

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для обучающихся Самарского университета по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение и специальностям 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение, 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

Составитель *Ю. А. Вашуков*

С А М А Р А

Издательство Самарского университета
2024

УДК 621.791.0(075)

ББК К641-18я7

В234

Составитель ***Ю. А. Ващуков***

Рецензент д-р техн. наук, доцент Е.А. Носова

В234 **Исследование структурно-механического состояния сварных соединений:** методические указания к лабораторной работе / сост. Ю.А. Ващуков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. – 16 с.: ил.

Рассмотрены основные особенности образования сварных соединений, влияние структурной неоднородности сварного шва на его механическое поведение. Приведена оценка механических свойств сварного шва по его твёрдости.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих процессы, связанные с производством сварных металлоконструкций, а также для всех интересующихся процессами исследования сварных соединений.

УДК 621.791.0(075)

ББК К641-18я7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ	
1.1 Особенности образования сварных соединений.....	5
1.2 Влияние структурной неоднородности сварного шва на его механическое поведение.....	6
1.3 Оценка механических свойств материала по твердости....	9
1.4 Исследование механизма разрушения сварных швов.....	10
2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ	
2.1 Последовательность выполнения работы.....	12
2.2 Оформление отчёта о проделанной работе.....	13
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	15

ВВЕДЕНИЕ

При разработке технологических процессов сварки необходимо проводить оценку физико-механических характеристик получаемых соединений. Одной из характеристик, позволяющих определить качество получаемых сварных швов, является твердость. Это объясняется отсутствием повреждаемости поверхности и локальностью измеряемого отпечатка. Последнее позволяет производить очень важные для исследователя измерения твердости структурных составляющих, оценивать твердость в объеме зерна и в приграничных зонах. Кроме того, по измерениям микротвердости оценивается поверхностная прочность сплавов при таких воздействиях, как изнашивание, окисление, коррозия.

Цель лабораторной работы:

- изучить макроструктуры сварных соединений, выполненных сваркой плавлением;
- изучить основные виды изломов сварных соединений;
- формирование количественной оценки влияния характера структурно-механической неоднородности на свойства сварных соединений;

Методическое указание предназначено для подготовки специалистов по направлениям подготовки 240304.62 «Авиастроение», 240507.65 «Самолето-и вертолетостроение», 240501.65 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», 270302.62 «Управление качеством», 150305.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» при изучении дисциплин, связанных с технологией сборочно-сварочных процессов.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1.1 Особенности образования сварных соединений

Механические характеристики сварных швов, как правило, сильно уступают характеристикам основного металла, что делает сварной шов наименее надежным местом всей конструкции. В сварном соединении, выполненном сваркой плавлением, обычно выделяют 4 характерные зоны (рисунок 1): металл шва, участок неполного расплавления, зону термического влияния и основной металл, не подвергшийся термическому воздействию.

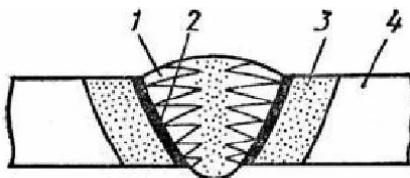


Рисунок 1 – Сварное соединение
1-сварной шов; 2-участок неполного расплавления;
3-зона термического влияния; 4-основной металл

Участок неполного расплавления 2 (Рис.1) представляет собой узкую полоску металла, в которой он в процессе сварки находится в твердожидком состоянии. Свойства этого участка и металла шва во многих случаях оказывают решающее влияние на работоспособность сварного соединения, так как здесь часто образуются трещины, ножевая коррозия, хрупкие разрушения и т. п. Ширина участка неполного расплавления невелика и для дуговой сварки составляет примерно 0, 1...0,5 мм.

Далее следует околосшовная зона 3 (Рис.1), называемая зоной термического влияния (ЗТВ). 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.

Большее влияние на механические свойства сварных соединений оказывают дефекты сварных соединений.

Согласно ГОСТ 30242–97 [3] дефекты, образующиеся при ручной дуговой сварке, делятся на шесть групп: трещины, поры, твердые включения, несплавления и непровары, нарушение формы.

1.2 Влияние структурной неоднородности сварного шва на его механическое поведение

Прочность сварного соединения и его эксплуатационные свойства во многом зависят от структурных изменений, которые происходят в ЗТВ. Для ЗТВ характерно неравномерное распределение максимальных температур нагрева. 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 [1] (рисунок 2).

