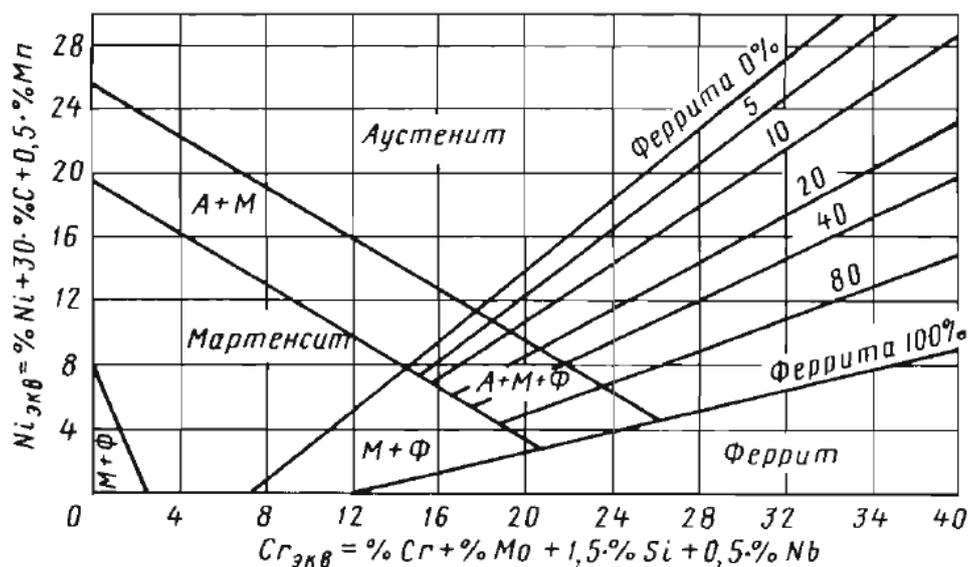


Рис.1. Структурная диаграмма Шеффлера для определения фазового состава аустенитных швов

Если $(Cr_{экв}/Ni_{экв}) < 1,3$, то сварные швы потенциально склонны к образованию горячих кристаллизационных трещин.

Порядок выполнения работы

1. Согласно варианту (табл. 2, см. приложение А), с помощью калькулятора рассчитать хромоникелевый эквивалент для заданного химического состава.
2. С помощью диаграммы Шеффлера определить фазовый состав рассматриваемого сплава.
3. Сравнить расчетные данные с критическим значением и сделать заключение о склонности сплава к образованию горячих трещин.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований.

Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Какие стали относятся к аустенитному классу?
2. Какие химические элементы стабилизируют аустенитную структуру металла?
3. Что характеризует хромоникелевый эквивалент?
4. Назначение диаграммы Шеффлера?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШЛИФОВ И ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы:

1. Усвоить основные правила отбора и подготовки образцов.
2. Освоить технологию изготовления шлифов.
3. Получить навыки изготовления шлифов для макро- и микроисследований.
4. Получить навыки выявления структуры металла сварных соединений.

Краткие теоретические сведения

Порядок отбора и подготовки образцов включает следующие правила:

1. Образцы (шлифы) для макро- и микроисследований должны быть вырезаны из контрольных сварных соединений поперек шва на расстоянии 20 - 30 мм от начала или конца шва во избежание контроля участков с неустановившимся режимом сварки.

2. Контролируемая поверхность макрошлифа должна включать сечение шва, зону термического влияния с прилегающими к ней участками основного металла, не находившимися под термическим воздействием сварки, а также подкладное кольцо, если оно применялось при сварке и не подлежало удалению (рис. 1).

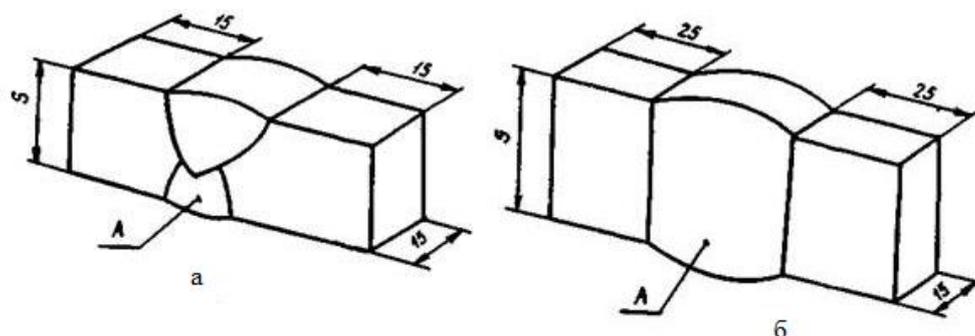


Рис. 1. Образец сварного соединения для макроисследования:

а - выполненного ручной, полуавтоматической или автоматической дуговой сваркой; б - выполненного электрошлаковой сваркой; А - исследуемая поверхность микрошлифа, S - толщина стенки изделия

3. Размеры микрошлифа при толщине стенки изделия до 30 мм должны соответствовать размерам макрошлифа. Если толщина стенки более 30 мм, контролируемая поверхность должна включать лишь часть сечения площадью не более $40 \times 40 \text{ мм}^2$ (рис. 2).

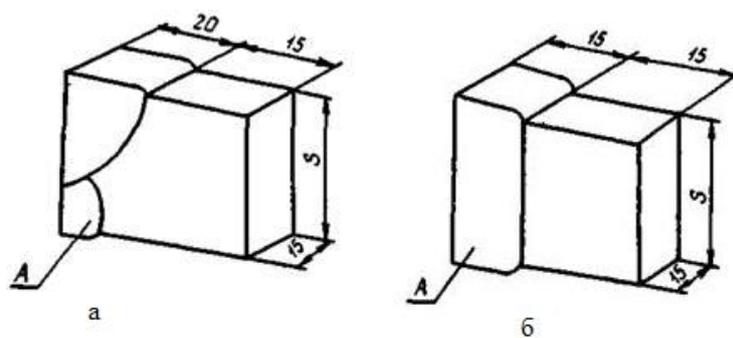


Рис. 2. Образец сварного соединения для микроисследования при толщине стенки изделия более 30 мм: а - часть сварного соединения, выполненного ручной, полуавтоматической или автоматической сваркой; б - часть сварного соединения, выполненного электродуговой сваркой; А - исследуемая поверхность микрошлифа; S - толщина стенки изделия

4. При микроисследовании сварных соединений изделий, толщина стенки которых более 40 мм, допускается вырезка макрошлифа по высоте шва параллельно поверхности основного металла.

5. При вырезке образцов допускается механическая или термическая резка, но при этом необходимо, чтобы металл в плоскости будущего шлифа не нагревался во избежание искажения его структуры.

Необходимое оборудование и материалы

1. Заготовка образца сварного V-образного соединения низкоуглеродистой, низколегированной стали.
2. Наждачная бумага различной зернистости.
3. Паста ГОИ (государственный оптический институт).
4. Керосин.
5. Паста алмазная.
6. Сукно.
7. Станок с вращающимся кругом.
8. 4% раствор азотной кислоты в этиловом спирте.
9. Чашка Петри.
10. Микроскоп световой типа Микромед МЕТ.

