

Федеральное агентство по образованию

**Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет**

**В. Е. ГОРДИЕНКО, Е. Г. ГОРДИЕНКО,
С. А. СТЕПАНОВ, Ю. В. КНЫШЕВ**

СВАРКА

Часть II

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2009**

УДК 621.791.07

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. И. А. Иванов (ГОУ ВПО ПГУПС);
канд. техн. наук, доцент А. П. Орлов (СПбГАСУ)

Гордиенко, В. Е.

Сварка: учеб. пособие: лабораторный практикум / В. Е. Гордиенко,
Е. Г. Гордиенко, С. А. Степанов, Ю. В. Кнышев; СПбГАСУ. – СПб., 2009.
Ч. II: Дефекты сварных швов и контроль качества металла. – 46 с.

ISBN 978-5-9227-0165-5

Приведены указания по выполнению пяти лабораторных работ, описано изменение структуры и механических свойств сварных соединений, выполненных сваркой плавлением и давлением при изготовлении, монтаже и ремонте металлургических конструкций и оборудования, рассмотрены типичные дефекты сварных швов и методы контроля качества основного металла и сварных соединений. Предназначено для студентов механических и строительных специальностей.

Табл. 3. Ил. 14.

Рекомендовано Редакционно-издательским советом СПбГАСУ в качестве учебного пособия

ISBN 978-5-9227-0165-5

© В. Е. Гордиенко, Е. Г. Гордиенко,
С. А. Степанов, Ю. В. Кнышев, 2009
© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью настоящего практикума является изучение структуры и механических свойств сварных соединений, выполненных сваркой плавлением и давлением при изготовлении, монтаже и ремонте металлургических конструкций и оборудования, а также характерных дефектов сварных швов и методов контроля качества основного металла и сварных соединений.

Перед выполнением работ в лаборатории студенты должны ознакомиться с правилами техники безопасности. К выполнению лабораторной работы допускаются только подготовленные студенты, предварительно изучившие теоретический материал по учебнику и настоящему практикуму.

В ходе выполнения лабораторных работ студенты группами по 4–6 человек под руководством преподавателя или учебного мастера изучают технику и технологию контроля качества сварных соединений и основного металла, проводят необходимые операции по выявлению и оценке степени опасности дефектов.

По окончании лабораторной работы каждый студент индивидуально оформляет отчет о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые и графические ответы на поставленные вопросы. Работа считается выполненной после защиты ее у преподавателя.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА И ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЫ

Цель лабораторной работы – изучение структуры и механических свойств сварных соединений, выполненных сваркой плавлением и давлением.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) изучить особенности образования структуры металла шва и околошовной зоны в условиях сварки плавлением и давлением;
- 2) произвести сравнительный анализ изменений структуры и свойств сварных соединений, полученных сваркой плавлением и давлением, дать оценку их качества.

Оснащение участка лабораторной работы:

оборудование – металлографические микроскопы МИМ-6, МИМ-7, приборы для измерения твердости и микротвердости металла Роквелла и ПМТ-3;

- *материалы* – коллекция шлифов, приготовленных из образцов, сваренных различными способами, реактивы;
- *плакаты* – термодинамическая диаграмма распада аустенита малоуглеродистой стали, микрофотографии структур строительных сталей после различных условий охлаждения;
- *справочная литература* – справочники, ГОСТы.

В сварном соединении, выполненном сваркой плавлением, обычно выделяют 4 характерные зоны (рис. 1.1): металл шва, участок неполного расплавления, зону термического влияния и основной металл, не подвергшийся термическому воздействию.

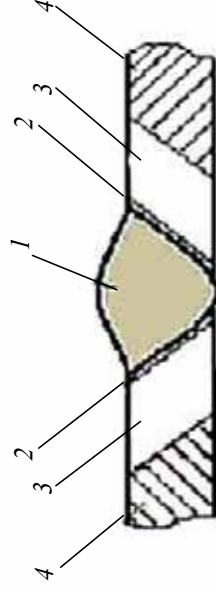


Рис. 1.1. Строение стыкового сварного соединения:

1 – металл шва, 2 – зона сплавления; 3 – зона термического влияния; 4 – основной металл

Разделение сварного соединения на отдельные зоны вызвано тем, что структура, а иногда и свойства металла шва и околошовной зоны после сварки отличаются от свариваемого металла в исходном состоянии.

1. Особенности структурообразования металла шва при сварке плавлением

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 – плавленном прострэнстве, которое перемещается вместе с источником теплоты. Плавленное прострэнство, 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 ковальному по своим пластическим и вязким свойствам, так как имеет более крупнозернистую структуру. Однако в отличие от слитков сварной шов обычно содержит меньше N₂, 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 представ-

ляет собой рост кристаллов в результате присоединения к их поверхности атомов из окружающей 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. 1.2).

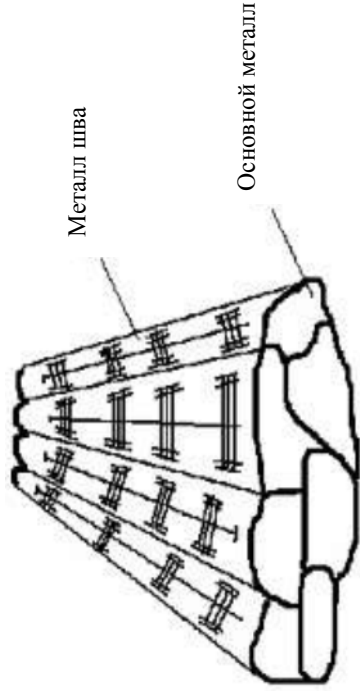


Рис. 1.2. Схема роста кристаллов от границы сплавления в сварочной ванне

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 магочный 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 сред-

ней части (рис. 1.3, а), а в широком – в верхней части (рис. 1.3, б). Вследствие этого влияние примесей в широком шве менее опасно.

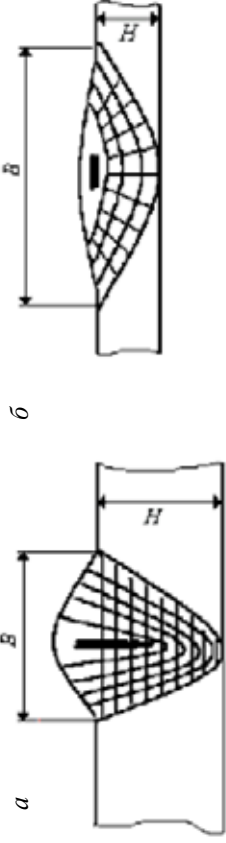


Рис. 1.3. Влияние формы шва на химическую неоднородность (ликвацию) металла: а – узкий шов; б – широкий шов

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 полосу металла, в которой он в процессе сварки находится в твердом состоянии. За время контакта жидкой и твердой фаз в нем протекают диффузионные процессы и развивается химическая неоднородность, а структура металла напоминает видманштеттову структуру (иллюстрационное расположение структурных составляющих). На этом участке, представляющем собой тонкую переходную полосу 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, 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 околошовная зона, называемая *зоной термического влияния* (ЗТВ).

2. Формирование структуры металла в зоне термического влияния сварных соединений

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 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).

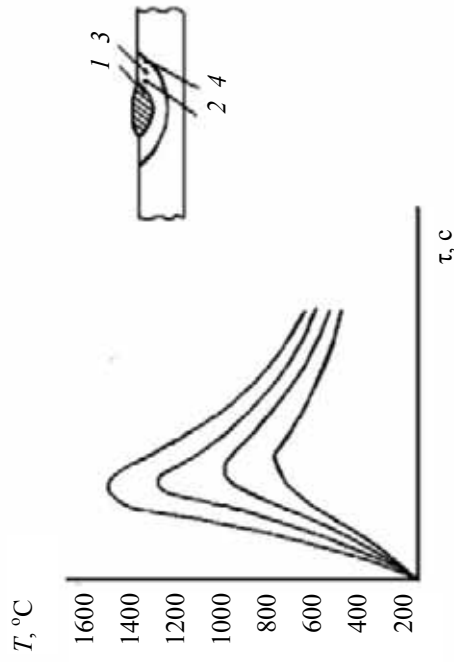


Рис. 1.4. Термический цикл при сварке плавлением: 1, 2, 3, 4 — точки, в которых измерялась температура

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.

Оценить общий характер возможных превращений, протекающих в ЗТВ при сварке низкоуглеродистых сталей, можно по диаграмме железо—цементит, а при различных скоростях охлаждения — по термокинетическим диаграммам распада аустенита, которые построены для большинства марок углеродистых и легированных сталей. Скорость охлаждения обычно оценивается в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита (500...550 °C). При малых скоростях охлаждения, соответствующих электродшлаковой и ванной сварке, превращение аустенита приводит к формированию структуры, состоящей из феррита и перлита. При средних скоростях охлаждения (автоматическая сварка под флюсом) в зависимости от марки стали образуются перлит и бейнит или бейнит и мартенсит с небольшим количеством феррита. При скорости охлаждения выше критической образуется только мартенсит. Мартенситное превращение сопровождается увеличением объема стали и возникновением больших напряжений, которые могут вызвать разрушение металла. В подобных случаях приходится принимать специальные меры к улучшению структуры металла ЗТВ и предотвращению образования мартенсита. Эти меры сводятся к изменению теплового режима в процессе сварки, выбору рациональной формы разделки кромок под сварку и последующей термообработке.