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. Поэтому зона термического влияния неоднородна по структуре и механическим свойствам. Наиболее ослабленным является участок перегрева, примыкающий к зоне сплавления. Наилучшие механические свойства имеет участок нормализации, который следует за зоной перегрева. В целом механические свойства ЗТВ хуже, чем у основного металла, поэтому ее размеры ограничивают.

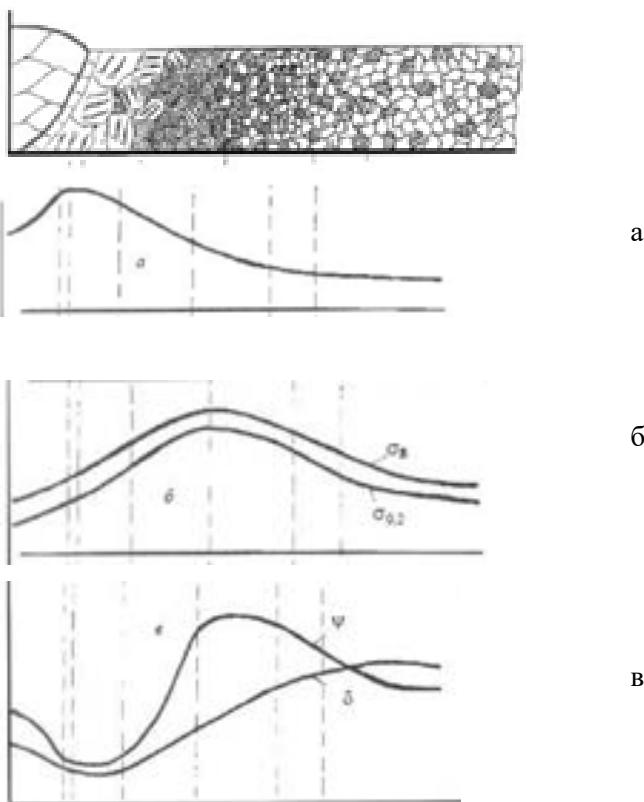


Рисунок 2 – Изменение механических свойств в металле шва
и околошовной зоне

Расстояние от оси шва в мм

а – изменение твердости Н; б – изменение предела прочности σ_B и предела текучести $\sigma_{0.2}$; в – изменение относительного сужения γ и пластичности δ

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.

При правильном выборе сварочных материалов и режимов сварки прочность сварных соединений может быть практически равной прочности основного металла, если протяженность разупрочненного участка и величина разупрочнения малы.

Свойства сварных соединений во многом определяются характером возникающей при их образовании структурно - механической неоднородности, определяемой взаимным расположением и размерами прослоек. Так, в зависимости от свойств свариваемых материалов, в сварных соединениях могут иметь место мягкие и твердые прослойки.

Под **мягкими прослойками** понимают участки металла, предел текучести которых ниже, чем у соседнего металла. Соответственно, участки металла, обладающего повышенным значением предела текучести, называют **твердыми прослойками**.

При нагружении сварного соединения прослойки сложным образом взаимодействуют между собой, в результате чего свойства сварного соединения в целом не совпадают со свойствами отдельных его участков.

Оценить характер распределения механических свойств по сечению сварного соединения можно проведением соответствующих испытаний отдельных его участков, либо с помощью дюрометрического метода, который позволяет определять механические характеристики металла в любой доступной точке диагностируемой конструкции за счет математической обработки геометрических характеристик параметров отпечатка на материале после определения твердости. Результаты замеров твердости позволяют косвенно судить о механических свойствах и структурном состоянии сварного соединения, а также определить размеры закаленных и отпущеных зон, степень упрочнения и разупрочнения металла в сварном соединении. Измерение твердости основного металла,

металла околошовной зоны и шва проводят на приборах Виккерса, Роквелла и Бринелля на макрошлифах поперечного сечения образцов [4].

Образец для измерений должен иметь тщательно зашлифованную плоскую поверхность, в которую вдавливается конус или шарик, а противоположная параллельная поверхность также должна быть ровной, зачищенной. Замеры твердости производят в соответствии с ГОСТ 6996-66 согласно схеме, представленной на рисунке 3.