Содержание работы

Стандартная *технология изготовления шлифов* состоит из следующих операций:

- вырезки образцов – абразивная резка с обильным водяным охлаждением с использованием абразивных кругов минимальной толщины из корунда на резиновой или из искусственных смол связке;
- заделки шлифов (при необходимости) в обойму, пластмассу и т.п.;
- плоского шлифования с водой на водостойкой шлифовальной бумаге;
- предварительного полирования алмазной пастой на тонком гладком носителе из натурального или искусственного шелка с повышающей эффект полирования спиртосодержащей жидкостью для улучшения скольжения;
- окончательного полирования суспензией глинозема на эластичном носителе с ворсистой поверхностью.

Вырезка, шлифование и полирование образца должны осуществляться таким образом, чтобы на поверхности шлифа оставался минимальный по глубине слой деформированного металла, что необходимо для выявления истинной структуры металла при травлении. На поверхности шлифа не должно быть царапин, ямок, пятен и др. Шлиф должен быть достаточно плоским, тогда появляется возможность изучать его при больших увеличениях.

Шлифование. Для удаления грубого рельефа и наклепа на поверхности образца, получающегося при вырезке, применяется обработка его шлифовкой. Шлифовка осуществляется путем истирания поверхности образца при последовательном переходе ко все более мелкозернистому абразивному материалу. Зернистость абразивных материалов определяется по ГОСТ 3647 – 71. Для изготовления микрошлифов механическим способом применяется шлифовальная бумага.

Полирование. При полировании поверхности образца получают зеркальную поверхность с шероховатостью $R_z = 0,05-0,04$ мкм, свободную от царапин. Механическое полирование производится на станках и приборах, подобных используемым для шлифования. Полирование проводится одним или несколькими сортами абразивов, в качестве которых используют оксиды алюминия, хрома, магния, железа, алмазные смеси. Наиболее употребимыми являются пасты с алмазными зёрнами 15; 7; 2; 1 и 0,25 мкм. Обычно полируют на войлоке (ГОСТ 6989) или на бархате (ГОСТ 7081 – 93).

Химическое травление. Травлением называется процесс выявления структуры металла, посредством воздействия на него реактива. Травление осуществляется путем

погружения образца в травящий реактив или протирания образца реактивом с помощью тампона. Продолжительность травления чаще всего устанавливается опытным путем.

Порядок выполнения работы

1. Начать шлифование заготовленного образца сварного соединения наждачной бумагой. Шлифовка осуществляется путем истирания поверхности образца при последовательном переходе ко все более мелкозернистой бумаге.

2. Продолжить шлифование образца пастой ГОИ с добавлением керосина на станке с вращающимся кругом.

3. Начать полирование образца алмазной пастой на станке с вращающимся кругом.

4. Завершить полирование образца водой с добавлением оксида хрома на станке с вращающимся кругом.

5. Готовый, полированный, образец аккуратно окунуть зеркальной поверхностью в чашку Петри с 4%-м раствором азотной кислоты. После помутнения травимой поверхности необходимо промыть образец под проточной водой и быстро высушить струей воздуха.

6. Поместить образец на предметный столик микроскопа Микро-мед МЕТ и с помощью объектива 4× оценить готовность образца. При недостаточном травлении необходимо повторить действия пункта 5.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты работы. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Порядок отбора образцов для макро- и микроисследований?
2. Какие операции включает в себя стандартная технология изготовления шлифов?
3. Как производится шлифование?
4. Как производится полирование?
5. Как производится травление?
6. Как оценивается готовность шлифа?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 МАКРОАНАЛИЗ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы:

1. Изучить макроструктуру и дефекты металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ).
2. Получить основные навыки проведения макроанализа сварных соединений.

Краткие теоретические сведения

Макроскопический анализ (макроанализ) – это изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или с помощью небольших увеличений.

Для оценки качества сварных соединений большое значение имеет получение информации о макростроении металла. Такая информация позволяет:

- определить геометрические параметры шва (ширину шва, высоту усиления, глубину проплавления) и ЗТВ (рис. 1);
- оценивать влияние на разрушение неоднородности химического состава (например, в стали - распределение серы и фосфора, в жаропрочных сплавах – точечно-пятнистую неоднородность и т.д.);
- идентифицировать дефекты, выявленные на макроструктуре (рис. 2);
- выявлять ликвационную неоднородность, дендритную структуру и другие особенности строения металла;
- выявлять изменения макроструктуры металла, обусловленные термическим воздействием при сварке.

Необходимое оборудование и материалы

1. Два образца сварных V-образных соединений (шлифы травленные), выполненных разными способами сварки.
2. Комплект для визуально-измерительного контроля.
3. Микроскоп световой Микромед МЕТ.

Содержание работы

Макроанализ проводится с использованием специально вырезанного образца – темплета. Для проведения анализа темплет шлифуется и подвергается травлению.

В случаях, когда вырезка образца из изделия невозможна, выявление макроструктуры проводят непосредственно на изделии. Исследования проводят визуально и при увеличениях до 30 – 40 крат.

На нетравленных образцах видны наиболее грубые дефекты, а также различные неметаллические включения.

На травленных образцах невооруженным глазом можно установить глубину и форму провара, ширину и очертания ЗТВ (рис. 1), различные дефекты (рис. 2).

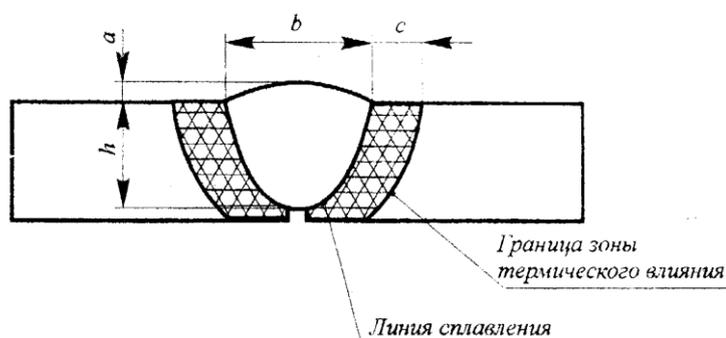


Рис. 1. Основные параметры шва и ЗТВ: a – высота усиления; b – ширина шва; c – ширина ЗТВ; h – глубина проплавления

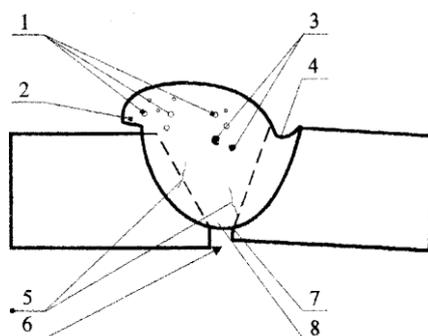


Рис. 2. Дефекты сварного соединения: 1 – поры; 2 – наплыв; 3 - раковины; 4 – подрез; 5 – трещины; 6 – неправильная сборка стыка; 7 - несплавление; 8 – непровар корня шва

Типичная макроструктура металла швов характеризуется наличием крупных столбчатых кристаллитов, которые видны даже невооруженным глазом (рис. 3). Кристаллиты растут перпендикулярно к плоскости раздела сварочной ванны и основного

металла, т.е. в направлении, обратном теплоотводу. Каждый столбчатый кристаллит представляет собой один или несколько дендритов.