На рис. 1.5 показана схема структур, образующихся в зоне термического влияния при сварке стыкового соединения из малоуглеродистой стали за один проход.

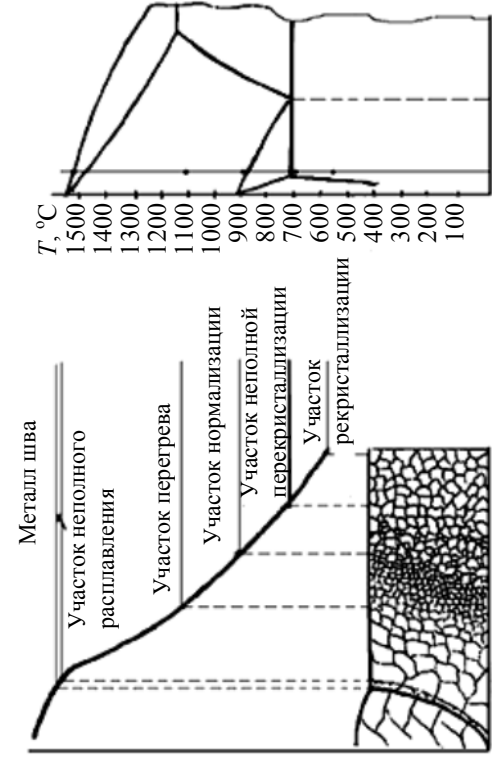


Рис. 1.5. Строение ЗТВ при сварке низкоуглеродистой стали

Над сечением шва показана кривая температур, а рядом – часть диаграммы железо–цементит в том же масштабе. В зависимости от температуры нагрева в ЗТВ различают следующие участки:

перегрева;
нормализации;
неполной перекристаллизации;
рекристаллизации.

Участок перегрева. Он включает металл, нагретый до температуры выше 1100 °С, т. е. несколько ниже температуры плавления. Металл на этом участке в процессе нагрева претерпевает аллотропические превращения (α -железа в γ -железо), сопровождающиеся ростом аустенитного зерна. В тех случаях, когда перегрев сочетается с последующим быстрым охлаждением (закалка), металл на этом участке после сварки обладает пониженной пластичностью и прочностью по сравнению с основным металлом. Участок особенно опасен для закаливающихся сталей, поэтому выбор рациональной технологии сварки сводится в первую очередь к обеспечению наименьшего ухудшения свойств на этом участке ЗТВ.

Участок нормализации (перекристаллизации). Этот участок охватывает металл, нагретый до температуры, немного превышающей температуру аллотропических превращений (900...1050 °С). Происходящий здесь процесс перекристаллизации при нагреве и охлаждении приводит

к значительному уменьшению зерен металла. Структура металла становится более мелкозернистой по сравнению с исходной. Механические свойства металла этого участка обычно лучше, чем основного металла. **Участок неполной перекристаллизации.** Он включает металл, нагретый до температур 700...850 °С. При этих температурах происходит частичная перекристаллизация, т. е. часть феррита остается в исходном состоянии, другая – образует аустенит. При последующем охлаждении и распаде аустенита образуется мелкозернистая структура, поэтому здесь, наряду с зернами основного металла, не изменившимися в процессе сварки, присутствуют зерна, образовавшиеся при перекристаллизации.

Участок рекристаллизации (старения). Он наблюдается при сварке сталей, предварительно подвергшихся пластической деформации (ковке, прокатке). Температурный интервал участка 450...650 °С. На этом участке ЗТВ происходит сращивание (укрупнение) раздробленных при нагретовке зерен основного металла и некоторое его разупрочнение по сравнению с исходным состоянием. При сварке изделий из литых рекристаллизованных не наблюдается. Для металлов и сплавов, склонных к старению, необходимо учитывать некоторое снижение пластичности на этом участке.

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.

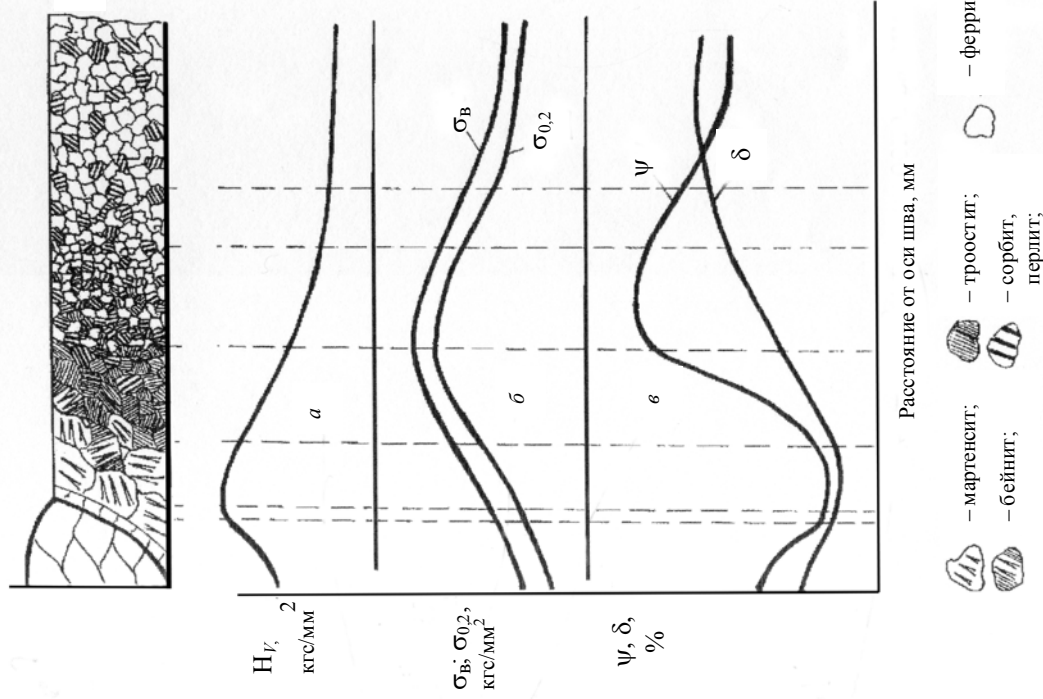


Рис. 1.6. Изменение механических свойств в металле шва и околошовной зоне: а – твердость; б – прочность; в – пластичность

В последние годы в строительстве возрос объем сварочных работ с применением углеродистых и низколегированных сталей, поставляемых в термоупрочненном состоянии. По сравнению с горячекатаным термоупрочненным металлом (закаленным и отпущенным при определенной температуре) имеет более высокие механические свойства и более низкую температуру хладноломкости.

При сварке такой стали в зоне термического влияния может наблюдаться разупрочнение (рис. 1.7). Протяженность разупрочненной зоны («мягкой прослойки») и величина разупрочнения оказывают большое влияние на прочностные свойства сварного соединения. При правильном выборе сварочных материалов и режимов сварки прочность основного металла, если протяженность разупрочненного участка и величина разупрочнения малы.

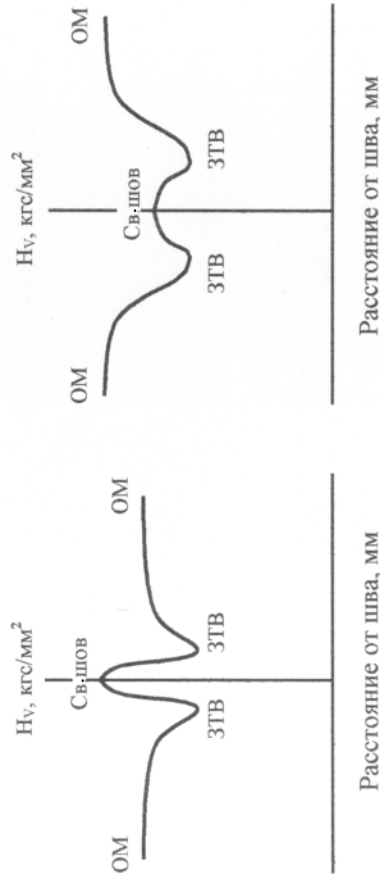


Рис. 1.7. Схема возможных вариантов распределения твердости в сварном соединении: ОМ – основной металл; св. шов – сварной шов, ЗТВ – зона термического влияния

При сварке давлением (например, контактная сварка) сварной шов может иметь как литую структуру, так и пластически деформированную. Например, при контактной точечной сварке прохождение тока вызывает разогрев и расплавление металла в зоне сварки, создающее ядро сварной точки. Точечная сварка низкоуглеродистой стали без расплавления металла хотя и возможна, но недостаточно надежна и поэтому на практике почти не применяется.

Диаметр ядра, определяющий в основном прочность сварной точки, зависит от диаметра рабочей поверхности электрода, толщины листов, давления, силы тока и времени его прохождение. При неправильном режиме сварки может не произойти достаточного расплавления металла, и получается непроваренная точка. Когда ядро расплавляется, прилегающая к нему по окружности зона металла находится в пластическом состоянии и плотно сжимается давлением электродов. Давление создает уплотняющее кольцо пластического металла, удерживающего жидкий металл ядра. При недостаточном давлении уплотняющее кольцо не может удерживать жидкий металл ядра, и происходит внутренний выброс (выплеск) металла в зазор между листами.