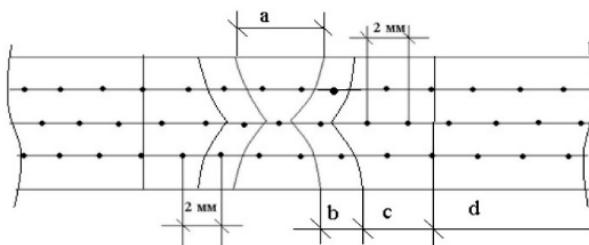


Рисунок 3 - Схема проведения измерений твердости в сварном соединении

1.3 Оценка механических свойств материала по твердости

Как известно, между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими механическими свойствами (главным образом, временным сопротивлением) существует количественная зависимость.

Характеристики предела прочности σ_b , предела текучести $\sigma_{0,2}$, относительного сужения Ψ и пластичности δ являются функциями пластической твердости H , которую определяют при помощи твердомера в соответствии с ГОСТ 6996-66.

Значения прочности σ_b , $\sigma_{0,2}$ вычисляют по формулам [1]:

$$\sigma_b = 95,5(\sqrt{122 + H} - 12,2), \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0,2} = K_s * H, \text{ МПа}$$

где K_s - безразмерный коэффициент, являющийся функцией модуля упругости E и коэффициента Пуассона μ . Для углеродистых сталей $K_s = 2$: H - пластическая твёрдость.

Относительное сужение γ и пластичность δ соответственно вычисляют по твердости, пользуясь выражениями [1]:

$$\Psi = \frac{6100}{H} + 36,6, \%$$

$$\delta = 1725 * H^{-0,79}, \%$$

Проведенные расчеты механических характеристик предела прочности σ_b , предела текучести $\sigma_{0,2}$, относительного сужения Ψ и пластичности δ позволяют выявить критические сечения сварного шва (в которых происходят разрушения), а также оценить потенциально опасные участки сварного оборудования, на которые во время диагностики следует обратить особое внимание. Таким образом, существует возможность выявления неравномерного (в некоторых случаях - скачкообразного) изменения механической прочности сварных соединений и образования различных дефектов под воздействием эксплуатационных факторов. Обнаружение микротрещин (или других опасных дефектов) определенного размера связано с возможностями современных методов неразрушающего контроля (НК).

1.4 Исследование механизма разрушения сварных швов

Исследование изломов швов производят невооруженным глазом или с помощью лупы. По виду и цвету поверхности свежего излома определяют наличие непроваров, раковин, пор, шлаковых включений, а также пластические свойства наплавленного металла.

Механизм разрушения сварных швов может быть вязким, хрупким или смешанным, его макроскопическое строение будет различным.

Макроскопический излом при вязком разрушении (вязкий излом) характеризуется волокнистостью, матовой, сильно шероховатой поверхностью и свидетельствует о значительной пластической деформации, предшествующей разрушению [2]. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла (рис. 4, а, I,

II). При хрупком разрушении (хрупкий излом) поверхность излома имеет кристаллическое строение и характерный блеск (рис. 4, б, I, II), поскольку разрушение протекает без заметной пластической деформации. Форма зерен не искажается и на хрупком изломе видны исходные форма и размер зерен металла. При смешанном разрушении поверхность образца состоит из участков обоих типов (рис. 4, в, I, II). Чем больше доля вязкой составляющей в изломе, тем выше сопротивление металла разрушению, тем большая деформация предшествует разрушению.

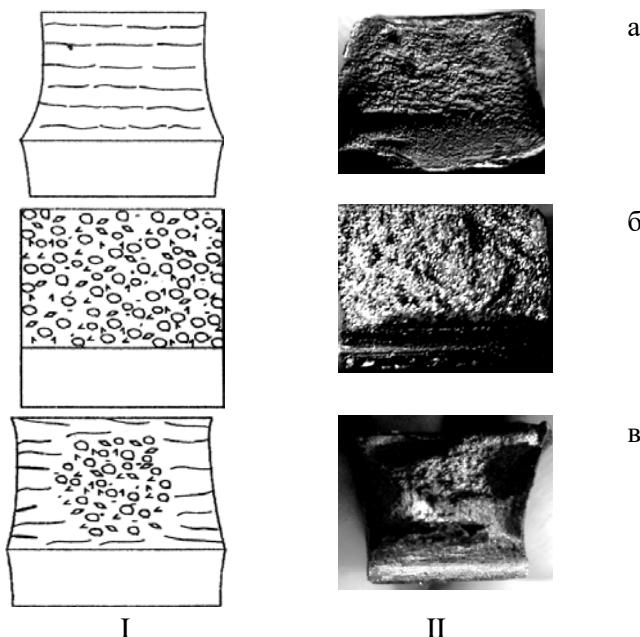


Рисунок 4 – Изломы сталей
а – вязкий; б – хрупкий; в – смешанный:
I – схема; II – макроизломы