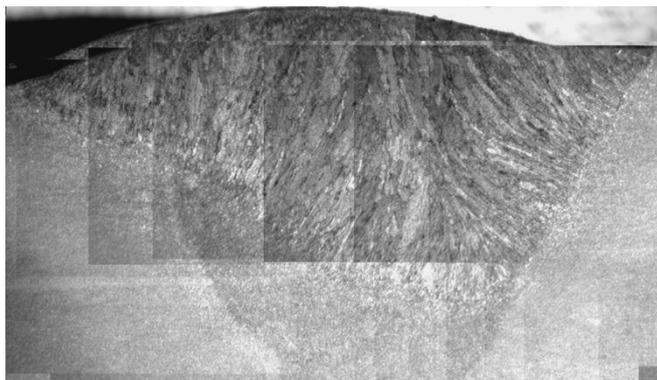


Рис. 3. Макроснимок сварного соединения

В центре сварных швов иногда формируется зона равноосных кристаллов, которая свидетельствует о значительном концентрационном переохлаждении и присутствии примесей, являющихся центрами кристаллизации. Кристаллиты этой зоны зарождаются в объеме всего остаточного расплава независимо от уже существующего фронта кристаллизации и ориентированы хаотично.

Размеры ЗТВ зависят от свойств основного металла, а также способа и режима сварки.

Порядок выполнения работы

1. Изучить макроструктуру образцов невооруженным глазом.
2. С помощью измерительного инструмента провести замер основных параметров сварных соединений (высоту усиления, ширину шва, ширину ЗТВ, глубину проплавления) и зарисовать эскиз с нанесением всех размеров (рис. 1).
3. На эскизе сварных соединений отметить характерные особенности и обнаруженные дефекты и описать их (рис. 2).
4. Поместить образцы на предметный столик микроскопа Микро-мед МЕТ и с помощью объектива 4× подробно изучить макроструктуру и дефекты сварных соединений, схематично зарисовать увиденное (рис. 3).

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Макроанализ и его задачи?
2. С помощью каких инструментов и приборов производят макро-анализ сварных соединений?
3. Какие характеристики сварных соединений позволяет определить макроанализ?
4. Макроструктура сварных соединений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 МЕТАЛЛОГРАФИЯ. МИКРОАНАЛИЗ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы:

1. Изучить микроструктуру металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ).
2. Получить основные навыки проведения микроанализа сварных соединений.

Краткие теоретические сведения

Металлография – наука о структуре металлов и сплавов; составная часть металловедения. Она изучает микроструктуру металла и закономерности ее образования.

Микроскопический анализ (микроанализ) - заключается в исследовании структуры металлов с помощью светового и/или электронного микроскопов.

Микроанализ сварных соединений позволяет выявить различные виды структур металла шва и ЗТВ: первичная структура с перекристаллизацией или без нее, столбчатая, дендритная, волокнистая, глобулярная, игольчатая, структура зоны сплавления, незавершенность превращений, образование твердых растворов, эвтектики, интерметаллидные соединения.

Основные типы структур, встречающиеся в сварных соединениях низкоуглеродистых, низколегированных сталей, следующие.

1. Аустенит - твердый раствор внедрения углерода в γ -железе с гранцентрированной кубической решеткой (ГЦК).
2. Феррит - твердый раствор внедрения углерода в α -железе с объемно-центрированной кубической решеткой (ОЦК).
3. Цементит - карбид железа, химическое соединение Fe_3C .
4. Перлит - представляет собой однородную механическую эвтектоидную смесь двух фаз - феррита и цементита.
5. Бейнит - структура, образующаяся в результате промежуточного превращения аустенита. Бейнит состоит из смеси частиц пересыщенного углеродом феррита и карбидов железа.
6. Мартенсит - пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе.

Необходимое оборудование и материалы

1. Четыре образца сварных V-образных соединений (2 травленных и 2 не травленных шлифа), выполненных разными способами сварки.
2. Микроскоп световой Микромед МЕТ.

Содержание работы

Микроанализ проводится с использованием травленных и/или нетравленных шлифов.

На нетравленных образцах хорошо видны интерметаллидные соединения (карбиды, нитриды) (рис. 1а), а также различные неметаллические включения (рис. 1б).

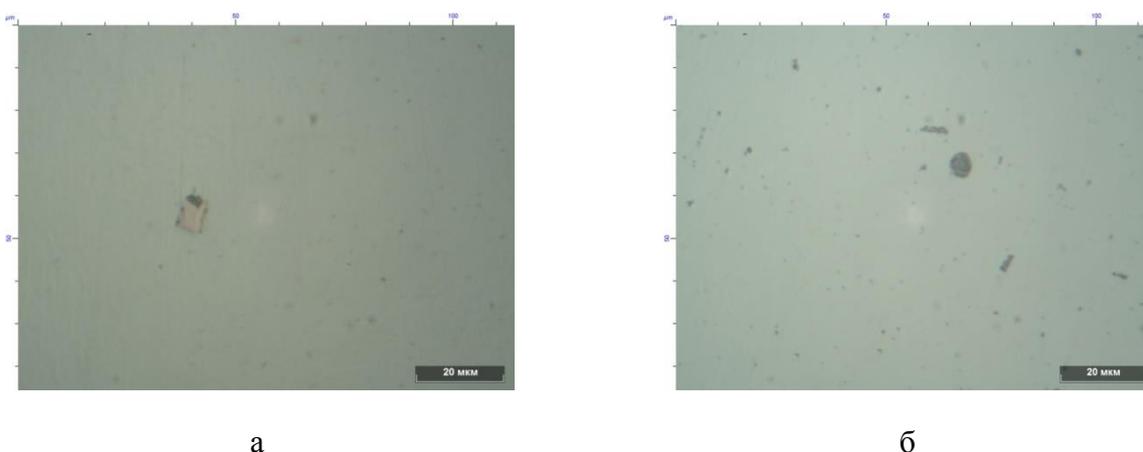


Рис.1. Нетравленный образец: а – карбид в металле шва;

б - неметаллические включения в металле шва

На травленных образцах выявляются границы между различными фазами. В многофазных сплавах вначале выявляют общую микроструктуру, т.е. межзеренные границы. Затем применяют способ избирательного выявления фаз.

Типичная микроструктура металла швов низкоуглеродистых, низколегированных сталей характеризуется наличием крупных столбчатых кристаллитов. По границам кристаллов-зерен выпадает периферийный феррит из которого в центр кристалла прорастают иглы видманштеттового феррита (рис. 2). В центре кристалла-зерна структура характеризуется литой игольчатой структурой.

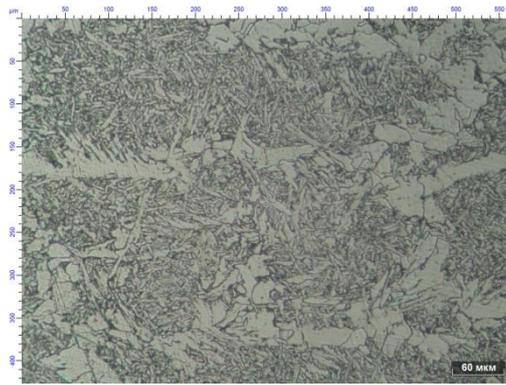


Рис. 2. Структура металла шва

Граница металла шва-ЗТВ (зона сплавления) имеет четкие либо неявные очертания, в зависимости от термического цикла сварки.