Кристаллизация жидкого металла происходит так же, как и при электродуговой сварке, т. е. от поверхности ядра к его середине. Ядро имеет столбчатую дендритную структуру. При охлаждении и затвердевании происходит уменьшение объема расплавленного металла ядра. В результате в центральной части ядра могут образовываться усадочная раковина, пористость и рыхлость металла. Чем толще металл, тем сильнее неблагоприятное влияние усадки. Наиболее надежным способом борьбы с этим явлением может служить повышение рабочего давления.

При сварке давлением также имеется ЗТВ, однако ее общие размеры относительно малы и не оказывают решающего влияния на прочность сварного соединения.

Практическую часть работы рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Шлифы, изготовленные из сварных образцов, подвергаются травлению 10...25 %-ным водным раствором азотной кислоты для выявления макроструктуры, которую исследуют невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 5 раз).
2. По макроструктуре определяют форму и размеры шва, глубину проплавления, форму и размеры зерен, ширину ЗТВ, размеры крупных зерен в околошовной зоне.
3. Выявляют дефекты сварного соединения: непровары, трещины, шлаковые включения и др. Результаты представляют в виде зарисовок макроструктуры с изображением выявленных дефектов.
4. Производят переполровку и повторное травление шлифов 2...4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Микроструктуру исследуют на микроскопах МИМ-6, МИМ-7. До травления на полированной поверхности шлифа исследуются распределение и характер

неметаллических включений (S, P и т. д.). После травления изучается структура шва и ЗТВ: определяются структурные составляющие (феррит, перлит, сорбит и др.) и их относительное количество. Результаты исследований представляют в виде зарисовок микроструктуры.

5. Производят измерение твердости на приборе Роквелла или микротвердости на приборе ПМТ-3 в поперечном направлении сварного соединения. Результаты измерений заносятся в таблицу и строится график распределения твердости по сечению сварного соединения. Распределение твердости сопоставляется со схемой микроструктур и делается общий вывод о качестве сварного соединения.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Особенности формирования структуры металла сварного шва, выполненного сваркой плавлением (конспективно).
3. Структура и свойства зоны термического влияния (конспективно).
4. Результаты выполнения практической части работы.
5. Выводы по работе.

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

Цель лабораторной работы – изучение характерных дефектов сварных швов, причин их возникновения в сварных конструкциях, методов и приборов для их выявления.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) изучить характерные дефекты, образующиеся в сварных соединениях и причины их возникновения, оценить роль и степень влияния дефектов на работоспособность сварных металлоконструкций;
- 2) на макро- и микрошлифах, по фотографиям научиться определять вид дефектов;
- 3) на натуральных образцах выявить дефекты и дать заключение о пригодности сварного соединения.

Оснащение участка лабораторной работы:

- *оборудование* – набор инструментов и приборов для визуального и измерительного контроля (нутромеры метрические, лулы оптические с 4–6-кратным увеличением, лулы измерительные с 10-кратным увеличением, измерительные металлические линейки, угольники, штангенциркули, шурупы, радиусомеры, универсальный шаблон сварщика);
- *материалы* – натурные образцы с дефектами, макро- и микрошлифы сварных швов, альбом фотографий с характерными дефектами;
- *плакаты* – схемы дефектов сварных швов;
- *справочная литература* – выписки из инструкции по визуальному и измерительному контролю, акты проведения визуального и измерительного контроля, ведомость дефектов, справочники, ГОСТы.

1. Классификация сварочных дефектов

По месту расположения дефекты бывают *внешние* и *внутренние*. Внешние дефекты, в отличие от внутренних, могут быть обнаружены наружным осмотром.

К внешним дефектам относятся нарушение установленной формы и размеров шва, подрезы, прожоги, наплывы, внешняя пористость, незаваренные кратеры, шлаковые включения и трещины на поверхности шва.

К внутренним дефектам относятся поры, неметаллические включения, непровары, пережог и перегрев металла шва, а также внутренние трещины.

Непровар – это дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва (рис. 2.1, а). Непровар не только уменьшает рабочее сечение сварного шва, но и является концентратором напряжений, способствующих зарождению и развитию трещин.

Подрез зоны сплавления – это дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом (рис. 2.1, б). Он образуется из-за завышенного сварочного тока и напряжения на дуге, смещения электрода от оси шва и т. д. Подрезы, уменьшая сечение основного металла вблизи линии сплавления, значительно снижают прочность сварного соединения. Наиболее опасны подрезы в конструкциях из высокопрочных сталей, чувствительных к концентраторам напряжений.

Наплыв – это дефект в виде натекания металла шва на поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним (рис. 2.1, в). Наплывы особенно опасны в изделиях, работающих при знакопеременных или пульсирующих нагрузках, так как становятся местами зарождения усталостных трещин.

Нарушение формы и размеров сварного шва. Форма и размеры швов обычно зависят от толщины свариваемого металла. Их задают техническими условиями и указывают на чертежах. В частности, при сварке плавлением регламентируют:

- для стыковых швов – ширину шва, высоту выпуклости и глубину проплавления;
- для угловых – катет шва и высоту рабочего сечения.

Вогнутость или чрезмерная выпуклость шва. Для обеспечения нормальной работы конструкции стыковые швы должны иметь небольшую выпуклость (1...3 мм) с плавными очертаниями (рис. 2.1, г). Избыточная выпуклость приводит к концентрации напряжений и снижению работоспособности сварного соединения.

Грубая чешуйчатость и неравномерность ширины шва (рис. 2.1, д, е) обычно наблюдаются при сварке в монтажных условиях вследствие стекания жидкого металла под действием сил тяжести, нестабильности горения дуги. К числу дефектов геометрической формы можно отнести также неполномерность и несимметричность сварных швов.

Дефекты формы швов возникают из-за нарушения скорости подачи проволоки при автоматической сварке, неравномерности зазора и угла скоса кромок, неточного направления электрода относительно зазора и угла и низкой квалификации сварщиков.

Трещина сварного соединения – это дефект в виде разрыва в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах.

Кристаллизационные (горячие) трещины зарождаются в процессе первичной кристаллизации и развиваются при остывании металла. Они бывают продольными и поперечными по отношению к оси шва. На появление этих трещин влияют химический состав металла шва, форма сварочной ванны, размеры первичных кристаллов, ширина температурного интервала хрупкости, величина и темп нарастания сварочных растягивающих напряжений в процессе кристаллизации металла.

Холодные трещины образуются в сварных соединениях при остывании металла ниже 200 °С. Основными причинами их возникновения являются образование закалочных структур и наличие водорода в металле шва.

Трещины являются наиболее опасным и недопустимым дефектом в сварных соединениях. Острые края трещин при соответствующих условиях способствуют их развитию, что приводит к разрушению конструкций.

Пора в сварном шве – это дефект шва в виде полости округлой формы, заполненной газом. Поры возникают в процессе кристаллизации металла сварочной ванны вследствие выделения из жидкого металла газов.

Поры являются менее опасным дефектом, чем трещины, но их нельзя допускать в сварных швах изделий, работающих под давлением или в вакууме, а также предназначенных для транспортирования и хранения жидких и газообразных продуктов.

Шлаковые включения – это дефект в виде вкрапления шлака в сварном шве. Шлаковые включения, так же как и поры, ослабляют сечение шва, уменьшают его прочность и являются концентраторами напряжений. Они образуются из-за некачественных материалов, незачищенных кромок свариваемого металла, неполного удаления шлака при многослойной сварке.

Прожог сварного шва – это дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся в результате вытекания части металла сварочной ванны. Прожоги образуются от чрезмерно высокой погонной энергии, неравномерной скорости сварки и т. д.

Свищ в сварном шве – это дефект в виде воронкообразного углубления в сварном шве.

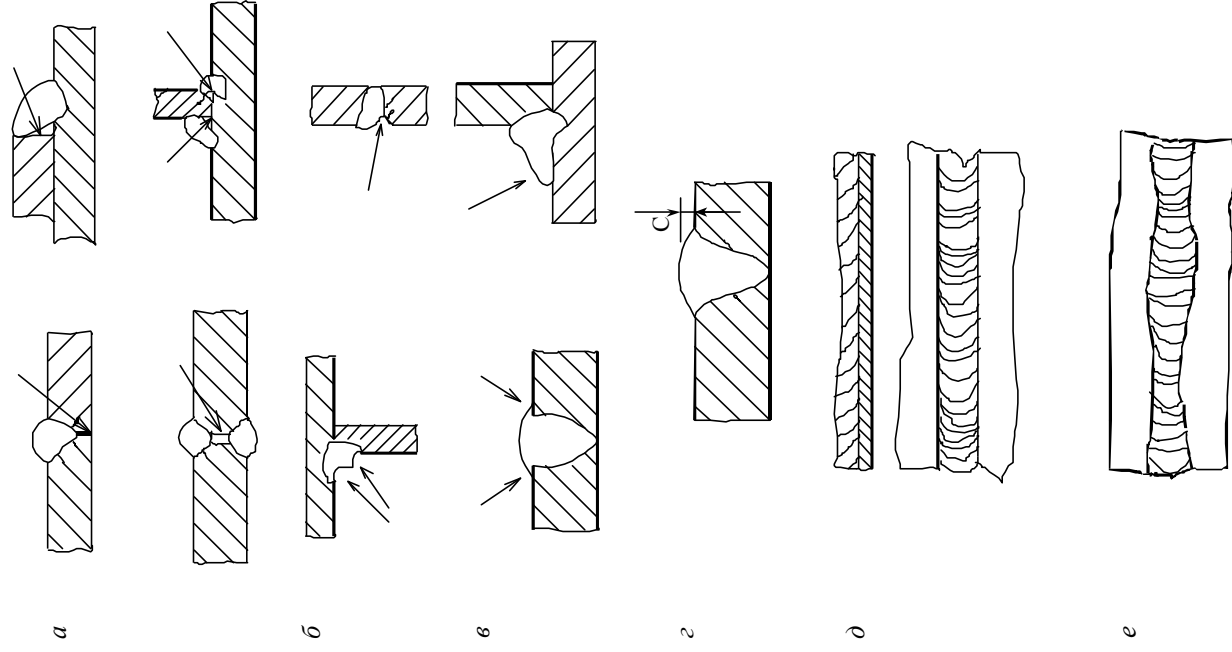


Рис. 2.1. Дефекты сварных соединений:
a – непровары; *б* – подрезы; *в* – наплывы; *г* – усиление шва;
д – грубая чешуйчатость; *е* – неравномерная ширина шва