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

2.1 Последовательность выполнения работы

Оснащение участка лабораторно-практической работы:

- оборудование - металлографические микроскопы МЕТАМ ЛВ-31, микротвердомер ПМТ-3, твердомер ультразвуковой К5У, комплекс оборудования для изготовления металлографических шлифов ГРИПО-1V, твердомер по МИКРО-ВИККЕРСУ HVS-1000;

- материалы - коллекция шлифов, приготовленных из образцов, сваренных различными способами, плакаты с видами дефектов сварных швов, реактивы;

Практическую часть работы рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Шлифы, изготовленные из сварных образцов, подвергнуть травлению 10...25 %-ным водным раствором азотной кислоты для выявления макроструктуры, которую исследовать невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 5 раз).

2. По макроструктуре определить форму и размеры шва, глубину проплавления, форму и размеры зерен, ширину ЗТВ, размеры крупных зерен в окколошовной зоне.

3. Ознакомиться с основными дефектами сварных швов (непровары, трещины, шлаковые включения и другие) и причинами их возникновения. Результаты представить в виде зарисовок макроструктуры с изображением выявленных дефектов.

4. Произвести переполировку и повторное травление шлифов 2.4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Микроструктуру исследовать на микроскопе МЕТАМ ЛВ-31. После травления изучить структуру шва и зоны термического влияния. Результаты исследований представить в виде зарисовок микроструктуры.

5. Изучить и зарисовать основные виды макроизломов (вязкий, хрупкий) поверхности образцов.

6. Для дюрометрического анализа подготовить 3 макрошлифа сварных соединений. Для идентификации характерных зон поверхность шлифов протравить.
7. Произвести измерение микротвердости на макрошлифах на приборе ПМТ-3 в поперечном направлении сварного соединения. Результаты измерений занести в таблицу и построить график распределения твердости по сечению сварного соединения и сделать общий вывод о качестве сварного соединения.
8. Сделать выводы и составить отчет о работе в соответствии с вышеуказанными пунктами.

2.2 Оформление отчёта о проделанной работе

Отчет должен содержать следующие пункты:

- цель и задачи работы.
 - особенности формирования структуры металла сварного шва, выполненного сваркой плавлением (конспективно).
 - структура и свойства зоны термического влияния (конспективно). Дополнить иллюстративным материалом, полученным самостоятельно.
 - результаты выполнения практической части работы.
- Дополнить иллюстративным материалом по результатам эксперимента, полученным самостоятельно или в команде.

Контрольные вопросы

1. Из каких зон состоит сварное соединение?
2. Назовите характерные условия плавления и кристаллизации металла сварочной ванны.
3. Чем характеризуется зона термического влияния сварного шва? От чего зависит величина зоны термического влияния?
4. В чём заключается дюрометрический метод оценки?
5. Какие характеристики механических свойств позволяет оценить дюрометрический метод?
6. Назовите основные механизмы разрушения сварных швов.
7. Чем характеризуется макроскопический излом при вязком разрушении?
8. Чем характеризуется макроскопический излом при хрупком разрушении?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пояркова, Е. В. Микроструктура и механические свойства сварного соединения: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун -т. - Оренбург: ОГУ, 2018. - 33 с.
2. Металловедение сварки: практикум для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» / сост.: Ф. И. Пантелейенко, Л. Ф. Керженцева. – Минск: БНТУ, 2018. – 57 с.

Нормативно-технические документы

3. ГОСТ 30242–97. Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения: дата введения 2003. 01.01. - Изд официальное. - ИПК Издательство стандартов, 2003. -8с.
4. ГОСТ Р 57180—2016 Сварные соединения. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры: дата введ. 2017.06.01 – Изд. официальное. - М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ, 2017. - 20 с.

Методические материалы

Вашуков Юрий Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Методические указания

Редакционно-издательская обработка
издательства Самарского университета

Подписано в печать 25.12.2024. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 1,0.

Тираж 27 экз.. Заказ. Арт. – 2(Р2М)/2024.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.