Порядок выполнения работы

1. Поместить образцы на предметный столик микроскопа Микромед МЕТ и с помощью объектива 40× подробно изучить микроструктуру центральной части шва и зоны сплавления, схематично зарисовать увиденное.
2. Описать типы наблюдаемых структур и их морфологию.
3. Провести сравнительный анализ структуры сварных соединений, выполненных различными способами сварки и при различных режимах сварки.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Металлография и что она изучает?
2. Микроанализ и его задачи?
3. Основные типы и морфология структур, встречающихся в сварных соединениях?
4. Что такое феррит и перлит и другие структурные составляющие?
5. С помощью каких приборов производят микроанализ сварных соединений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы:

1. Определить размер элементов структуры металла шва и зоны термического влияния;
2. Получить основные навыки количественной оценки структуры металла сварных соединений.

Краткие теоретические сведения

Зерна металлов - это отдельные кристаллы поликристаллического конгломерата, разделенные между собой смежными поверхностями, называемыми границами зерен. Зерна могут быть равноосными и неравноосными.

Видманштеттова структура - структура, в которой феррит расположен по границам первичных зерен, образуя сплошную или прерывную сетку с иглами, отходящими от нее внутрь первичных зерен. Причинами образования видманштеттовой структуры являются перегрев металла с формированием первичного крупного аустенитного зерна и последующим ускоренным охлаждением; ликвационные явления. Как правило, видманштеттов феррит образуется в низкоуглеродистых сталях.

Металлографическими методами определяют:

- величину действительного зерна (после горячей деформации или любой термической обработки);

- склонность зерна к росту - определением величины зерна аустенита после нагрева при температуре и времени выдержки, установленных нормативно-технической документацией на стали и сплавы;

- кинетику роста зерен - определением величины зерна после нагрева в интервале температур и времени выдержки, установленных нормативно-технической документацией на стали и сплавы.

Величина зерна - средняя величина случайных сечений зерен в плоскости металлографического шлифа - определяется методами:

- визуального сравнения видимых под микроскопом зерен с эталонами шкал с определением номера зерна;

- подсчета количества зерен, приходящихся на единицу поверхности шлифа, с определением среднего диаметра и средней площади зерна;

- подсчета пересечений границ зерен отрезками прямых с определением среднего условного диаметра в случае равноосных зерен, количества зерен в 1 мм^3 в случае неравноосных зерен;

- измерения длин хорд под микроскопом или с использованием микрофотографий с определением относительной доли зерен определенного размера;

- ультразвуковым.

Указанные методы применяют для оценки величины зерна, имеющего форму, близкую к равноосной.

Метод подсчета пересечений границ зерен применяется для оценки величины зерна удлиненной формы.

В случае определения величины зерна в разнотекстурной структуре средние размеры (диаметр, площадь зерна) не являются характеристиками оценки структуры.

Необходимое оборудование и материалы

1. Образец сварного V-образного соединения (шлиф травленный).
2. Микроскоп световой Микромед МЕТ.
3. Эталонные шкалы для оценки структуры (см. приложения Б, В).

Содержание работы

Величину зерна методом сравнения определяют при увеличении $100\times$. Допускается применение увеличения $90 - 105\times$.

После просмотра всей площади шлифа выбирают несколько типичных мест и сравнивают с эталонами (ГОСТ 5639-82). Сравнение можно проводить, наблюдая изображение в окуляре микроскопа, на матовом стекле или фотоснимке.

Шкала для оценки развития видманштеттовой структуры построена по принципу возрастания количества и размеров игольчатых выделений феррита и величины зерна (ГОСТ 5640-68), определяемой по ферритной сетке, соответствующей размеру действительного аустенитного зерна, и состоит из двух рядов и шести баллов.

Оценка микроструктуры производится путем сопоставления микроструктуры с эталоном соответствующих шкал. При этом оценка структуры производится по наибольшему баллу, встречающемуся не менее чем в трех участках шлифа. Поверхностный слой металла глубиной примерно 10% от толщины листа с каждой стороны не учитывается.

Порядок выполнения работы

1. Поместить образец на предметный столик микроскопа Микромед МЕТ и с помощью объектива 10× выбрать типовые участки с зеренной и видманштеттовой структурами.
2. Наблюдая изображения структур в окуляре микроскопа, провести сравнение с эталонными шкалами. Зарисовать увиденное в виде эскиза.
3. Провести сравнительный анализ структур сварного соединения и основного металла.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Зерна металлов и их размер?
2. Методы определения размера зерен?
2. Что такое видманштеттова структура?
3. Как оценивают структуру металла методом сравнения?
4. Порядок проведения количественной оценки структуры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 СТРУКТУРА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы:

1. Изучить структуру характерных участков зоны термического влияния.
2. Определить размер участков зоны термического влияния.

Краткие теоретические сведения

Процесс сварки характеризуется локальным нагревом свариваемого изделия. Тепло, выделяемое источником при сварке, посредством теплопроводности распространяется на прилегающие ко шву участки основного металла. Участки сварного соединения непосредственно возле источника тепла нагреваются до наиболее высоких температур. По мере удаления от источника температура металла снижается.

Участок основного металла, подвергшийся в процессе сварки нагреву до температуры, при которой происходят изменения структуры металла, называют зоной термического влияния (ЗТВ). В ЗТВ происходят наиболее резкие изменения структуры и свойств основного металла, которые определяют качество сварных соединений – прочность, пластичность и ударную вязкость.

Зона термического влияния образуется при всех способах дуговой сварки. Ширина ее изменяется в зависимости от способа и режима сварки, состава и толщины основного металла. Микроструктура ЗТВ определяется скоростью охлаждения и химическим составом основного металла.

Схема строения сварного соединения приведена на рис. 1. Выделяют пять основных зон сварных соединений: металл шва, участок неполного расплавления (зона сплавления), участок перегрева (околошовный участок), участок нормализации, участок неполной перекристаллизации.

Участок неполного расплавления представляет собой узкую полоску металла, в которой он в процессе сварки находится в твердожидком состоянии. На этом участке и происходит собственно сварка, т.е. формирование кристаллов шва на частично оплавленных зернах основного металла.

Участок перегрева включает в себя металл, нагретый от температуры 1100°С до температуры плавления. Металл на этом участке претерпевает полиморфное превращение. При значительном перегреве происходит рост аустенитного зерна. Обычно металл этого

участка обладает пониженной пластичностью и прочностью по сравнению с основным металлом. Кроме того, нередко проявляется разрушение металла по причине возникновения холодных трещин, обусловленных протеканием в локальных участках мартенситного превращения.

Свойства этого участка во многих случаях оказывают решающее влияние на работоспособность сварного соединения, т.е. способности сопротивляться образованию трещин и хрупкому разрушению. Выбор оптимальной технологии сварки сводится к обеспечению наименьшего ухудшения свойств именно на этом участке.

Участок нормализации обладает хорошими механическими свойствами. Происходящий здесь процесс перекристаллизации при нагреве и охлаждении приводит к измельчению зерен металла. Механические свойства металла этого участка обычно лучше, чем основного металла.

На участке неполной перекристаллизации происходит частичная перекристаллизация – металл нагревается от температур A_{c1} до A_{c3} . Структура данного участка на малоуглеродистых и низколегированных сталях характеризуется почти неизменяющимся ферритным зерном и некоторым дроблением и сфероидизацией перлитных участков.