2. Влияние дефектов на работоспособность сварных соединений

Наличие дефектов в сварных соединениях само по себе еще не говорит о потере их работоспособности.

Степень влияния дефектов зависит от большого числа конструктивных и эксплуатационных факторов: свойств свариваемого материала, конструкции соединения; схемы нагружения; концентраторов напряжений; вида нагрузки; агрессивности среды; температурных воздействий; вероятности и опасности отказа.

Как правило, при статических (а тем более при динамических) нагрузках наличие трещин любой величины не допускается в сварных конструкциях, так как дефекты такого рода способствуют концентрации внутренних напряжений и легко распространяются вглубь металла. Исправление возможно только при наличии единичных трещин; сварное соединение с множественными трещинами исправлению не подлежит. Для ликвидации единичной трещины предварительно засверливают металл на расстоянии примерно 30...50 мм от ее концов. Затем делают разделку трещины, подогревают участки металла на ее концах до температуры 100...150 °С и одновременно заваривают подготовленную таким образом трещину.

Участки швов с множественными трещинами должны полностью удаляться, стыки трубопроводов с трещинами длиной более 100 мм полностью вырезаться, а при более коротких трещинах вырубаться или выплавляться и завариваться вновь.

Поры становятся очагами усталостных разрушений, в первую очередь, в угловых, стыковых и поперечных швах с высокими растягивающими остаточными напряжениями. Например, в сварных швах трубопроводов высокого давления не допускаются одиночные поры, сплошная цепочка или сетка (независимо от длины и площади) размером более 5 % толщины стенки при ее толщине до 20 мм и свыше 1 мм при большей толщине стенки в количестве, превышающем две на каждые 100 мм шва.

В нахлесточных соединениях поры практически не влияют на их выносливость.

Для сварной конструкции места расположения пор играют большую роль, чем их размеры.

Степень влияния подрезов на усталостную прочность зависит от глубины подреза, величины остаточных напряжений и вида сварного

соединения. Так, у трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов допускаются подрезы в местах перехода сварного шва к основному металлу глубиной не более 1 мм. На одном стыке допускается подрез общей протяженностью не более 30 % длины шва.

Отрицательное влияние на прочность сварных соединений оказывают также шлаковые включения, значительные по величине и острой по форме.

Виды, число и размеры допускаемых внутренних дефектов зависят от назначения конструкции.

В сварных соединениях металлических конструкций промышленности и гражданских зданий и сооружений допускаются непровары по сечению швов в соединениях:

- доступных при сварке с двух сторон – глубиной до 5 % толщины металла, но не более 2 мм при длине непровара не более 50 мм и общей длине участков непровара не более 200 мм на 1 м шва;
- доступных при сварке с одной стороны (без подкладок) – глубиной до 15 % толщины металла, если она не превышает 20 мм, и не свыше 3 мм при толщине более 20 мм.

У трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов сварные швы бракуются:

- при обнаружении трещин любых размеров и направлений, свищей, сетки или цепочки пор, шлаковых или других инородных включений, непровара в корне шва, межваликовых несплавлений;
 - непроваре при одностороннем шве безподкладного кольца глубиной более 10 % толщины стенки трубы, если она не превышает 20 мм, и более 2 мм при толщине стенки свыше 20 мм;
 - одиночных порах, включениях вольфрама размером свыше 10 % толщины стенки, если толщина не превышает 20 мм, а также при количестве норм включений более 3 шт. на каждые 100 мм шва.
- Примерно такими же являются браковочные признаки для трубопроводов высокого давления.

В швах, выполненных стыковой контактной сваркой и другими пресовыми способами, наиболее опасными для работы конструкцией являются непровар, связанный с нарушениями технологического режима, а также скопления окислов, рыхлости и пережоги в зоне стыка.

В сварных швах не допускаются:

- трещины любых размеров и направлений;

- свищи, подрезы глубиной более 0,5 мм на металле толщиной до 10 мм и более 1 мм – на металле толщиной свыше 10 мм и общей длине более 20 % длины шва;
- незаглавленные кратеры, прожоги;
- непровары по кромкам, сечению шва, в вершине шва в соединениях, доступных для сварки с двух сторон или на подкладке.

В соединениях металлических конструкций допускается в этом случае непровар глубиной 5 % толщины металла, но не более 2 мм, длиной до 50 мм при расстоянии между непроварами более 250 мм и общей длине участков не более 200 мм на 1 м шва.

В конструкциях из высокопрочных сталей не допускаются:

- непровары в вершине шва в соединениях, доступных для сварки только с одной стороны, если их глубина превышает 15 % толщины металла, в металле толщиной свыше 20 мм не более 3-х мм, а длина – 200 мм на 1 м шва;
 - непровары в трубопроводах высокого давления;
 - скопления газовых пор (более 5 на 1 см²) при общей пористости более 5 см² на длине шва 0,5 м;
 - шлаковые включения при суммарной длине цепочки более 200 мм на 1 м шва;
 - непровары, поры и шлаковые включения в одном сечении, если доступ к шву только с одной стороны, с суммарной величиной более 15 % толщины металла или более 3 мм в металле толщиной свыше 20 мм.
- В соединениях технологических трубопроводов и во всех случаях газовой сварки недопустимы названные выше дефекты при их глубине более 10 % толщины металла.

Практическая часть раздела состоит в освоении методики визуального поиска дефектов в сварном шве натурального образца и измерении параметров обнаруженных дефектов.

Рекомендуемый порядок выполнения:

- 1) изучить по плакатам и схемам типичные дефекты сварных швов;
- 2) ознакомиться с инструментами и приборами для визуального и измерительного контроля;
- 3) на натурном образце определить вид дефектов и провести измерение их параметров и координат;
- 4) полученные результаты занести в акт контроля и сверить с требованиями нормативно-технической документации.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Привести краткую характеристику основных дефектов сварных швов с указанием причин их возникновения (конспективно).
2. Оценить роль и степень влияния дефектов на работоспособность сварных соединений (конспективно).
3. На основании проведенных исследований по обнаружению дефектов на натурных образцах заполнить акт визуального и измерительного контроля.
4. Схематично зарисовать обнаруженные дефекты.
5. Сделать вывод о пригодности сварного соединения к дальнейшей эксплуатации на основании требований нормативно-технической документации.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель лабораторной работы – изучение приборов и методик ультразвукового контроля качества сварных соединений.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) изучить разрушающие и неразрушающие методы контроля качества сварных соединений, их технологические возможности и области рационального применения;
- 2) ознакомиться с устройством и принципом работы ультразвукового дефектоскопа УД-102, а также с правилами его эксплуатации;
- 3) освоить методику УЗ-контроля, провести контроль качества сварного соединения, обработать и оформить полученные результаты.

Оснащение участка лабораторной работы:

- *оборудование* – ультразвуковой дефектоскоп «Пеленг» УД 2-102 со стандартным образцом СО-3Р, ультразвуковой толщиномер «Взлет-УТ-М», пьезоэлектрические преобразователи с разными частотами и углами ввода, измерительная линейка, штангенциркуль);
- *материалы* – натурные образцы с искусственными и сварочными дефектами, макро- и микрошлифы сварных швов, альбом фотографий с характерными дефектами, бумага наждачная, техническое масло, ветошь;
- *справочная литература* – выписки из инструкции по устройству и эксплуатации ультразвукового дефектоскопа «Пеленг» УД 2-102, ультразвукового толщиномера «Взлет-УТ-М», инструкции по технике безопасности при работе с ультразвуковыми дефектоскопом и толщиной, плакаты, справочники, АРД-диаграммы, нормативно-техническая документация, карты ультразвукового контроля, ведомость дефектов.

1. Методы контроля качества сварных соединений

Под контролем качества сварки подразумеваются проверка условий и порядков выполнения сварочных работ, а также определение качества выполненных сварных соединений в соответствии с техническими требованиями.

В сварочном производстве применяют следующие виды контроля: входной (предупредительный), текущий (пооперационный) и приемочный (выходной) готовых изделий и узлов.