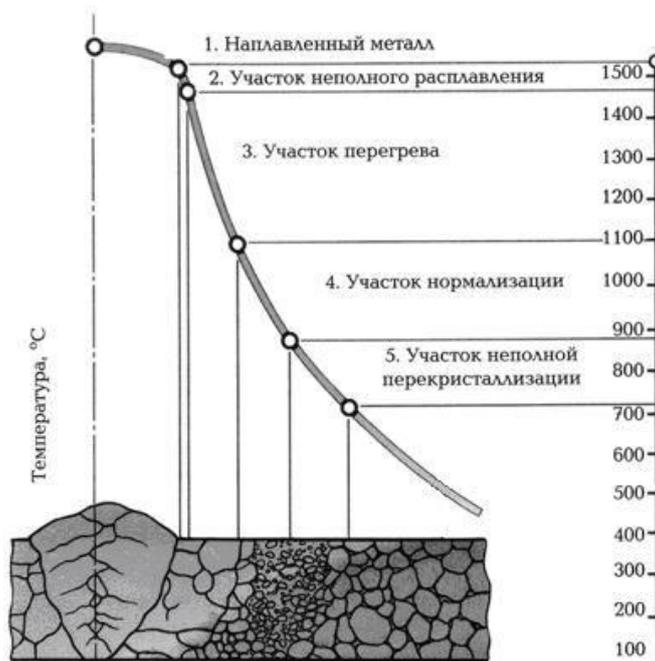


Рис. 1. Схема строения сварного соединения

Структура пятого участка ЗТВ зависит от структуры исходного состояния перед сваркой. Если в исходном состоянии металл был закален или отпущен, то его нагрев между A_{c1} и A_{c3} и последующее охлаждение приводит к конечным структурам частичной закалки.

Для многослойных соединений воздействие термического цикла каждого следующего прохода изменяет структуру и свойства металла ЗТВ. Наиболее хрупкой областью ЗТВ многослойных сварных соединений является участок перегрева.

Для однопроходного соединения ухудшение вязкости в большей степени также происходит в зоне крупного зерна ЗТВ. Основной причиной понижения вязкости участка перегрева является рост первичных зерен аустенита в результате высокотемпературного нагрева.

Необходимое оборудование и материалы

1. Образец сварного V-образного соединения (травленный шлиф).
2. Микроскоп световой Микромед МЕТ.
3. Объект микрометр для отраженного света без покровного стекла.
4. Окуляр-микрометр.
5. Линейка металлическая.

Содержание работы

Макро- и микроанализ металла ЗТВ проводится с использованием травленных шлифов.

При проведении микроисследований сначала изучают структуру основного металла, вдали от ЗТВ. Затем переходят к изучению структуры металла участков ЗТВ, начиная с зоны сплавления. Исследование должно производиться в различных направлениях, чтобы точнее выявить отдельные участки. Следует помнить, что участки ЗТВ не имеют резких границ между собой, а их малые размеры еще больше затрудняют изучение структуры.

Граница металла шва-ЗТВ (зона сплавления) имеет четкие либо неявные очертания, в зависимости от термического цикла сварки.

Для оценки размеров участков ЗТВ применяют окуляр-микрометр - окуляр с мерной шкалой. Микрометрическая шкала предназначена для измерения линейных размеров объектов исследования в микрометрическом диапазоне. Цена деления такой шкалы - это расстояние между ближайшими её делениями.

Для работы нужно измерить цену деления окуляр-микрометра для всех используемых увеличений. С этой целью проводят тарировку (калибровку) окуляр-микрометра.

При тарировке применяют объект-микрометр - плоскую стальную или стеклянную пластину, в центре которой выполнена высокоточная шкала с воспроизводимой (всегда

одинаковой) ценой деления в 0,01 мм (рис. 2). Объект-микрометр используют в качестве объекта исследования, помещая его на предметный столик микроскопа.

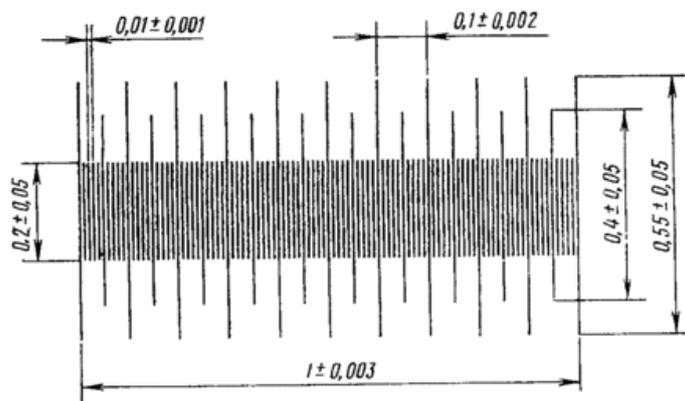


Рис. 2. Шкала объект-микрометра с ценой деления в 0,01 мм (10 мкм)

Тарировку осуществляют, совмещая в поле зрения окуляра две шкалы - шкалу объект-микрометра и шкалу окуляр-микрометра. Отсчитав число делений на обеих шкалах между совпавшими делениями, можно легко определить цену деления шкалы окуляр-микрометра для данного увеличения.

Порядок выполнения работы

1. Поместить объект-микрометр на предметный столик микроскопа Микромед МЕТ и с помощью объективов 5×, 10×, 20×, 40× провести тарировку окуляр-микрометра.
2. Поместить образец на предметный столик микроскопа Микро-мед МЕТ и с помощью различных увеличений подробно изучить макро- и микроструктуру металла ЗТВ.
3. С помощью линейки и окуляр-микрометра оценить размеры характерных участков ЗТВ, начиная с зоны сплавления.
4. На эскизе сварного соединения (рис. 1) отметить участки ЗТВ, их размер и характер структуры.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Зона термического влияния и ее характерные участки?
2. Какое негативное воздействие оказывает металл ЗТВ на работоспособность сварных соединений?
3. Какой участок ЗТВ считается наиболее опасным с точки зрения ухудшения свойств металла?
4. Для чего применяют объект-микрометр и окуляр-микрометр?
5. Порядок проведения анализа металла ЗТВ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы:

1. Изучить различные методы измерения твердости металла шва и зоны термического влияния.
2. Получить основные навыки по измерению твердости металла сварных соединений методом Виккерса.
3. Научиться оценивать работоспособность металла сварных соединений на основе результатов измерения его твердости.

Краткие теоретические сведения

Твердость - свойство материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в поверхностный слой материала другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела - индентора.

Определение твердости относится к наиболее часто используемым методам механических испытаний металлов, поскольку они являются относительно простыми, нетрудоемкими и неразрушающими. Большинство методов основывается на вдавливании в испытуемый металл индентора, и образующуюся при этом пластическую или упругую деформацию рассматривают как меру твердости металла. Широко используемые в практике методы определения твердости различаются по типу нагружения (статические и динамические) и форме индентора, вдавливаемого в металл.

Эти методы различаются формой индентора (шарик, пирамида), его материалом (высокопрочные стали, твердые сплавы, алмаз) и величиной прилагаемой нагрузки.

При большом размере отпечатка (определение твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу) получают усредненные значения твердости для макрообъемов металла. При малых размерах отпечатка, соизмеримых со структурными составляющими (метод измерения микротвердости), выявляется твердость отдельных структурных составляющих.