Цель *входного контроля* – уменьшить вероятность возникновения брака при выполнении сварочных работ (контроль документации, качества исходных и сварочных материалов, квалификации сварщиков и т. д.).
Текущий контроль осуществляется в процессе сборочно-сварочных работ.

Приемочный, или выходной контроль, осуществляется для выявления наружных и внутренних дефектов сварки.

Различают *разрушающие* и *неразрушающие* методы контроля качества сварных соединений.

Разрушающие методы контроля качества сварных соединений

Разрушающие испытания проводят на образцах-свидетелях, моделях и реже на самих изделиях для получения информации, прямо характеризующей прочность, качество или надежность соединений. К их числу относятся: механические испытания, металлографические исследования, химический анализ и специальные испытания. Эти методы применяют главным образом при разработке технологии изготовления металлических конструкций или для выборочного контроля готовой продукции.

Механические испытания предусматривают статические испытания различных участков сварного соединения на растяжение, изгиб, твердость и динамические испытания на ударный изгиб и усталостную прочность.

Металлографические исследования проводят для установления структуры металла сварного соединения и наличия дефектов.

При *макроструктурном методе* определяют характер и расположение видимых дефектов в разных зонах сварных соединений путем изучения макрошлифов и изломов металла невооруженным глазом или с помощью лупы.

При *микроструктурном анализе* исследуют структуру металла на полированных и травленных реактивами шлифах при увеличении в 50...2000 раз. Такие исследования позволяют обнаружить пережог металла, наличие окислов по границам зерен, сульфидных и оксидных вклю-

чений, размеры зерна, микроскопические трещины и другие дефекты структуры.

Химический анализ позволяет установить состав основного и наплавленного металла, электродов и их соответствие ТУ на изготовление сварного соединения.

Специальные испытания проводят для получения характеристик сварных соединений, учитывающих условия эксплуатации (коррозионная стойкость, ползучесть металла при воздействии повышенных температур и др.).

Неразрушающие методы контроля качества сварных соединений

При неразрушающих испытаниях оценивают те или иные физические свойства, косвенно характеризующие прочность или надежность сварного соединения. Неразрушающие методы (ими проверяется более 80 % сварных соединений) применяют, как правило, после изготовления изделия для обнаружения в нем дефектов. К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относятся: внешний осмотр, радиационный, ультразвуковой и магнитный контроль, контроль на непроницаемость и ряд других методов, имеющих ограниченное применение.

Внешнему осмотру подвергается 100 % сварных соединений. Осмотр выполняют невооруженным глазом или с помощью лупы, используя шаблоны и мерительный инструмент. При этом проверяются геометрические размеры швов, наличие подрезов, трещин, непроваров, кратеров и других наружных дефектов.

Контролю на непроницаемость подвергают трубопроводы и емкости, предназначенные для транспортирования и хранения газов и жидкостей и, как правило, работающие при избыточном давлении.

Пневматические испытания основаны на создании с одной стороны шва избыточного давления воздуха (10...20 кПа) и промазывании другой стороны шва мыльной пеной, образующей пузыри под действием проникающего через неплотности сжатого воздуха. Негерметичность можно также оценить по падению давления воздуха в емкости, снабженной манометром.

Вид гидравлического испытания зависит от конструкции изделия. Налив воды применяют для испытания на прочность и плотность вертикальных резервуаров, газгольдеров и других сосудов с толщиной стенки

не более 10 мм. Воду наливают на полную высоту сосуда и выдерживают не менее 2 ч. Поливку из шланга с брандспойтом под давлением не ниже 0,1 МПа подвергают сварные швы открытых сосудов. При испытании с дополнительным гидростатическим давлением последнее создают в наполненном водой и закрытом сосуде с помощью гидравлического насоса. Величину давления определяют по техническим условиям и правилам Котлонадзора. Дефектные места устанавливают по наличию капели, струек воды и отпотеваний.

Внутренние дефекты сварных соединений выявляют *просвечиванием рентгеновскими лучами* (толщина металла до 60 мм (рис. 3.1)), или *гамма-лучами* (толщина металла до 300 мм (рис. 3.2)). Выявление дефектов основано на различном поглощении рентгеновского или гамма-излучения участками металла с дефектами и без них. Результаты фиксируются на пленке или выводятся на специальный экран. Размеры выявляемых дефектов: при рентгенографии – 1...3 % от толщины металла, при радиографии – 2...4 %.

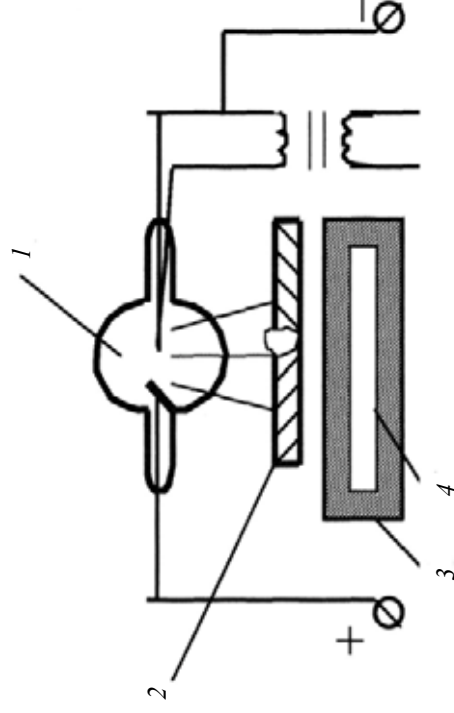


Рис. 3.1. Рентгенографический контроль сварных соединений:
1 – рентгеновская трубка; 2 – сварное соединение; 3 – кассета; 4 – пленка

При оценке качества швов рекомендуется иметь эталонные снимки характерных дефектов для разных толщин металла. Альбомы эталонных снимков утверждаются инспекцией Ростехнадзора и являются неотъемлемой частью ТУ на приемку изделий.

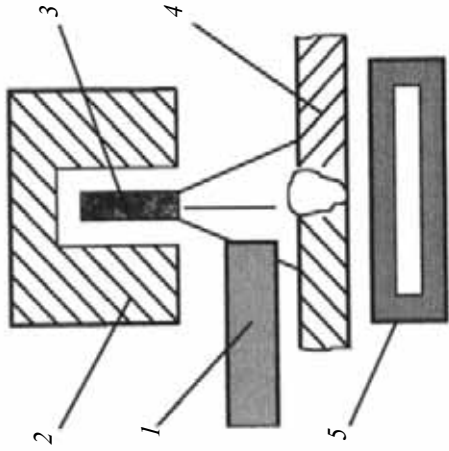


Рис. 3.2. Схема просвечивания гамма-лучами:
1 – затвор; 2 – свинцовая капсула; 3 – капсула с веществом;
4 – сварное соединение; 5 – касета с пленкой

Магнитографический контроль основан на обнаружении полей рассеивания, образующихся в местах расположения дефектов при намагничивании контролируемых сварных соединений (рис. 3.3). Поля рассеивания фиксируются на эластичной магнитной ленте, плотно прижатой к поверхности шва. Запись производят на дефектоскопе. Магнитографический контроль можно применять только для проверки сварных соединений металлов и сплавов небольшой толщины, обладающих ферромагнитными свойствами. Выявляют поверхностные и подповерхностные макротрещины, непровары, поры и шлаковые включения глубиной 2...7 % на металле толщиной 4...12 мм. Менее четко обнаруживаются поры округлой формы, широкие непровары (2,5...3 мм), поперечные трещины, направление которых совпадает с направлением магнитного потока.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых колебаний (механические колебания частотой 16...25 МГц) отражаться от поверхности, разделяющей среды с разными акустическими свойствами. Для получения ультразвуковых колебаний используют свойство титаната бария, кристаллов кварца и некоторых других веществ преобразовывать электрические колебания в механические и наоборот (обратный и прямой пьезоэффекты).

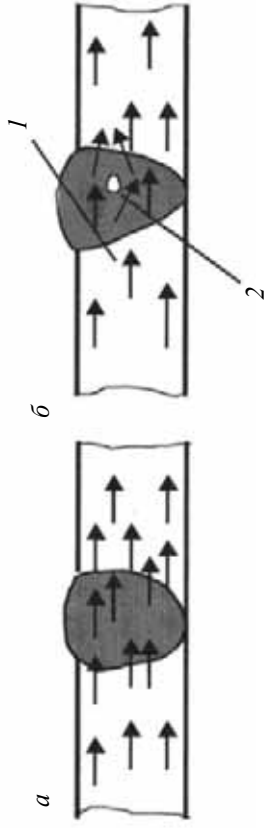


Рис. 3.3. Схема прохождение магнитного потока в сварном соединении:
а – при отсутствии дефекта; б – при наличии дефекта; 1 – поле магнитного рассеяния; 2 – дефекты шва

Ультразвуковой контроль имеет определенные преимущества перед радиационными методами: высокую чувствительность (площадь обнаруживаемого дефекта 0,2...2,5 мм² при толщине металла до 10 мм и 2...15 мм² при больших толщинах), возможность контроля при одностороннем доступе к шву, высокую производительность, возможность определения точных координат залегания дефекта, мобильность аппаратуры.

Основным методом УЗ-контроля является эхо-метод. Этим методом контролируют около 90 % всех сварных соединений толщиной более 4 мм.

На рис. 3.4 представлена принципиальная схема УЗ-контроля эхо-импульсным методом с совмещенной схемой включения искателя и приемника. Импульсный генератор 1 формирует короткие электрические импульсы с длинными паузами. Искатель 5 преобразует эти импульсы в ультразвуковые колебания. При встрече с дефектом волны от него отражаются, снова попадают на искатель и преобразуются в электрические колебания, поступающие на усилитель 2 и дальше на экран прибора 3. Зондирующий импульс генератора 6 размещается в начале разветвки, импульс от донной поверхности δ – в конце разветвки, а импульс от дефекта 7 – между ними. В процессе контроля сварного соединения искатель перемещается зигзагообразно по основному металлу вдоль шва 4. Для обеспечения акустического контакта поверхность изделия в месте контроля обильно смазывают маслом (например, компрессорным).

К недостаткам метода следует отнести прежде всего низкую помехоустойчивость к наружным отражателям, резкую зависимость амплитуды сигнала от ориентации дефекта.

магнитографический, вакуумный и цветная дефектоскопия – с одной. Гамма- и рентгеновский контроль рекомендуются для обнаружения внутренних скрытых дефектов и дефектов закрытых деталей. Однако эти методы обладают относительно низкой чувствительностью к трещинам, имеют меньшую производительность и более высокую стоимость по сравнению с ультразвуковым методом.

Ультразвуковой контроль целесообразно применять для выявления внутренних скрытых дефектов, а также поверхностных трещин. Он может использоваться для контроля изделий из магнитных и немагнитных материалов, обладающих свойствами упругости. Кроме того, в таких случаях, как, например, контроль сварных швов большой толщины, выпоненных электрошлаковой сваркой, сварных соединений арматуры ЖБК, ультразвуковая дефектоскопия является единственно приемлемым методом контроля.

Магнитографический метод контроля оправдывает себя при выявлении внутренних поверхностных и подповерхностных дефектов в виде трещин, волосовин, неметаллических включений.

Цветная дефектоскопия применяется для обнаружения поверхностных открытых трещин, пор и коррозионных поражений при контроле изделий из магнитных и немагнитных материалов.

Вакуумный контроль, пневматические и гидравлические испытания, керосиномеловую пробу используют для проверки плотности сварных швов.

При необходимости рассматриваются также потребность в электроэнергии, наглядность и документальность контроля, его производительность.

Важнейшими показателями метода контроля являются его чувствительность и разрешающая способность (таблица).

Разрешающая способность контрольной аппаратуры характеризуется наименьшим расстоянием между двумя соседними минимальными выявляемыми дефектами, для которых возможна их регистрация.

Характер выявленных дефектов предопределяет применение того или иного метода контроля. Для обнаружения, например, поверхностных трещин из немагнитных материалов наиболее эффективной является цветная дефектоскопия.

Физические свойства материала свариваемых изделий по-своему влияют на выбор метода их контроля. В случае применения цветной дефектоскопии материал должен быть плотным и стойким к воздействию

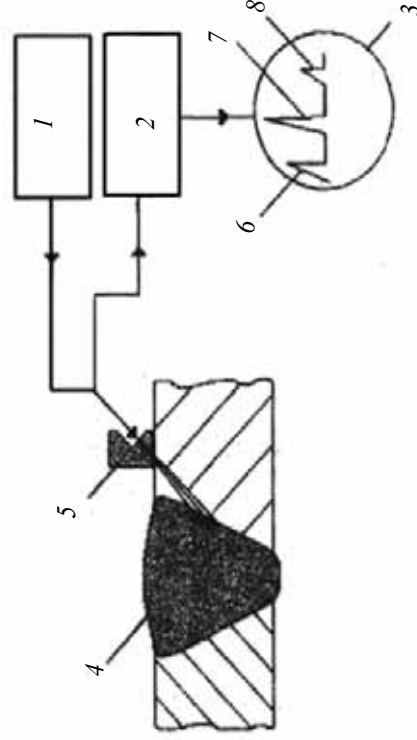


Рис. 3.4. Ультразвуковой контроль сварных соединений:

1 – генератор; 2 – усилитель; 3 – экран прибора; 4 – сварной шов; 5 – искатель-приемник; 6 – начальный импульс; 7 – импульс от дефекта; 8 – импульс от донной поверхности

Люминесцентная и цветная дефектоскопия относятся к методам капиллярной дефектоскопии. Контролируемую поверхность покрывают слоем флюоресцирующего раствора или ярко-красной проникающей жидкости. Затем раствор или жидкость удаляют, а поверхность облучают ультрафиолетовым светом (люминесцентный метод) или покрывают белой проявляющей краской (цветная дефектоскопия). В первом случае дефекты начинают светиться, а во втором – проявляются на фоне белой краски. С помощью этих методов выявляют поверхностные дефекты, главным образом трещины, в том числе в сварных соединениях из немагнитных сталей, цветных металлов и сплавов.

В каждом конкретном случае способ и объемы контроля качества сварного соединения выбираются в зависимости от назначения и степени ответственности конструкции в соответствии с отраслевыми нормативными документами, специальными техническими условиями или проектом.

2. Выбор методов контроля

Большое значение при выборе метода контроля имеет оценка его возможностей.

Гамма- и рентгеновский контроль, контроль течейскаателями требуют подхода к проверяемому изделию с двух сторон, а ультразвуковой,

органических растворителей, для ультразвукового метода при контроле трещин – мелкозернистым по структуре и однородным, для магнитографического метода – ферромагнитным и однородным по магнитным свойствам.

Наименование метода	Минимальные размеры обнаруживаемых трещин, мм		
	Длина	Ширина	Глубина
Рентгенографический	–	–	1...3 % толщины
Гаммаграфический	–	–	2...4 % толщины
Ультразвуковой (эхо-метод)	–	0,001...0,01	0,1...0,3
Цветная дефектоскопия	0,1...0,3	0,001...0,002	0,01...0,03

Правильный выбор зон контроля облегчает разработку методики и обнаружение дефектов.

В контролируемой зоне при ультразвуковом методе не должно быть болтов, заклепок, отверстий и других отражателей ультразвуковых волн, резких переходов от одного сечения к другому (при проверке поверхностными волнами).

Форма и размеры изделий также влияют на выбор метода контроля. Например, ультразвуковой метод из-за трудности расшифровки результатов нельзя применять для контроля деталей сложной формы. Большинство методов можно применять для контроля изделий любой формы и размеров.

Практическая часть раздела состоит в освоении методики проведения ультразвукового контроля толщины металла изделий и качества сварных соединений.

В процессе освоения методики проведения УЗ-контроля необходимо:

- 1) изучить по заводской инструкции разделы «Подготовка прибора к работе», «Порядок работы с ультразвуковым толщиномером “Взлет-УТ-М”» и «Порядок работы с ультразвуковым дефектоскопом УД 2-102»;

- 2) настроить аппарат на нужную чувствительность по эталонному образцу с искусственными дефектами;
- 3) выявить на выданном натурном образце сварного соединения дефекты и определить их координаты;
- 4) оформить результаты контроля в форме карты ультразвукового контроля и сверить с требованиями нормативно-технической документации.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Перечислить разрушающие и неразрушающие методы контроля качества сварных соединений и рациональные области применения (конкретно).
3. Привести принципиальную схему, описать основные этапы подготовки ультразвукового толщиномера «Взлет-УТ-М» и ультразвукового дефектоскопа УД 2-102 «Пеленг» к работе.
4. Заполнить карту ультразвукового контроля сварного шва.
5. Сопоставить результаты исследования с требованиями нормативно-технической документации и сделать вывод о пригодности сварного соединения к дальнейшей эксплуатации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЕДЫСТОРИИ МЕТАЛЛА ПАССИВНЫМ ФЕРРОЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ

Цель лабораторной работы – изучение возможностей пассивного феррозондового метода контроля для выявления экстремальных значений напряженности магнитного поля рассеяния H_p в предполагаемых зонах концентрации напряжений (КН) на поверхности элементов металлических конструкций (МК) и сварных соединений.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) изучить пассивный феррозондовый метод контроля и его технологические возможности при определении локальных зон с экстремальными значениями магнитного параметра H_p ;
- 2) ознакомиться с устройством и принципом работы прибора ИКНМ-2ФП с двухканальным феррозондовым преобразователем;
- 3) изучить порядок работы и калибровки прибора;
- 4) освоить методику пассивного феррозондового контроля образцов из конструкционных сталей;
- 5) провести магнитное сканирование поверхности образцов до и после введения искусственных дефектов: локальных намагничивания и упрочнения (наклепа);
- 6) обработать, оформить и сравнить полученные результаты исследований.

Оснащение участка лабораторной работы:

- *оборудование* – индикатор концентрации напряжений магнетрический ИКНМ-2ФП с двухканальным феррозондовым преобразователем, постоянный магнит, молоток, наковальня, измерительная линейка, штангенциркуль;
- *материалы* – сварные соединения из стали Ст3, образцы из конструкционных сталей 08пс, Ст3, 09Г2С, 10ХСНД;
- *справочная литература* – паспорт прибора, выписка из инструкции по устройству и эксплуатации ИКНМ-2ФП, ГОСТы, плакаты, нормативно-техническая документация, ведомость дефектов.