Измерение твердости *по Бринеллю* проводят в соответствии с ГОСТ 9012 – 59, используя стальной шарик диаметром 2,5 или 5,0 мм.

Измерение твердости *по Роквеллу* проводят в соответствии с ГОСТ 9013 – 59 с помощью сфероконического алмазного индентора (шкалы А и С) или шарикового стального наконечника диаметром 1,5875 мм (шкала В).

Измерение твердости *по Виккерсу* проводят по ГОСТ 2999 – 75 путем вдавливания алмазной пирамидки.

В соответствии с ГОСТ 6996 – 66 твердость измеряют в поперечном сечении сварного соединения (рис. 1 и 2). Твердость измеряют по Виккерсу (HV), Бринеллю (HB) и Роквеллу – шкалам А, В и С (HRA, HRB, HRC и др. шкалам), *отдавая предпочтение замеру по Виккерсу*.

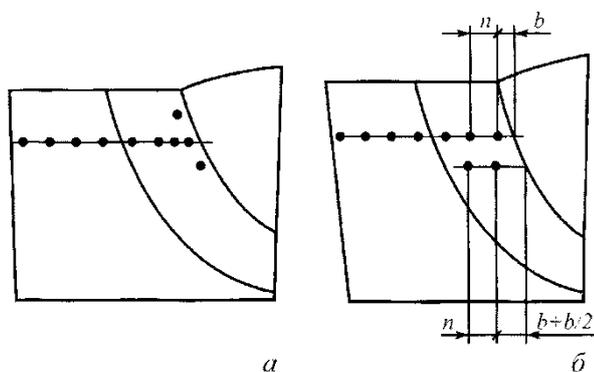


Рис. 1 Схемы порядка замеров твердости вблизи границы сплавления:

а – позиция I, б – позиция II

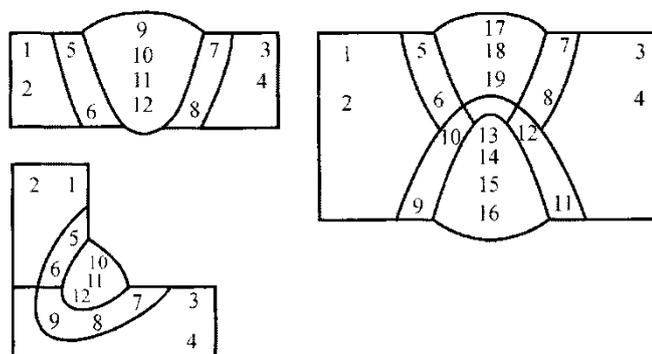


Рис. 2 Схемы порядка замеров твердости на участках сварного соединения

Твердость определяют для соединений, полученных сваркой плавлением или давлением, из сталей различных марок и других металлических конструкционных материалов толщиной не менее 1,5 мм.

Твердость основного металла различных участков зоны термического влияния (ЗТВ) и металла шва измеряют по одной или нескольким линиям. Если соединение выполнено из металлов различных марок, то твердость измеряют для каждого из них.

При измерениях, выполняемых в непосредственной близости от границы сплавления, рекомендуется проводить 2 – 3 замера в соответствии с позицией I на рис. 1 или

дополнительные замеры (позиция II на том же рисунке). Допускается проведение замеров на участках сварного соединения, указанных на рис. 2.

Общие требования к образцам и деталям, подвергаемым измерению твердости:

- при подготовке поверхности, на которую наносится отпечаток, механическая или иная обработка не должны вызывать нагрев или наклеп металла, приводящие к изменению его свойств;

- испытываемая поверхность должна быть очищена от окалины и загрязнений;

- образец или деталь должны иметь такую форму и толщину, чтобы отпечаток не вызывал на его обратной стороне следов деформации;

- при измерении твердости должна быть обеспечена перпендикулярность приложения действующего усилия к испытываемой поверхности.

Измерение твердости по Виккерсу проводят на микрошлифах или образцах с полированной поверхностью, если очертания шва видны без травления. Шероховатость поверхности таких образцов должна быть от 0,40 до 0,63 мкм. Измерение твердости по Бринеллю или Роквеллу проводят на макрошлифах или на образцах с шлифованной поверхностью, если очертания шва видны без травления. Шероховатость поверхности таких образцов должна быть от 1,25 до 2,00 мкм. В образцах должна быть соблюдена параллельность рабочей и опорной поверхностей.

Необходимое оборудование и материалы

1. Образец сварного V-образного соединения (шлиф травленный).
2. Линейка металлическая и карандаш.
3. Микрометр оптический.
4. Твердомер стационарный по Микро-Виккерсу HV-1000.
5. Калькулятор.

Содержание работы

Суть метода Виккерса: внедрение в поверхность образца алмазного наконечника в виде правильной четырехгранной пирамиды под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени, и измерение диагоналей отпечатка d_1 и d_2 , оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки (рис. 3).

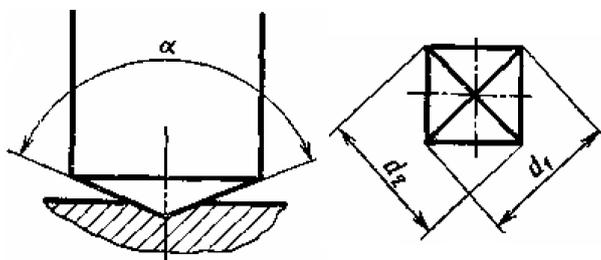


Рис. 3. Пирамидка и отпечаток

Твердость измеряют при комнатной температуре. Твердость по Виккерсу HV определяется по формуле:

$$HV = 1,854 P/d^2,$$

где P – нагрузка, кгс; d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Алмазный наконечник должен соответствовать требованиям ГОСТ 9377 – 74.

Образцовые меры твердости для поверки прибора должны соответствовать требованиям ГОСТ 9031 – 63.

Поверхность испытуемого образца или детали должна быть свободной от оксидной пленки и посторонних загрязнений. Минимальная толщина образца для стальных изделий должна быть больше диагонали отпечатка в 1,2 раза, для изделий из цветных металлов – в 1,5 раза.

При измерении твердости алмазной пирамидой применяют следующие нагрузки: 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 50,0; 100,0 кгс. Продолжительность выдержки должна быть 10 – 15 с.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца или между соседними отпечатками должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка.

Обозначение твердости по Виккерсу складывается из следующих символов: индекса HV, величины приложенной нагрузки, кгс, длительности нагружения в секунду, указываемой после косой черточки. Сама величина твердости ставится после тире в конце обозначения.

Пример – HV 30/20 – 420 означает число твердости 420, полученное при нагрузке 30 кгс и времени выдержки 20 с.

При определении твердости по Виккерсу, как правило, пользуются таблицами, приведенными в ГОСТ 2999 – 75 (по измеренной диагонали отпечатка). Толщина образца или детали должна быть не менее 1 мм.

Порядок выполнения работы

1. На травленую поверхность образца V-образного сварного соединения, с помощью линейки и карандаша, аккуратно нанести точки в соответствии со схемой на рис. 2.

2. Размеченный образец поместить на координатную наковальню твердомера HV-1000.

3. Выставить испытательное усилие.

4. Поворотом ручки револьверного устройства необходимо выровнять линзы объектива с увеличением $10\times$ с осью поднимающейся винтовой штанги.