1. Выбор методов неразрушающего контроля сварных соединений и элементов МК и оборудования

При разрушающих испытаниях оценивают те или иные физические свойства, косвенно характеризующие прочность или надежность сварного соединения. Неразрушающие методы (ими проверяется более 80 % сварных соединений) применяют, как правило, после изготовления изделия для обнаружения в нем дефектов. К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относятся: внешний осмотр, радиационный, ультразвуковой и магнитный контроль, контроль на непроницаемость и ряд других методов, имеющих ограниченное применение.

При диагностировании технического состояния сварных металлических конструкций область применения классических методов контроля сводится, в основном, к поиску уже развитых дефектов и уточнению их размеров (параметров). В то же время основными источниками повреждений в металлических конструкциях, приводящих к авариям, являются зоны концентрации напряжений (КН), которые возникают в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций. Поэтому определение зон КН является одной из важнейших задач при диагностике технического состояния МК. Одним из перспективных методов выявления зон КН и определения действующих внутренних напряжений в наиболее опасных из них является феррозондовый метод контроля (в пассивном варианте).

2. Пассивный феррозондовый метод контроля

Пассивный феррозондовый метод является разновидностью феррозондового метода контроля (ГОСТ 21104–75 «Контроль неразрушающий. Феррозондовый метод»). Феррозондовый метод основан на выявлении феррозондовым преобразователем магнитного поля рассеяния дефекта в намагниченных изделиях и преобразовании его в электрический сигнал. Этот метод имеет существенные недостатки. Контроль способом остаточной намагниченности феррозондовым методом заключается в намагничивании изделия и регистрации напряженности магнитных полей рассеяния преобразователем после снятия намагничивающего поля. При этом активное предварительное намагничивание изделия должно осуществляться переменным током, а для контроля крупногабаритных и сложной формы изделий – применяться только локальное на-

магничивание; солиноиды, применяемые при феррозондовом методе контроля, должны обеспечивать возможность получения в их центре значительной напряженности магнитного поля не менее 30 000 А/м. При реализации способа остаточной намагниченности контролируются изделия из материалов с высоким значением коэрцитивной силы, большей или равной 1280 А/м, и остаточной индукцией, большей или равной 0,53 Т.

Отличительной особенностью используемого в данной работе феррозондового метода в так называемом «пассивном варианте» является то, что он позволяет осуществлять контроль по способу остаточной намагниченности без предварительного намагничивания и подготовки поверхности контроля, являясь с этой точки зрения достаточно привлекательным. Применяемый метод реализует магнитомеханическое явление, включающее магнитоупругий эффект при упругой деформации и магнитомеханический гистерезис при пластической деформации, и позволяет измерять напряженность магнитных полей рассеяния, возникающих на поверхности элементов конструкций в условиях естественного намагничивания в слабом магнитном поле Земли (область Рэлея) в процессе их изготовления и эксплуатации.

Однако на результаты пассивного феррозондового контроля значительное влияние может оказать магнитная и механическая предыстория металла. Так как предыстория реальных элементов МК и сварных соединений чаще всего неконтролируема, то и неизвестна их магнитная и механическая предыстория. Однако в процессе изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации МК могут подвергаться как механическим воздействиям, так и воздействиям различных по природе происхождения магнитных полей, что может сказаться на результатах магнитного контроля в процессе диагностики технического состояния конструкций. Учитывая вышесказанное, оценка и исключение влияния магнитомеханической предыстории образцов на результаты пассивного феррозондового контроля является весьма важной и первоочередной (предварительной) операцией.

3. Устройство и принцип действия прибора ИКНМ-2ФП

Реализация пассивного феррозондового метода контроля осуществляется прибором ИКНМ-2ФП с двухканальным феррозондовым преобразователем (рис. 4.1).

Конструктивно прибор состоит из измерительного блока с аккумуляторами, феррозондового преобразователя и соединительного кабеля. Прибор малогабаритен, имеет автономное питание, прост в работе

и настройке, позволяет проводить измерения в труднодоступных местах. Принцип действия прибора основан на регистрации напряженности магнитного поля рассеяния H_p на контролируемой поверхности объекта при его намагничивании в слабом магнитном поле Земли (область Рэлея) и выявлении аномального поведения магнитного поля рассеяния в зонах концентрации напряжений. ИКНМ-2ФП имеет цифровую и звуковую индикацию измеряемых данных с возможностью их регистрации в блоке памяти (запись до 1000 измерений). Датчик прибора имеет два феррозондовых, расположенных на одной оси с изменяющимся базовым расстоянием между ними. Технические характеристики прибора приведены в таблице.

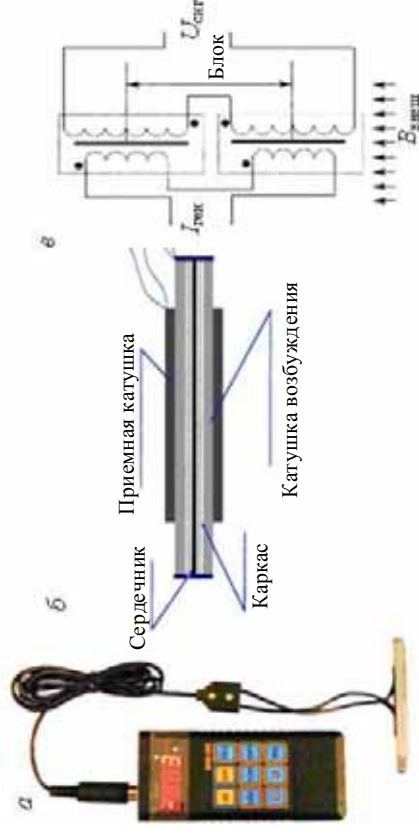


Рис. 4.1. Внешний вид прибора ИКНМ-2ФП (а) и схемы феррозондового преобразователя (б, в)

4. Порядок работы и калибровка прибора

При подготовке к проведению измерений необходимо:

- подключить феррозондовый преобразователь к измерительному блоку;
- включить прибор, нажав на клавишу «ВКЛ». При этом на экране прибора должны загореться цифровые индикаторы измерения поля, индикатор режима работы «П» или «Г» (полемер или градиентометр), а также индикатор состояния батарей питания;
- выдержать прибор во включенном состоянии («прогрев») в течение 15 мин;
- провести калибровку прибора.

№ п/п	Характеристика	Показатели
1	Диапазон измерения величины H_p , А/м	± 1999
2	Основная относительная погрешность измерения, %	5
3	Дополнительная абсолютная погрешность измерения, А/м	5
4	Количество каналов измерения величины H_p	2
5	Время одного измерения, мкс	10
6	Время непрерывной работы прибора от двух аккумуляторов 1300 мА·ч, ч	8
7	Номинальное напряжение питания, В	2,4
8	Рабочий температурный диапазон, °С	-20...+60
9	Диапазон относительной влажности, %	45...80
10	Габаритные размеры, мм: прибора датчиков длина кабеля «датчик-прибор»	120×60×25 5×5×30 1500
11	Вес с аккумуляторами, кг	0,25

Порядок проведения калибровки прибора следующий:

- установить индикатор режима работы прибора в состояние «П» – полемер;
- нажать клавишу КАЛИБР, при этом прибор переходит в режим калибровки;
- установить необходимое калибровочное магнитное поле, соответствующее магнитному полю Земли (по умолчанию для средней полосы России равно 40 А/м). При этом на экране индусируется информация Н1↑; клавишу ВВОД. Далее на экране индусируется информация «Н1↓»;
- установить датчик зондом 1 вверх (поле «+») и нажать клавишу ВВОД. Датчик зондом 1 вниз (поле «-») и нажать клавишу ВВОД. Калибровка окончена;
- в случае необходимости выход из режима калибровки обеспечивается нажатием клавиши ОТМЕНА.

5. Проведение пассивного феррозондового контроля

Магнитный контроль поверхности объекта проводят непрерывным или точечным сканированием с помощью феррозондового преобразова-

теля, который располагают перпендикулярно поверхности образца. Особое внимание при сканировании уделяется тем зонам, в которых значения напряженности магнитного поля рассеяния H_p отличаются от средних как в большую, так и в меньшую сторону. Выявленные зоны с экстремальными значениями H_p соответствуют предполагаемым зонам концентрации напряжений.

Практическая часть работы состоит в освоении методики проведения пассивного феррозондового контроля сварных соединений и элементов МК и оборудования.