5. Поворотом подъемного маховика по часовой стрелке передвигать испытательный стенд, до тех пор пока четкое изображение поверхности образца для испытания не появится в окуляре микрометра.

6. Поворотом ручки револьверного устройства повернуть вращающуюся головку для выравнивания индентера относительно оси поднимающейся винтовой штанги.

7. Выбрать время приложения нагрузки (15 сек) и нажать кнопку приложения нагрузки, процесс испытания начнется, при этом на панели управления в ходе испытания будет отображаться следующее: нагрузка "▼", удержание нагрузки "▼", снятие нагрузки "▲". После завершения теста загорится световой индикатор снятия нагрузки.

8. Поворотом ручки револьверного устройства необходимо выровнять линзы объектива с увеличением $40\times$ с осью поднимающейся винтовой штанги.

9. Измерение диагонали отпечатка. Данная процедура проводится, как описано ниже:

9.1. Смотрите в окуляр микрометра (рис. 4).

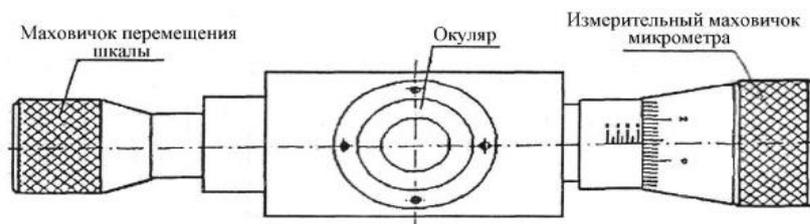


Рис. 4. Схема микрометра

9.2. Поверните маховичок перемещения шкалы и измерительный маховичок микрометра, смотрите при этом в окуляр микрометра (рис. 5). Когда две длинных линии

совместятся, то нулевая линия на измерительном маховичке микрометра должна совпасть с нулевой отметкой на корпусе микрометра. В противном случае вывинтите шестигранный стопорный винт на измерительном маховичке микрометра и, поворачивая маховичок, совместите нулевые отметки на маховичке и на корпусе микрометра. Заверните стопорный шестигранный винт, калибровка нулевой отметки завершена.

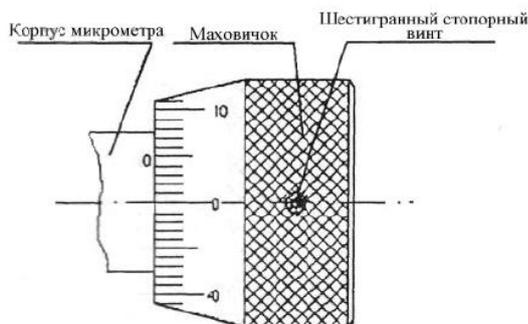


Рис. 5. Измерительный маховичок

9.3. Поверните маховичок перемещения шкалы, чтобы выставить одну линию касательно к одной из диагоналей отпечатка (рис. 6 а).

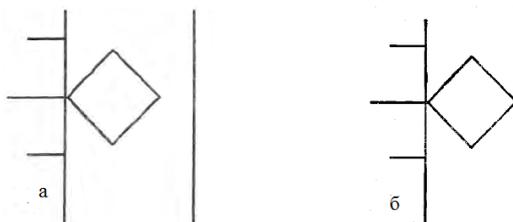


Рис. 6 Схема измерения диагоналей отпечатка

9.4. Вращайте измерительный маховичок микрометра до выставления второй линии касательно другого конца диагонали (рис. 6 б).

10. Отсчет значения величины диагонали: целые значения величины диагонали отсчитываются по шкале, расположенной на корпусе микрометра, сотые значения величины диагонали отсчитываются по шкале, расположенной на измерительном маховичке микрометра. Пример: 2 – значение считанное со шкалы, расположенной на корпусе микрометра, 0.14 – значение считанное со шкалы, расположенной на измерительном маховичке микрометра; величина диагонали отпечатка равна $2 + 0.14 = 2.14$, далее необходимо полученную величину разделить на коэффициент увеличения микрометра (для объектива $40\times$ он равен 40), после чего получаем истинное значение величины диагонали, т.е. $2.14 \div 40 = 0.0535$ мм.

11. Подставить полученные значения величин диагоналей и усилия испытания в формулу:

$$HV = 1,854 P/d_2,$$

где P – нагрузка, кгс; d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

С помощью калькулятора провести расчет.

12. Полученные значения твердости металла шва и ЗТВ необходимо сравнить с предельно допустимыми значениями нормативной документации (табл. 1).

Таблица 1

Предельно допустимые значения твердости металла сварных соединений
низкоуглеродистых, низколегированных сталей в соответствии с
СТО Газпром 2-2.2-136-2007

HV	
Металл шва	Металл ЗТВ
280	325

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты исследований. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. Что такое твердость?
2. Основные методы измерения твердости и их отличия?
3. Суть метода Виккерса?
4. Каковы требования к испытываемым образцам?
5. Преимущества метода Виккерса перед другими методами, при измерении твердости металла сварных соединений?
6. Порядок измерения твердости с помощью твердомера HV-1000?
7. Как твердость металла шва и ЗТВ влияет на работоспособность сварных соединений?
8. Как определяется допустимый/недопустимый уровень твердости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы:

1. Получить цифровые снимки микроструктуры сварных соединений с помощью видеоокуляра и программы обработки изображений.
2. Получить основные навыки цифровой обработки снимков микроструктуры сварных соединений.

Необходимое оборудование и материалы

1. Образец сварного V-образного соединения (травленный шлиф).
2. Микроскоп световой Микромед МЕТ.
3. Видеоокуляр DCM-510 SCOPE.
4. Персональный компьютер (ПК).
5. Программа обработки изображений ScopePhoto.

Содержание работы

Видеоокуляр DCM-510 SCOPE - это цифровая камера, которая дополняет и расширяет возможности обычного светового микроскопа. Камера позволяет получать изображения наблюдаемых образцов или проб и выводить их непосредственно на экран ПК в режиме реального времени.

ScopePhoto - это профессиональное программное обеспечение для обработки изображений. Программа обладает комплексом характеристик, специально предусмотренных для научного анализа изображений, захваченных камерой.

Полученные с помощью камеры изображения имеют большую научную и практическую ценность. Снимки являются прямым доказательством качества исследуемого объекта. Ни один современный материаловедческий отчет или научная статья не обходятся без использования снимков наблюдаемых макро- и микроструктур.

Порядок выполнения работы

1. Вставить в окулярную трубку микроскопа камеру DCM-510 SCOPE. Подключить камеру к ПК через USB порт.
2. Запустить на ПК окно программы ScopePhoto и вывести получаемое с камеры изображение на экран.
3. Поместить образец на предметный столик микроскопа Микро-мед MET и с помощью объектива 40× подробно изучить микроструктуру центральной части шва и зоны сплавления, схематично зарисовать увиденное.
4. Зафиксировать изображение и сохранить его в памяти ПК.

Содержание отчета

Составить письменный отчет, в котором отразить цели, ход и результаты работы. Сформулировать выводы.

Вопросы для проверки

1. С помощью чего получают цифровые снимки?
2. Назначение цифровых снимков?