В процессе освоения методики проведения магнитного контроля необходимо:

- 1) изучить разделы «Порядок работы и калибровка прибора» и «Проведение пассивного феррозондового контроля»;
- 2) подключить феррозондовый преобразователь к измерительному блоку;
- 3) включить прибор и провести его калибровку;
- 4) на лабораторных образцах, выданных учебным мастером или преподавателем, провести сканирование поверхности контроля и отметить (карандашом, мелом) зоны с аномальными значениями (положительными и отрицательными, минимальными и максимальными) магнитного параметра H_p ;
- 5) на одном из образцов в разных зонах контроля нанести магнитную и механическую метки с помощью постоянного магнита и молотка соответственно;
- 6) в зонах с введенными искусственными дефектами провести вторичный магнитный контроль и сравнить полученные значения H_p с исходными.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Привести схемы феррозондового преобразователя.
3. Кратко описать методику пассивного феррозондового контроля.
4. Сопоставить результаты магнитных исследований до и после нанесения магнитной и механической меток, а также сравнить их с отмеченными максимальными и минимальными значениями H_p на поверхности образцов.
5. Сделать выводы по результатам измерений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО НЕМАГНИТНОГО ПОКРЫТИЯ МК НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПАССИВНОГО ФЕРРОЗОНДОВОГО КОНТРОЛЯ

Цель лабораторной работы – изучение возможностей пассивного феррозондового метода контроля элементов МК и сварных соединений без удаления немагнитного покрытия и установление зависимости величины напряженности магнитного поля рассеяния H_p от его толщины.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) ознакомиться с устройством и принципом работы прибора ИКНМ-2ФП (индикатор концентрации напряжений магнитометрический) с двухканальным феррозондовым преобразователем и правилами его эксплуатации;
- 2) изучить порядок работы и калибровки прибора;
- 3) освоить методику пассивного феррозондового контроля поверхности металла в зонах контроля при наличии на ней немагнитного защитного покрытия;
- 4) провести исследования по выявлению характера изменения напряженности магнитного поля рассеяния H_p с увеличением толщины немагнитного защитного покрытия;
- 5) обработать, оформить и сравнить полученные результаты исследований.

Оснащение участка лабораторной работы:

- *оборудование* – индикатор концентрации напряжений магнитометрический ИКНМ-2ФП с двухканальным феррозондовым преобразователем, измерительная линейка, штангенциркуль, штатив;
- *материалы* – образцы из конструкционных сталей 08пс, Ст3, 09Г2С, 10ХСНД, набор фрагментов немагнитного материала различной толщины (оргстекло);
- *справочная литература* – паспорт прибора, выписки из инструкции по устройству и эксплуатации ИКНМ-2ФП, ГОСТы, плакаты, нормативно-техническая документация.

1. Защитные покрытия элементов МК

Пассивная защита элементов МК и сварных соединений предполагает применение антикоррозионных покрытий, снижающих вероятность возникновения и развития коррозионных процессов. При диагностике технического состояния металлоконструкций классические методы контроля требуют удаления предварительной подготовки поверхности, что предусматривает удаление защитного покрытия.

По виду материалов защитные покрытия металлических конструкций могут быть классифицированы как лакокрасочные, металлические, оксидные, изоляционные. Возможны также комбинации различных видов покрытий.

Лакокрасочные покрытия в зависимости от вида пигмента обеспечивают барьерную, комбинированную или протекторную (электрохимическую) защиту стали.

В настоящие время из всех видов покрытий наиболее распространены, доступными и достаточно эффективными являются лакокрасочные. Для защиты строительных конструкций от коррозии рекомендуют более 70 различных марок лакокрасочных материалов.

Выбор состава покрытий является технико-экономической задачей, при решении которой учитываются стоимость защитного покрытия, его долговечность, трудоемкость нанесения и другие факторы. Долговечность защитного покрытия в условиях производственной среды устанавливается обычно из опыта эксплуатации покрытий в аналогичных средах или экспериментальным путем.

Покрытия могут быть полимерными заводского назначения (толщиной 3...5 мм), битумными (толщиной 3...5 мм), полимерными лентами (толщиной, в зависимости от числа слоев ленты, 1...3 мм). На надземных технологических трубопроводах обвязки компрессорных станций применяются виброшумоизоляционные покрытия, включающие холст, полимерно-битумную мастику, алюминиевый лист и т. д. (суммарной толщиной 8...30 мм).

Удаление покрытия для проведения исследований требует его восстановления после окончания работы, что связано с привлечением материальных и трудовых затрат. Поэтому возникает необходимость оценки возможности использования неразрушающих методов контроля элементов конструкций и сварных соединений без удаления немагнитного защитного покрытия. На рис. 5.1 показан один из примеров оценки влия-

ния толщины удаления немагнитного защитного покрытия на изменение величины напряженности магнитного поля рассеяния при проведении пассивного феррозондового контроля.

Пассивный феррозондовый метод контроля и его отличительные особенности, устройство и принцип действия прибора ИКНМ-2ФП, порядок работы и калибровка прибора, проведение пассивного феррозондового контроля рассмотрены в лабораторной работе № 4 в разделах 2–5.

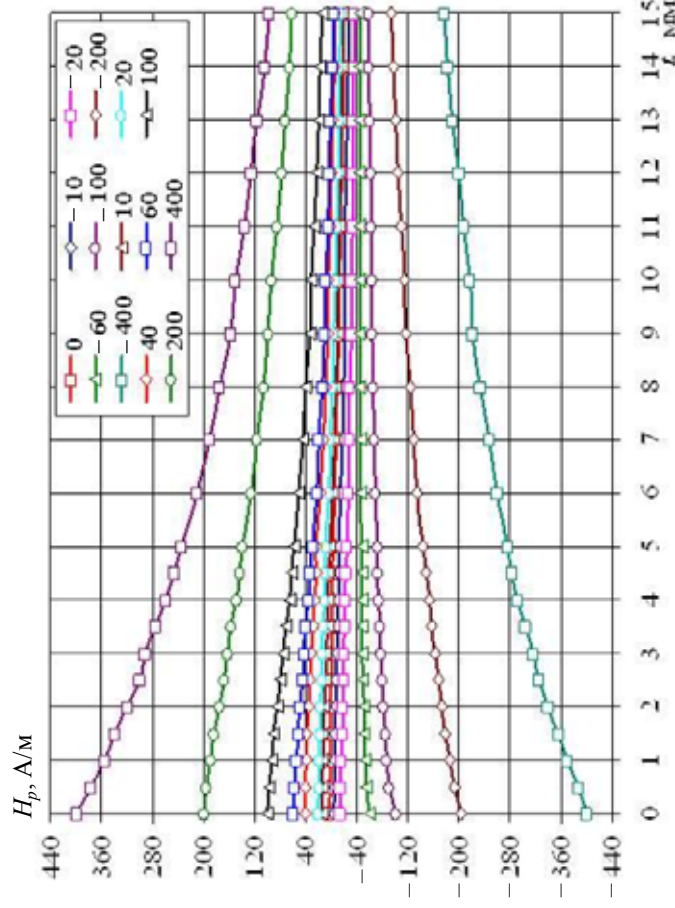


Рис. 5.1. Изменение напряженности магнитного поля рассеяния H_p с увеличением толщины немагнитного защитного покрытия для стали 09Г2С в состоянии поставки при различных исходных значениях H_p

Практическая часть работы состоит в освоении методики проведения пассивного феррозондового контроля сварных соединений и элементов МК, оборудования, а также в выявлении характера изменения напряженности магнитного поля рассеяния H_p с увеличением толщины немагнитного защитного покрытия.

В процессе исследования необходимо:

- 1) изучить разделы 2–5 лабораторной работы № 4;

- 2) подключить феррозондовый преобразователь к измерительному блоку;

- 3) включить прибор и провести его калибровку;

- 4) на лабораторных образцах, выданных учебным мастером или преподавателем, провести сканирование поверхности контроля и отметить (карандашом, мелом) зоны с аномальными значениями (положительными и отрицательными, минимальными и максимальными) магнитного параметра H_p ;

- 5) на одном из образцов выбрать зону контроля с максимальным (по модулю) экстремальным значением H_p . Провести исследование изменения значения магнитного параметра H_p при ступенчатом увеличении величины зазора (от 0 до 10 мм через 1 мм) между образцом в зоне контроля и феррозондовым преобразователем путем введения между ними пластинок оргстекла;

- 6) результаты исследований внести в таблицу;

Толщина покрытия l , мм	Напряженность магнитного поля рассеяния H_p , А/м		Относительное изменение значений H_p , %	
	1 зона	2 зона	1 зона	2 зона
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

- 7) вычислить относительное изменение значений H_p в процентах. Достоверность измерения магнитного параметра H_p оправдана при изменении исходных значений H_p не более чем на 20 %;

- 8) построить график зависимости $H_p(t)$;

- 9) сделать выводы о максимально допустимой толщине немагнитного защитного покрытия, при которой возможно получение достоверных результатов при проведении пассивного феррозондового контроля.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Краткая характеристика немагнитных защитных покрытий металлургических конструкций и оборудования.
3. Схемы феррозондового преобразователя.
4. Методика пассивного феррозондового контроля.
5. Таблица значений H_p по результатам измерений и графические зависимости $H_p(t)$.
6. Сделать выводы по работе и указать максимально допустимую толщину немагнитного защитного покрытия при проведении пассивного феррозондового контроля.

Оглавление

Предисловие	3
Лабораторная работа № 1. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА И ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЫ	4
Лабораторная работа № 2. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ	16
Лабораторная работа № 3. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	24
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЕДЫСТОРИИ МЕТАЛЛА ПАССИВНЫМ ФЕРРОЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ	34
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО НЕМАГНИТНОГО ПОКРЫТИЯ МК НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПАССИВНОГО ФЕРРОЗОНДОВОГО КОНТРОЛЯ.....	40

Учебное издание

**Гордиенко Валерий Евгеньевич
Гордиенко Евгений Григорьевич
Степанов Сергей Александрович
Кнышев Юрий Владимирович**

СВАРКА

Часть II

**ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ
И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА**

Учебное пособие

Редактор О. Д. Камнева
Корректор К. И. Бойкова
Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 24.09.09. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.
Усл. печ. л. 2,7. Тираж 1500 экз. Заказ 96. «С» 43.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5.