Приложение А

Таблица 1

Химический состав различных марок конструкционных сталей

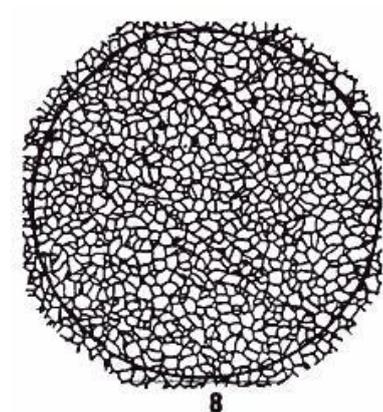
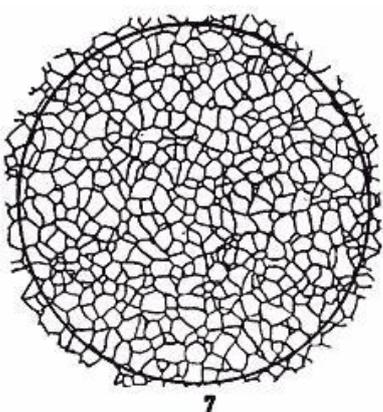
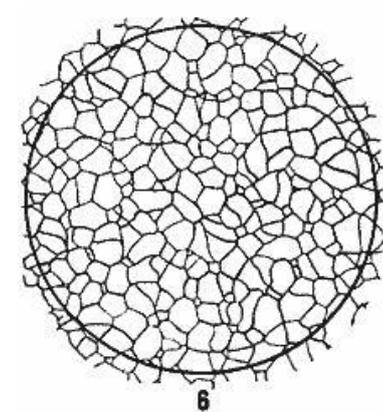
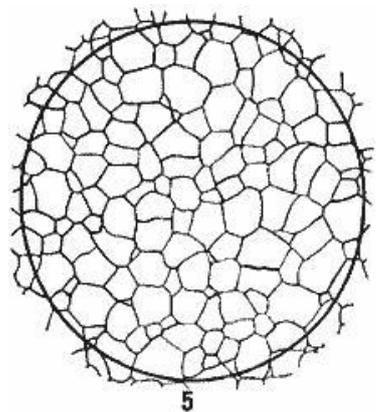
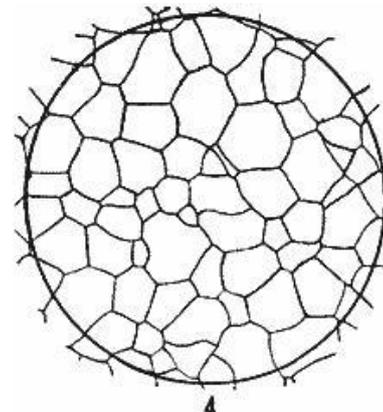
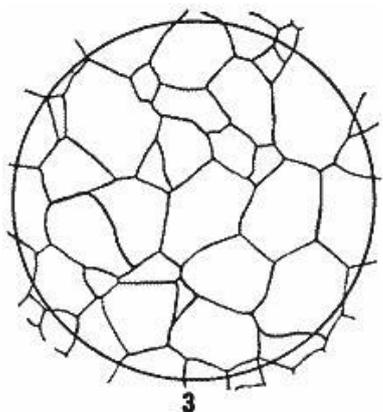
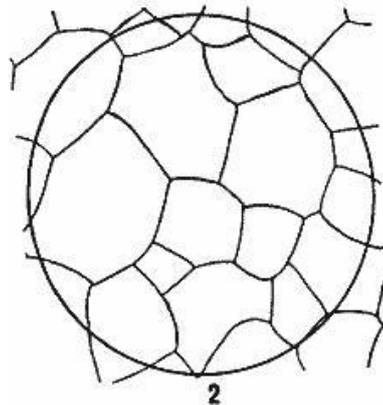
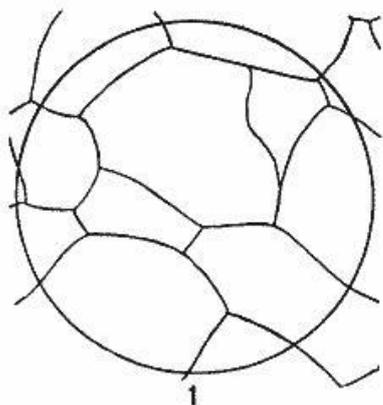
№	Марка	Химический состав, %								
		C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	V
1	СтЗсп	0.14 - 0.22	0.15 - 0.3	0.4 - 0.65	до 0.3	до 0.05	до 0.04	до 0.3	до 0.3	-
2	30ХГС	0.28-0.35	0.9 - 1.2	0.8 - 1.1	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.8 - 1.1	до 0.3	-
3	09Г2С	до 0.12	0.5 - 0.8	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.3	-
4	16Г2АФ	0.14 - 0.2	0.3 - 0.6	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.4	до 0.3	0.08-0.14
5	10ХСНД	до 0.12	0.8 - 1.1	0.5 - 0.8	0.5 - 0.8	до 0.04	до 0.035	0.6 - 0.9	0.4 - 0.6	-
6	10Г2СФБ	до 0.13	0.25 - 0.5	1.3 - 1.8	до 0.3	до 0.02	до 0.025	до 0.3	до 0.3	до 0.1
7	17Г1С	0.15 - 0.2	0.4 - 0.6	1.15 - 1.6	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.3	-
8	10Г2ФБЮ	0.09-0.12	0.15 - 0.5	1.55-1.75	до 0.3	до 0.006	до 0.02	до 0.3	до 0.3	0.08-0.12
9	40Х	0.36-0.44	0.17-0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.8 - 1.1	до 0.3	-
10	15ХМФА	0.13-0.17	0.17-0.37	0.45-0.65	до 0.2	до 0.01	до 0.015	0.5 - 0.7	до 0.2	0.04-0.09

Таблица 2

Химический состав наплавленного легированного металла

№	Химический состав, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Nb	Mo	Ti
1	0,12	0,75	1,0-2,0	17,0-19,0	11,0-13,0	-	-	-	0,02
2	0,07-0,12	0,6	1,0-2,0	15,0-18,0	13,0-15,0	2,0-2,75	0,9-1,3	-	-
3	0,2	1,0	2,0	22,0-25,0	12,0-15,0	-	-	-	-
4	0,08	0,6	1,0-1,5	15,5-17,0	8,5-10,0	-	-	1,0-1,5	-
5	0,32-0,4	1,5	2,0-3,0	17,0-19,0	23,0-26,0	-	-	-	-
6	0,12	0,08	2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	-	-	-	-
7	0,07	0,7	6,0-7,5	19,5-21,0	5,0-6,0	-	-	-	-
8	0,08	0,8	2,0	16,0-18,0	12,0-14,0	-	-	3,5-4,0	-
9	0,04	5,4-6,7	0,6	7,5-10,0	21,0-23,0	-	-	0,2	-
10	0,03	0,6	1,8-2,5	20,0-22,0	20,0-22,0	-	-	3,4-3,7	-

Приложение Б
Шкала оценки номера зерна, 100× (ГОСТ 5639-82)



Приложение В

Шкала оценки видманшеттовой структуры, 100× (ГОСТ 5640-68)

Балл 0



Балл 1



Балл 2



Балл 3



Балл 4



Балл 5



Учебное текстовое электронное издание

**Шекшеев Максим Викторович
Сычков Александр Борисович
Михайлицын Сергей Васильевич**

**СТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.
МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ И АНАЛИЗА**

Лабораторный практикум

1,37 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2016 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра машин и технологий обработки давлением и машиностроения
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru