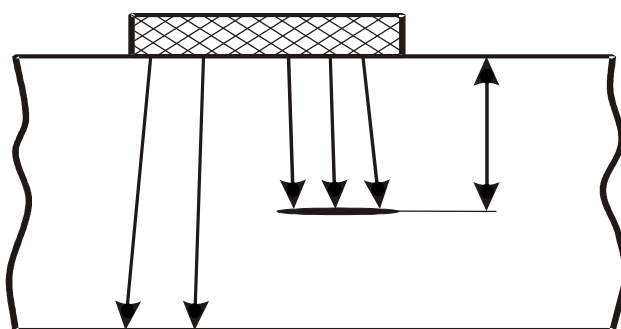


В.П. Расщупкин, М.С. Коротков

ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛА



Федеральное агентство по образованию
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)

В.П. Расщупкин, М.С. Кoryтов

ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛА

Учебное пособие

Омск
Издательство СибАДИ
2006

УДК 621.77
ББК 34.431
Р 24

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В.С. Кушнер,
д-р техн. наук, доц. А.С. Ненишев

Работа одобрена методическим и редакционно-издательским советами академии в качестве учебного пособия по дисциплине «Материаловедение и ТКМ» для студентов механических специальностей вузов.

Дефекты металла: Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение и ТКМ» для механических специальностей вузов / В.П. Расщупкин, М.С. Корятов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 37 с.

Изложена классификация дефектов металла различного происхождения, даны определения дефектов. Изложены методы контроля сварных соединений, подробно рассматриваются способы и методика ультразвукового контроля. Учебное пособие полезно для студентов механических специальностей при изучении дисциплины «Материаловедение и ТКМ».

Табл. 1. Ил. 14. Библиогр.: 2 назв.

ISBN _____

© В.П. Расщупкин, М.С. Корятов, 2006

ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении и обработке деталей машин и приборов, а также при производстве различных конструкций в металле могут возникать дефекты, т. е. отдельные несоответствия продукции нормативным требованиям. Все дефекты в соединениях относятся к двум типам: внешним или внутренним [1, 2].

Качество сварных и паяных соединений обеспечивают предварительным контролем материалов и заготовок, текущим контролем за процессом сварки и пайки и приемочным контролем готовых сварных или паяных соединений. В зависимости от нарушения целостности сварного соединения при контроле различают разрушающие и неразрушающие методы контроля.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛА

В зависимости от возможного влияния на служебные свойства детали дефекты могут быть критическими, значительными и малозначительными. При классификации учитывают характер, размеры, место расположения дефекта на детали, особенности деталей и изделий, их назначение, условия использования (эксплуатации).

Дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией (ГОСТ 17102).

В практике применения средств нормоконтроля (НК) нет полного соответствия понятия «дефект» ГОСТовскому определению. *Обычно под дефектом понимают нарушения сплошности материала, выявленные средствами НК.* Связь такого понятия с ГОСТовским определением устанавливается путем разделения дефектов на *допустимые* (требованиями нормативно-технической документации – НТД) и *недопустимые*. *Допустимые* в свою очередь делятся на *фиксируемые или регистрируемые* (в соответствии с требованиями НТД) и *нефиксируемые*.

Дефекты подразделяют на явные, скрытые, критические, значительные и малозначительные, исправимые и неисправимые.

Явные поверхностные дефекты выявляют глазом, а *внутренние скрытые* и поверхностные, неразличимые глазом, – специальными средствами.

Критическим называют дефект, при наличии которого использование продукции по назначению невозможно или исключается из-за несоответствия безопасности или надежности.

Значительный – дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является критическим.

Малозначительный – дефект, который не оказывает влияния на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность.

По происхождению дефекты изделий подразделяют: на *производственно-технические*, металлургические, возникающие при отливке и прокатке; *технологические*, возникающие при изготовлении и ремонте деталей (сварке, наплавке, механической и термической обработке, калибровке и др.); *эксплуатационные*, возникающие после некоторой наработки изделия в результате усталости металла деталей, коррозии, охрупчивания под действием радиации, изнашивания и т.д., а также неправильного технологического обслуживания в эксплуатации.

2. ВИДЫ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛА

2.1. Производственно-технические дефекты

Литейные дефекты

Усадочные раковины – открытые или закрытые сравнительно большие полости произвольной формы с грубой шероховатой, иногда окисленной, поверхностью, находящиеся в теле отливки. Образуются вследствие неравномерной усадки металла при затвердевании в верхней части слитка или в утолщенных частях отливки, где металл затвердевает в последнюю очередь. Усадочные раковины находятся между сердцевинной и корковой отливки.

Рыхлота – местное скопление мелких усадочных раковин при крупнозернистой структуре металла. Часто встречается рыхлота, расположенная над усадочной раковиной.

Пористость – местное скопление мелких газовых или усадочных раковин. Газовая пористость обычно наблюдается в большом объеме отливки или отдельных ее участках. Усадочная пористость часто располагается под концентрированной усадочной раковиной, являясь ее продолжением или продолжением подусадочной рыхлоты.

Ликвационные зоны – неравномерность химического состава металла в теле отливки. Причиной ликвации является различная температура затвердевания чистого металла и содержащихся в расплаве примесей. Различают дендритную и зональную ликвации. *Дендритная ликвация* образуется по границам дендритов обычно в корковой зоне слитка. *Зональная ликвация* образуется в тех областях слитка, которые затвердевают в последнюю

очередь. Разновидностью зональной является *подусадочная ликвация*, расположенная под усадочной раковинной областью отливки, обогащенная углеродом и лидирующими примесями (серой, кислородом, фосфором и др.). При травлении макрошлифов слитков дефект выявляется в виде темно-травящихся полосок или пятен. На микрошлифах из зоны дефекта наблюдается скопление сульфидов и оксидов.

Газовая ликвация – характерный дефект слитка кипящей стали, представляющий собой участки структурной и химической неоднородности в виде стреловидной ликвации – каналов в зоне наружной корочки и сегрегационных пятен у внутренних концов сотовых пузырей. Участки газовой ликвации в пузырях загрязнены неметаллическими включениями (сульфидами и оксисульфидами).

Точено-пятнистая неоднородность типична для высоколегированных жаропрочных сталей и сплавов и представляет собой локальные участки, обогащенные ликвирующими примесями в виде избыточных фаз.

Ликвационный квадрат – дефект, выявляющийся в поперечных макрошлифах деформированного металла, представляет собой структурную неоднородность в виде различно травящихся зон, контуры которых повторяют форму слитка.

Газовые пузыри или раковины в литом металле представляют собой полости (округлые, овальные или продолговатые) с чистой и гладкой, иногда окисленной поверхностью. По расположению в слитках пузыри могут быть внутренние и подкорковые. Внутренние пузыри расположены произвольно по объему слитков, в спокойной стали преимущественно в верхней части слитков, а в кипящей в средней по высоте и сечению зоне. Подкорковые пузыри расположены у поверхности слитков и представляют собой тонкие извилистые каналы, часто выходящие на поверхность. Горячая деформация приводит к завариванию пузырей в том случае, если стенки их не содержат стойких оксидов или силикатов, а содержат только оксиды железа и марганца. На поперечных макрошлифах спокойной стали незаварившиеся пузыри имеют вид тонких полосок. Микроструктура в зоне, расположенной возле незаварившихся пузырей, характеризуется ликвационными участками и скоплениями сульфидов. Газовые пузыри в литом металле образуются вследствие выделения газов в период кристаллизации, поскольку их растворимость в твердом металле значительно меньше, чем в жидком.

Песчаная раковина – полость в теле отливки, частично или полностью заполненная формовочным материалом.

Шлаковая раковина – полость, заполненная шлаком.

Вскип, вскиповая раковина – оксидные складки или раковины, образующиеся при кипении сплава. Различают скипы со стороны формы, стержня и от холодильника.

Поверхностное окисление (загар, горение) встречается (у отливок из магниевых сплавов) в виде: сплошной окисной пленки черного или серого цвета; отдельных или групповых раковин, заполненных порошком черного или серого цвета; наростов (грибков) черного цвета.

Неметаллические включения бывают двоякого рода и происхождения:

1) включения неметаллических частиц, попавших в металл извне; так, частицы шлака, огнеупора, графита, песка и т.д. могут попасть в форму вместе с расплавом и образовать шлаковые и песчаные включения, которые чаще всего расположены в верхних частях отливки или на их поверхности;

2) включения частиц окислов, сульфидов, силикатов, нитридов, образующихся внутри металла вследствие химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке сплава. Они располагаются в виде цепочек или сетки, часто по границам зерен. По форме бывают округлые или удлиненные. Последние могут сильно снижать пластичность металла.

Корочки представляют собой участки металла, загрязненные неметаллическими включениями: располагаются в объеме слитков или у поверхности, могут быть темными или светлыми. *Темная корочка* – дефекты макроструктуры, представляющие собой участки различной формы, характеризующиеся плохой полируемостью и повышенной травимостью из-за наличия неметаллических включений и повышенного содержания примесей (серы, фосфора). *Светлая корочка* – дефект макроструктуры нижней части слитка: имеет вид светлых полос, сопровождающихся неметаллическими включениями.

Завороты корки – дефект представляет собой завернувшиеся корки металла, окислившиеся заливкины и брызги, расположенные у поверхности слитков. В деформированном металле дефект представляет собой разрывы или частичное отслоение, образовавшееся в результате раскатки завернувшихся корок или брызг. При горячей деформации дефекты вытягиваются вдоль ее направления.

Металлические включения – инородные металлические тела в основном металле отливки. Такими телами могут быть нерасплавленный легирующий компонент, модификатор, внутренний холодильник и т.д.

Королек – металлическое включение того же состава, что и отливка. В большинстве случаев включение полностью окружено металлом.

Утяжина – углубление с пологими краями на массивной части отливки, образовавшееся вследствие усадки металла при затвердевании. Под утяжиной возможны внутренние дефекты.

Ужимины – длинные узкие вмятины в теле отливки, наслоения металла, отдельные прослойки формовочной смеси (при литье в песчаные формы) или прослойки краски (при литье в кокиль).

Плены – пленки на поверхности или внутри отливки, состоящие из окислов, часто с включениями формовочного материала. К образованию плен склонны высоколегированные сплавы. Плены в отливках возникают в результате того, что при заполнении формы составляющие расплава вступают в химическую реакцию с атмосферой и материалом формы, а из продуктов реакции (окислов хрома, алюминия, титана и нитридов, не растворяющихся в сплаве) на поверхности расплава образуется тугоплавкая и плотная пленка. При механическом разрушении этой пленки в процессе заливки формы отдельные куски ее оседают в различных местах формы.

Спаи – сквозные или поверхностные с закругленными краями щели или углубления в теле отливки, образованные неслившимися потоками преждевременно застывшего металла. При прерывистой заливке и неравномерном поступлении металла в форму иногда возникают внутренние спаи (неслитины), одной из причин которых могут быть окисные пленки, создающие значительное сопротивление движению расплава.

Оксидный спай – нарушение сплошности отливки в виде неслившихся потоков металла, разделенных пленкой. Наиболее часто проявляются в тонких сечениях отливки.

Пригар – неравномерные утолщения из формовочной или стержневой смеси, пропитанные металлом, располагающиеся в местах ее соприкосновения с наиболее горячими участками формы.

Горячие трещины – обычно хорошо видимые разрывы поверхности отливки, распространяющиеся по границам кристаллов и имеющие неровную окисленную поверхность, на которой при увеличении видны дендриты. Образуются вследствие усадки при застывании расплава в формах. Характерными признаками горячих трещин являются их неровные (рваные) края и значительная ширина.

Холодные трещины – очень тонкие разрывы поверхности отливки, имеющие обычно чистую, светлую с цветами побежалости зернистую поверхность. Образуются из-за внутренних напряжений или механического воздействия при температуре ниже температуры свечения отливки. В отличие от горячих трещин холодные распространяются по зернам, а не по их границам, располагаются они преимущественно в острых углах и других местах концентрации напряжений.

Термические трещины – обычно хорошо видимые глубокие разрывы поверхности отливки. Поверхность излома раскрытой трещины – мелкозернистая, окисленная или с цветами побежалости. Обнаруживаются эти трещины в отливках после термической обработки. Причина возникнове-

ния – высокие температурные растягивающие напряжения, совпадающие по знаку с остаточными напряжениями.

Межкристаллические трещины представляют собой тонкие нарушения сплошности, образующиеся по границам кристаллов при низкой прочности этих границ. Пониженная прочность границ часто связана с присутствием на них прослоек неметаллической фазы и ликватов.

Литейные подрезы – дефекты литья в виде углублений в местах конструктивных концентраторов напряжений. Образование литейных подрезов связано с недостаточной жидкотекучестью металла в процессе отливки детали из-за понижения температуры.

Коробление – искажение геометрии и конфигурации отливки. Обнаруживается после остывания отливки в форме, выбивки и заварки.

Отклонение микроструктуры – по виду, количеству и величине структурных составляющих от требований стандарта.

2.2. Технологические дефекты

2.2.1. Дефекты прокатанного и ковального металла

Трещины бывают одиночные или групповые, расположенные беспорядочно или идущие в определенном направлении. По длине они достигают нескольких метров; глубина трещин в зависимости от размеров проката, причин и условий возникновения дефекта – до 10-15 мм.

Штамповочные трещины (трещины горячего деформационного происхождения) связаны с пониженной пластичностью материала и имеют, как правило, извилистый характер. Характерным структурным признаком, свидетельствующем об образовании трещины в процессе горячей деформационной обработки, является объединение легирующими элементами материала детали в зоне ее полостей, которое на микрошлифах проявляется в виде наблюдаемых белых нетравящихся полос, окаймляющих берега трещины.

Трещины напряжения – дефект, представляющий собой направленную вглубь металла, часто под прямым углом к поверхности, трещину, образующуюся вследствие объемных изменений, связанными со структурными превращениями или с нагревом и охлаждением металла.

Флокены представляют собой волосные трещины с кристаллическим строением поверхности стенок, образующиеся внутри толстого проката или поковок (диаметром более 30 мм) из сталей перлитного и мартенситного классов (хромистых, хромоникельвольфрамовых, марганцовистых и некоторых других легированных сталей).

Флокены можно наблюдать на изломах в виде пятен круглой или овальной формы, имеющих серебристо-белую блестящую окраску и называемых «хлопьями», а на макро- и микрошлифах – в виде прямых, иногда извилистых и зигзагообразных линий длиной от нескольких десятков долей миллиметра до 10-15 мм и более. В малых сечениях изделий из сильно прокатанной стали (диаметром менее 25-30 мм) флокены никогда не обнаруживаются так же, как и в литой стали. Флокены не встречаются также в сталях аустенитного класса. Характерным для флокенов является расположение в виде групп преимущественно в средней части проката или поковки по толщине. Причина образования флокенов – возникновение значительных структурных напряжений и охрупчивание стали в сердцевине, вызванное присутствием водорода, не успевшего выделиться из металла при быстром охлаждении.

Волосовины – мелкие внутренние или выходящие на поверхность трещины, образовавшиеся из газовых пузырей или неметаллических включений при прокате или ковке. Они направлены вдоль волокон металла и в поперечном изломе видны как точки или линии небольшой высоты. Шлаковые и песчаные включения не способны пластически деформироваться и при обжати слитка распадаются на большое число обломков с острыми углами, образуя при вытяжке цепочки вдоль волокон. Силикаты железа, марганца и других элементов при температуре прокатки могут быть пластичны, поэтому вытягиваются вдоль волокон прокатанного металла. Длина волосовин 20-30 мм, а иногда 100-150 мм. Встречаются волосовины во всех конструкционных сталях.

Расслоения – нарушения сплошности внутри прокатанного металла, представляющие собой раскатанные крупные дефекты слитка (глубокие усадочные раковины, усадочная пористость, скопления пузырей или неметаллических включений).

Характерным для расслоения является то, что поверхность нарушения сплошности параллельна плоскости прокатки. Так, раскатанные скопления неметаллических включений дают внутреннюю прослойку, разделяющую лист или профиль на две, три или более частей.

Внутренние разрывы – сравнительно крупные нарушения сплошности внутренней части заготовки, периодически повторяющиеся по ее длине. Поверхность излома по разрыву – крупнокристаллическая. Разрывы возникают под влиянием сил растяжения вследствие неодинаковой деформации наружных и внутренних слоев прокатываемого металла с малой пластичностью. Наблюдаются при прокатке высоколегированных сталей. Разрывы, возникшие в начальной стадии прокатки, при дальнейшей значительной деформации могут образовать расслоения.

Рванины представляют собой разрывы или надрывы металла разнообразного очертания с рваными краями. Чаще расположены на кромках

листов, профилей. К образованию рванин при прокатке слитков особенно склонны высоколегированные стали с крупнозернистой структурой.

Скворечник представляет собой раскрывшуюся при деформации внутреннюю поперечную термическую трещину в слитках или заготовках. На макрошлифе наблюдается полость с разрывами, выходящими на поверхность.

Закаты и заковы – вдавленные и закатанные (закованные) заусенцы или возвышения (бугорки) на поверхности, получившиеся при предыдущем пропуске слитка через калибр прокатного стана. При этом металл заусенца или возвышения не сваривается с основной массой проката. Закат, образовавшийся от заусенца, похож на продольную трещину, а от возвышения – на плену с криволинейным незамкнутым контуром. Иногда закат образуется от остатков усадочной раковины после обрезки верхней части слитка с усадочной раковинной. При прокатке раковина не заваривается из-за окислов на ее стенках.

Плены представляют собой сравнительно тонкие плоские отслоения на поверхности прокатанного или кованого металла. В большинстве случаев плены имеют вид «языка», у которого уширенный и утолщенный конец составляет одно целое с основной массой металла. По размерам плены бывают от мелких едва заметных чешуек до 100 мм и более по длине и ширине (в толстых листах); толщина плен колеблется от десятых долей миллиметра до 3-5 мм и более.

Причинами образования плен могут быть неудовлетворительное качество слитков (наличие на поверхности отливки плен, плохая раскисленность и пузырчатость металла) и нарушение режимов прокатки (неудовлетворительная калибровка, неправильная насечка валков, образование заусенцев и рванин в самом начале прокатки).

Прижоги – дефекты, образующиеся при локальном перегреве материала, например в процессе клеймения (маркировки) деталей электрографом. При металлографическом анализе материала деталей наличие прижогов устанавливается по белым, нетравящимся участкам, видимым на поверхности травленого шлифа.

2.2.2. Дефекты сварных соединений

Трещины в наплавленном металле – продольные и поперечные. В изломе имеют темный цвет, сильно окисленные или светлые, с цветами побежалости. Причины образования: 1) неправильно выбранная марка присадочного материала; 2) неудовлетворительное качество присадочной проволоки, обмазки или флюса; 3) неправильные режимы и техника свар-

ки; 4) высокие внутренние напряжения в швах; 5) наличие в швах пористости или шлаковых включений.

Холодные трещины – в шве и переходной зоне, расположенные под любым углом ко шву, в изломе светлые или со слабыми цветами побежалости. Возникают при остывании детали в зоне пониженных температур, преимущественно при дуговой сварке низколегированной стали большой толщины. Чаще всего трещины возникают в переходной зоне вследствие неправильной техники сварки или неправильно выбранного присадочного материала.

Горячие трещины – в переходной зоне от шва к основному материалу. Они извилисты, в изломе имеют темный цвет, сильно окислены, распространяются по границам зерен.

Мелкие трещины (микротрещины) – в шве или *надрывы* по переходной зоне (на нетравленных шлифах под микроскопом видны в виде тонких линий). Возникают вследствие неудовлетворительного качества присадочной проволоки, обмазки или флюса.

Трещины, образующиеся в сварных соединениях *при термообработке* (закалке) узлов, деталей, могут иметь любое направление. Возникают из-за несоблюдения режимов и условий термической обработки сварных узлов или вследствие неудовлетворительной (нетехнологичной) конструкции детали или узла.

Трещины рихтовочные могут иметь любое направление, в изломе светлые. Причина образования – неправильная технология правки изделий, получивших коробление.

Непровар – отсутствие сплавления между основным и наплавленным металлом в корне шва или по кромке, а также между отдельными слоями - проходами при многопроходной сварке.

Подрез – дефект, который характеризуется наличием углубления между основным и наплавленным металлом на участке или по всему периметру сварного шва.

Прожог – дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся в результате вытекания сварочной ванны.

Поры и раковины – пузыри (обычно сферической формы) различной величины, заполненные газами (водород, окись углерода). Образуются из-за присутствия газов, поглощаемых жидким металлом в процессе сварки.

Шлаковые включения в металле шва – небольшие объемы, заполненные неметаллическими веществами (шлаками, окислами). Величина их колеблется от микроскопических размеров до нескольких миллиметров в поперечнике. Форма может быть самой различной – от сферической до плоской, вытянутой в виде пленки, которая разделяет прилегающие объемы наплавленного металла.

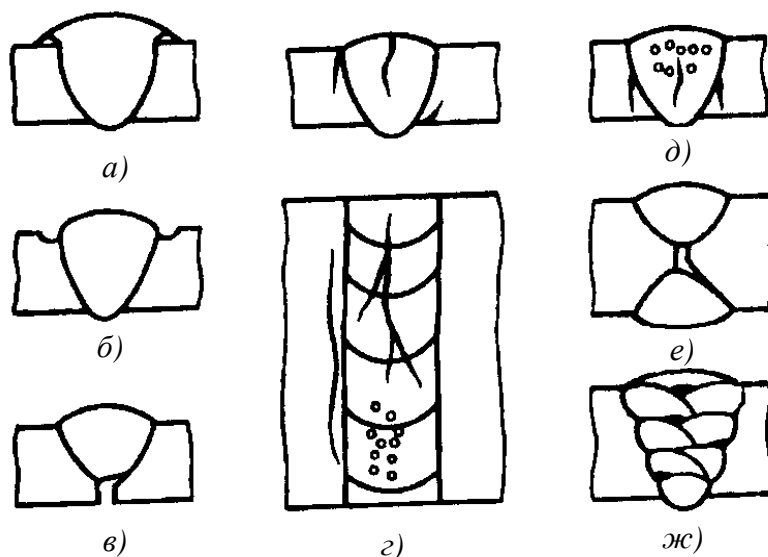


Рис. 1. Дефекты в сварных соединениях:
а-г – внешние; д-ж – внутренние

Отклонения в геометрии сварного шва и сварного соединения в виде подрезов, канавок, ряби, неполноты заполнения кратера, излишка металла, угловых и линейных смещений, вызванные неправильной техникой сварки или нетехнологичной конструкцией узла.

Наиболее характерные дефекты сварных соединений приведены на рис. 1.

2.2.3. Дефекты паяных соединений

Продольная трещина представляет собой разрыв металла, идущий параллельно плоскости спая. Она может располагаться в шве, в основном металле, в зоне спая. Возникают под действием собственных напряжений, образующихся при сборке, нагреве под пайку, кристаллизации металла шва и охлаждения паяного изделия.

Поперечная трещина – разрыв металла, идущий перпендикулярно плоскости спая. Она может возникнуть в шве, в основном металле и в зоне спая. Часто образуются при пайке разнородных материалов с резко различающимися физико-химическими свойствами.

Пора и газовая раковина – шарообразная или вытянутая плоскость, заполненная газом. Дефект связан с химическими реакциями, протекающими в металле, со скоплением окислов и нитридов, с газовыделениями и усадочными явлениями, происходящими при переходе металла из жидкого состояния в твердое.

Рассеянная пористость – разбросанные по достаточно большой области многочисленные поры и (или) раковины. Возникновение этого де-

фекта связано с химическим составом сплавов, она тем больше, чем шире диффузная зона затвердевающего сплава.

Сосредоточенная пористость – локальное скопление пор и (или) раковин. Образуется в результате выделения из металла при кристаллизации растворимых в нем газов.

Цепочка пор – поры и (или) раковины, возникающие примерно по одной линии. Причиной их образования может быть выделение в процессе пайки газов, образующихся при испарении определенных компонентов припоев и флюсов.

Пора удлиненная – заполненная газом червеобразная полость. Образуется в результате недостаточного питания соединительного зазора припоем и усадочных явлений, происходящих при кристаллизации.

Пузырь (вздутие) – большое газовое включение вблизи поверхности. Возникает из-за наличия влаги в флюсе и на заготовках припоя в виде адсорбированного локального слоя.

Твердотельное включение – дефект в виде поры, внутри которой имеется металлический остаток.

Оксидное включение – полость, заполненная оксидами. Причины их связывают с химическими реакциями, протекающими в металле, со скоплениями окислов и влиянием окисной пленки.

Включение чужеродного металла – полости заполненные чужеродным металлом.

Флюсовое и шлаковое включение – полости заполненные флюсом или шлаком. Образуются вследствие небрежной подготовки поверхности соединяемых элементов изделия перед пайкой, а также при слишком длительном нагреве под пайку, когда флюс, реагируя с основным металлом, образует твердые остатки, которые плохо вытесняются припоем.

Непроем – несплошное заполнение зазора припоем. Возникает из-за неправильного температурного режима, недостаточного затекания припоя в зазор, в результате неправильной укладки перед пайкой или недостаточного его количества, включений флюса, плохой очистки поверхности основного металла, несоблюдения требуемого зазора.

Неспай – отсутствие в определенных местах спая между основным металлом и припоем. Причиной неспая может быть локальное несмачивание основного металла.

Подрез – дефект поверхности в зоне спая в виде углубления, расположенного по всей длине или на отдельных участках зоны спая. Возникает из-за неправильной настройки аппаратуры и несоблюдения технологии пайки.

Наплыв пайки – дефект в виде наплавшего на основной металл припоя, неспаянного с основным металлом. Причиной может быть небрежная пайка.

Проплавление – дефект в виде сквозной несплошности в основном металле. Может возникать из-за дефектов в основном металле или слишком большой выдержки при пайке.

Неполномерный шов – неполное заполнение соединения припоем. Возможной причиной образования может быть недостаточный нагрев при пайке или недостаточное количество припоя.

Брызги – прилипшие к поверхности паянного соединения капли припоя. Причиной возникновения является небрежная пайка.

2.2.4. Дефекты, возникающие при различных видах обработки деталей

Закалочные трещины – разрывы металла, возникающие при охлаждении деталей преимущественно сложной формы в процессе закалки из-за высоких внутренних напряжений. Они могут появиться и после закалки на деталях, длительное время не подвергавшихся отпуску, уменьшающему внутренние напряжения.

Внутренние напряжения в закаленной детали складываются из термических напряжений, появляющихся вследствие термических объемных изменений при быстром и неравномерном охлаждении детали, и напряжений, возникающих вследствие объемных изменений при структурных превращениях. Внутренние напряжения в значительной мере зависят от исходной структуры детали, в частности от наличия карбидов в стали, от степени неоднородности состава (наличия зональной и дендритной ликвации) и неодинаковой величины зерна стали в различных местах детали.

Высокие и неравномерные внутренние напряжения при недостаточной жесткости детали вызывают ее коробление. Если же детали имеют ослабленные сечения, то могут возникнуть и трещины. Наиболее вероятные места зарождения закалочных трещин – места с резким изменением сечения, острые углы и подрезы.

Однако трещины при закалке нередко могут появляться и на деталях простой формы. В этом случае причиной образования трещин могут быть дефекты материала (волосовины, шлаковые включения, флокены, ковочные трещины) или несоблюдение режимов термической обработки деталей.

Отличительным признаком закалочных трещин является неопределенность их направления и извилистая форма. Закалочные трещины встречаются группами, но большей частью число их на детали невелико.

Шлифовочные трещины – группа мелких и тонких разрывов, как правило, в виде сетки на шлифованной поверхности металла. Возникают

при шлифовании сталей некоторых марок, склонных к образованию трещин, – закаленных высокоуглеродистых и легированных.

При шлифовке трещины возникают по двум причинам: 1) из-за неправильного режима термообработки деталей, например, очень резкого охлаждения, приводящего к значительным внутренним напряжениям; в этом случае достаточно даже небольших дополнительных напряжений термического и механического происхождения, получающихся в поверхностном слое при шлифовании абразивными кругами, чтобы появились поверхностные шлифовочные трещины; 2) вследствие местного перегрева металла при нарушении режимов шлифования – применении неподходящего для данного материала или «засаленного» круга, чрезмерном повышении подачи (давления), скорости шлифования (продолжительной задержке камня на одном месте) или недостаточном охлаждении. Чрезмерные местные перегревы поверхностного слоя закаленных сталей, обладающих пониженным коэффициентом теплопроводности, вызывают в нем высокие внутренние напряжения вследствие неравномерных объемных изменений при чередующемся нагреве и охлаждении. Эти напряжения приводят к образованию сетки шлифовочных трещин.

У малоуглеродистых сталей, обладающих более высоким коэффициентом теплопроводности и повышенными пластическими свойствами, образование трещин при шлифовке маловероятно.

Надрывы – неглубокие трещины, возникающие в деталях в результате холодной деформации металла, например, при сверлении или разверстке отверстий тупым сверлом или разверткой, холодной штамповке, особенно когда металл имеет недостаточно высокие пластические свойства из-за дефектов структуры. Кроме того, надрывы могут образоваться при горячей деформации (ковке, штамповке, протяжке с большой степенью деформации).

2.3. Эксплуатационные дефекты

Трещины – надрывы в поверхностном слое металла образуются в результате высоких однократно приложенных напряжений (растяжение, изгиб, кручение), когда нагрузка превышает прочность детали, например, при нарушении технологии правки детали, демонтаже или монтаже детали с хрупким поверхностным слоем или при перегрузке детали в эксплуатации (работа в нерасчетном режиме).

Трещины усталости являются наиболее распространенными эксплуатационными дефектами. Основная причина усталостных разрушений деталей – действие высоких переменных напряжений. Трещины усталости возникают в местах концентрации напряжений: по галтелям, в местах с

резкими переходами сечений и наличием подрезов, у основания резьбы и зубьев шестерен, в углах шпоночных канавок, у отверстий для смазки или в местах других конструктивных или технологических концентраторов напряжений. Трещины усталости появляются также в местах дефектов металлургического и технологического происхождения или следов грубой механической обработки поверхности (глубоких рисок, следов резца и т.п.).

Трещины усталости различают по внешнему виду. Чаще всего они бывают двух типов: а) поперечные или кольцевые трещины, развивающиеся на цилиндрических деталях по окружности в сечении, перпендикулярном к оси детали; б) трещины, расположенные под углом к оси детали.

В зоне усталостного разрушения отсутствуют какие-либо признаки пластической деформации даже у самых пластичных материалов. Ширина раскрытия усталостной трещины у выхода ее на поверхность в начальной стадии разрушения не превышает нескольких микрон.

Трещины термической усталости. Разрушение деталей после многократного воздействия периодически изменяющегося во времени уровня термических напряжений представляет собой явление термической усталости. Для разрушения при термической усталости характерно множественное возникновение трещин, что объясняется локальностью действия термических напряжений и относительно быстрой их релаксацией. Характерными для термоусталости являются трещины с широкими полостями и тупыми окончаниями – трещины «разгара».

Стенки большинства трещин интенсивно окислены. Трещины термоусталости могут иметь местные уширения, когда они пересекают границы зерен, неблагоприятно ориентированные для развития по ним трещин.

Трещины химической усталости. Разрушение материала в результате действия повторно приложенных нагрузок и коррозионной среды называют коррозионно-усталостным разрушением. Коррозионно-усталостные трещины – это в большинстве случаев многочисленные трещины, разветвляющиеся по мере роста и заканчивающиеся пучками, напоминающими корневую систему растений.

Трещины контактной усталости – особый вид разрушения, представляющий собой контактные усталостные выкрашивания. Поверхностные контактные разрушения – фреттинг-коррозия или контактная усталость являются неполными разрушениями деталей, а сочетаниями многочисленных, часто очень мелких сколов.

Контактное усталостное выкрашивание (образование питтингов) с последующим развитием усталостного разрушения по сечению деталей наблюдается в таких деталях, как подшипники качения и скольжения, на зубьях шестерен, замковых соединениях и пр.

Кавитационное растрескивание. Кавитация означает образование полости на поверхности твердого тела при разрушении газообразных пузырьков. Лопающиеся пузырьки производят разрушения в слое металла на границе с жидкостью. Усталостная кавитация наблюдается, когда колеблющаяся стенка граничит с жидкостью (например, в циклически нагружаемых подшипниках скольжения).

Разрушение под влиянием водорода (водородная хрупкость). Под влиянием растворенного водорода металлы могут настолько охрупчиваться, что уже при приложении малого растягивающего напряжения образуются трещины. Источниками поступления водорода могут явиться термическая диссоциация воды при металлургических процессах (литье, сварка), диссоциация газов, коррозия, гальванические процессы и т.п.

Трещины ползучести. Разрушение деталей после пластического течения их материала под воздействием постоянного напряжения при относительно высоких температурах называется разрушением от ползучести. Для ползучести является характерным множественное трещинообразование. Большое влияние на характер разрушения оказывает размер зерен и их разновидность. Для материала с разнородным зерном характерно межзеренное разрушение в области малых зерен и внутризеренное – по более крупным.

Растрескивание под действием термических напряжений. Разрушение под действием термических напряжений происходит только вследствие теплового градиента, без приложения внешней механической нагрузки. Причиной возникновения трещин при этом является образование локальных полей напряжений.

Коррозионные повреждения (очаговые, межкристаллитные и др.) встречаются на разных деталях. Степень коррозионного повреждения зависит от наличия агрессивных сред, качества защитных покрытий, неблагоприятного сочетания материалов деталей в узле и др. В эксплуатации коррозией часто поражены закрытые, внутренние полости, труднодоступные для осмотра.

Коррозионное растрескивание – особенно опасный вид коррозионного разрушения, происходящее при одновременном воздействии статических растягивающих напряжений (внешних или внутренних) и коррозионной среды. При этом наблюдается хрупкое разрушение и оно направлено перпендикулярно действию растягивающих напряжений. Процесс развития коррозионного разрушения состоит из трех стадий: 1) медленное развитие трещин, когда процесс в основном определяется коррозионным фактором; 2) скачкообразное, относительно быстрое развитие трещин при увеличивающемся влиянии механического фактора; 3) лавинообразное разрушение (долом).

Особенностью трещин при коррозионном растрескивании является их сильная разветвленность.

Механические повреждения поверхности – забоины, вмятины, надирь, риски, местный наклеп. Их причины могут быть разнообразными.

3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При *предварительном* контроле основного и сварочных материалов устанавливают, удовлетворяют ли сертификатные данные в документах заводов-поставщиков требованиям, предъявляемым к материалам в соответствии с назначением и ответственностью сварных узлов и конструкций. Осматривают поверхности основного материала, сварочной проволоки и покрытий электродов в целях обнаружения внешних дефектов. Перед сборкой и сваркой заготовок проверяют, соответствуют ли их форма и габаритные размеры установленным, а также контролируют качество подготовки кромок и свариваемых поверхностей. При изготовлении ответственных конструкций сваривают контрольные образцы. Из них вырезают образцы для механических испытаний. По результатам испытаний оценивают качество основного и сварочных материалов, а также квалификацию сварщиков, допущенных к сварке данных конструкций. При текущем контроле проверяют соблюдение сварщиками установленных параметров режима сварки и исправность работы сварочного оборудования. Осматривают сварные швы для выявления внешних дефектов и замеряют их геометрические размеры. Замеченные отклонения устраняют непосредственно в процессе изготовления конструкции.

Готовые сварные и паяные соединения в зависимости от назначения и ответственности конструкции подвергают приемочному контролю: внешнему осмотру для выявления поверхностных дефектов и обмеру сварных швов; испытаниям на плотность, магнитному контролю, контролю рентгеновским и гамма-излучением, ультразвуком для выявления внутренних дефектов.

На плотность испытывают емкости для хранения жидкостей, сосуды и трубопроводы, работающие при избыточном давлении, путем гидравлического и пневматического нагружений, с помощью течеискателей и керосином.

При гидравлическом испытании емкости наполняют водой, а в сосудах и трубопроводах создают избыточное давление жидкости, превышающее в 1,5-2 раза рабочее давление. В таком состоянии изделие выдерживают в течение 5-10 мин. Швы осматривают в целях обнаружения течи, капель и отпотеваний. При пневматическом испытании в сосуды нагнетают сжатый воздух под давлением, которое на 0,01-0,02 МПа превышает

атмосферное. Соединение смачивают мыльным раствором или опускают в воду. Наличие неплотности в швах определяют по мыльным или воздушным пузырькам.

При испытании с помощью течеискателей внутри сосуда создают вакуум, а снаружи швы обдувают смесью воздуха с гелием. При наличии неплотностей гелий проникает в сосуд, откуда отсасывается в течеискатель со специальной аппаратурой для его обнаружения.

При испытании керосином швы емкости с одной стороны смазывают керосином, а с другой – мелом. При наличии неплотности на поверхности шва, окрашенного мелом, появляются темные пятна керосина. Благодаря высокой проникающей способности керосина, можно обнаружить поры диаметром в несколько микрометров.

Магнитный контроль основан на намагничивании сварных или паяных соединений и обнаружении полей магнитного рассеяния на дефектных участках. Изделие намагничивают, замыкая им магнитопровод электромагнита или помещая его внутрь соленоида. На поверхность соединения наносят порошок железной окалины или его масляную суспензию. Изделие слегка обстукивают для облегчения подвижности частиц порошка. По скоплению порошка обнаруживают дефекты, залегающие на глубине до 6 мм.

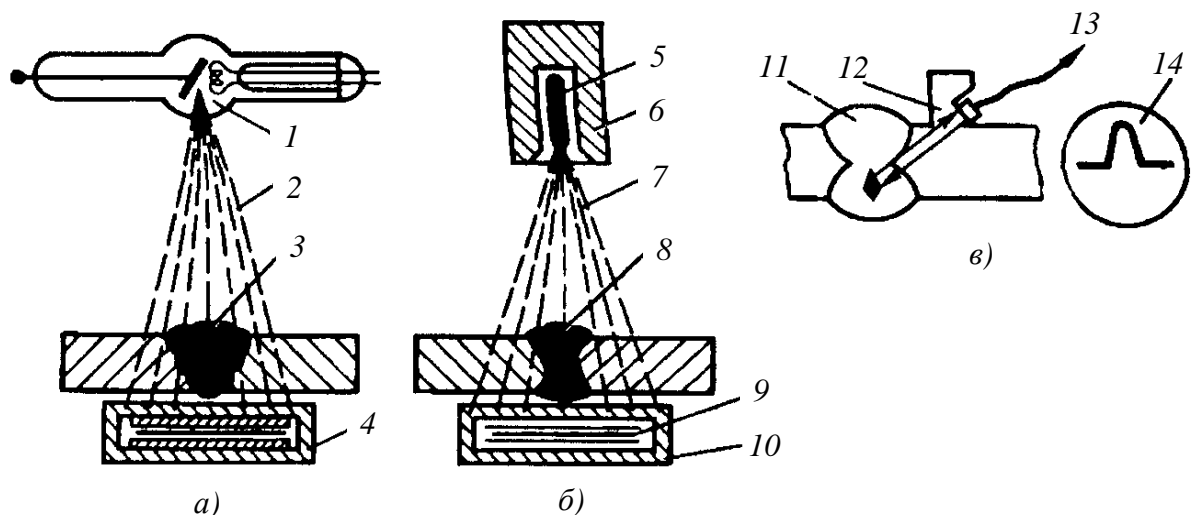


Рис. 2. Методы контроля сварных соединений:
а – рентгеновский; б – гамма-излучением; в – ультразвуковой

Рентгеновский контроль основан на различном поглощении рентгеновского излучения участками металла с дефектами и без них. Сварные соединения просвечивают с помощью специальных рентгеновских аппаратов. С одной стороны шва 3 на некотором расстоянии от него помещают рентгеновскую трубку 1, с другой (противоположной) стороны к нему плотно прижимают кассету 4 с рентгеновской пленкой (рис. 2, а). Рентгеновское излучение 2, проходя через сварное соединение, облучает пленку.

Для сокращения экспозиции просвечивания в кассету с пленкой закладывают усиливающие экраны. После проявления пленки на ней фиксируют участки повышенного потемнения, которые соответствуют дефектным местам в сварном соединении. Вид и размер дефектов определяют сравнением пленки с эталонными снимками.

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты позволяют просвечивать сварные соединения из стали толщиной 10-200 мм, алюминия до 300 мм, меди до 25 мм. При этом фиксируют дефекты, размеры которых составляют 2 % от толщины металла.

При контроле сварных соединений *гамма-излучением* источником излучения служат радиоактивные изотопы: кобальт-60, тулий-170, иридий-192 и др. Ампулу с радиоактивным изотопом 5 помещают в свинцовый контейнер 6 (рис. 2, б). Техника просвечивания сварных соединений 8 гамма-излучением 7 подобна технике рентгеновского контроля. Этим способом выявляют аналогичные внутренние дефекты по потемнению участков пленки 9, помещенной в кассете 10. Контроль гамма-излучением по сравнению с рентгеновским имеет ряд преимуществ. Благодаря портативности аппаратуры, его можно применять в любых условиях (в цехах, полевых условиях, на монтаже и т.п.). Кроме того, контроль гамма-излучением – менее дорогостоящий способ. Недостатком его является низкая чувствительность при просвечивании малых толщин (до 50 мм). На больших толщинах чувствительность такая же, как у рентгеновского метода.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн отражаться от поверхности раздела двух сред. С помощью пьезометрического щупа 12 ультразвукового дефектоскопа 13, помещаемого на поверхность сварного или паяного соединения, в металл 11 посылают ультразвуковые колебания (рис. 2, в). Ультразвук вводят в изделие отдельными импульсами под углом к поверхности металла. При встрече с поверхностью дефекта возникает отраженная ультразвуковая волна. В перерывах между импульсами щуп служит приемником отраженного от дефекта ультразвука. Дефект в соединении в виде пика 14 фиксируется на экране осциллографа. Промышленные ультразвуковые дефектоскопы позволяют обнаруживать дефекты на глубине 1-250 мм. При этом можно выявлять дефекты с минимальной площадью (1-2 мм). С помощью ультразвукового метода можно выявить наличие дефекта и место его расположения. В ряде случаев, например, при контроле крупногабаритных изделий и изделий большой протяженности (трубопроводов), успешно применяется сочетание методов акустической эмиссии и ультразвукового. С помощью акустической эмиссии с высокой точностью определяется месторасположение дефекта, а ультразвуковым методом – параметры дефекта.

3.1. Принцип методов ультразвукового контроля

Методы ультразвукового контроля основаны на исследовании процесса распространения упругих колебаний с частотой 0,5-25 МГц в контролируемых изделиях. Согласно общей схеме ультразвукового контроля сварки (рис. 3) акустическое поле источника (излучателя) 1 распространяется в объеме материала контролируемого изделия 2. При наличии дефекта 3 акустическое поле изменяет свою структуру.

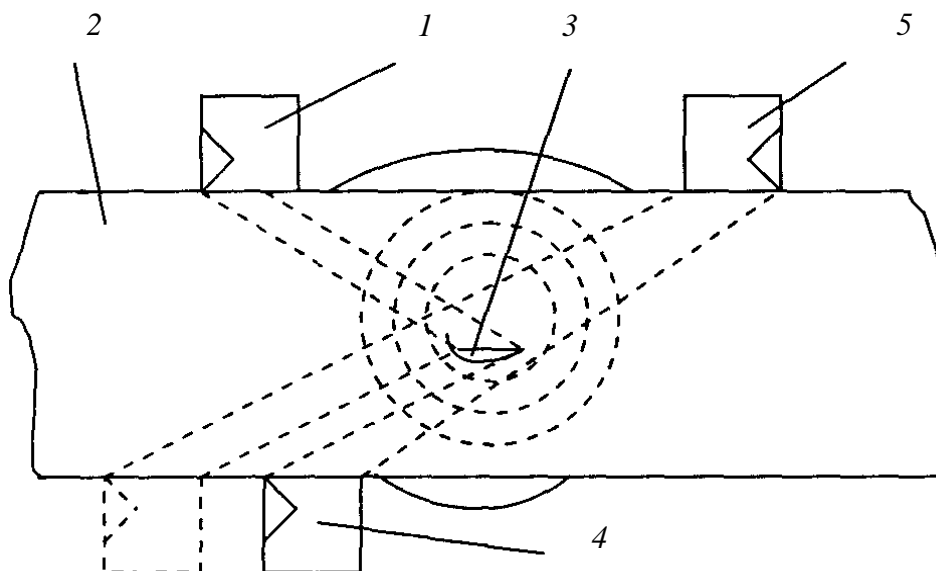


Рис. 3. Схема ультразвукового контроля сварки:
1 – излучатель; 2 – контролируемое изделие;
3 – дефект; 4, 5 – приемник акустических колебаний

За дефектом имеется «тень» и поверхность дефекта отражает ультразвуковые колебания. Регистрируя с помощью приемника 4 ослабление акустической волны или с помощью приемника 5 появление отраженной акустической волны, можно судить о наличии дефектов в сварном шве.

3.2. Классификация методов ультразвукового контроля

Для анализа процесса распространения ультразвуковых колебаний в контролируемых изделиях и соединениях используют три основных метода, различающихся один от другого по признаку обнаружения дефекта: *теневого*, *зеркально-теневого* и *эхо-метод*.

При *теновом* методе признаком обнаружения дефекта служит уменьшение интенсивности (амплитуды) прошедшей через изделие ультразвуковой волны от излучающего источника к приемному. Искатели рас-

полагают на противоположных поверхностях изделия, что позволяет применять этот метод только при наличии двустороннего доступа к изделию.

При *зеркально-теновом* методе дефект обнаруживают по уменьшению интенсивности (амплитуды), отраженной от противоположной поверхности изделия ультразвуковой волны. Противоположную поверхность, зеркально отражающую ультразвук, называют донной поверхностью, а отраженный от нее импульс – донным импульсом.

При *эхо-методе* признаком обнаружения дефекта является прием искателем эхо-импульса, отраженного от самого дефекта.

Если о наличии дефекта судят по появлению эхо-импульса от дефекта и по уменьшению донного импульса, то это значит, что контроль ведут одновременно по двум методам: эхо-методу и по зеркально-теновому; такое сочетание методов при контроле сварных соединений для краткости называют эхо-теновым методом.

При любом методе контроля возможно использование двух искателей, один из которых выполняет функции излучения, а другой – приема. Такая схема включения искателей называется *раздельной*. В то же время при импульсном излучении для зеркально-тенового и эхо-методов возможно применение одного искателя, включенного по совмещенной схеме, при котором один и тот же искатель выполняет функции излучения зондирующих импульсов и приема эхо-сигналов.

3.3. Основные измеряемые характеристики дефектов при ультразвуковом контроле

Признаком обнаружения дефекта при ультразвуковом контроле является прием эхо-сигнала от отражателя, расположенного в металле шва, амплитуда которого превышает заданный уровень. Для получения информации о выявленных дефектах используют следующие основные измеряемые характеристики дефекта: максимальную амплитуду эхо-сигнала от дефекта, координаты расположения дефекта в шве, условные размеры дефекта, количество дефектов на определенной длине шва.

3.3.1. Амплитуда эхо-сигнала от дефекта

Амплитуда эхо-сигнала – наиболее простая измеряемая характеристика, которая при прочих равных условиях зависит от размеров, ориентации и конфигурации отражающей поверхности, глубины ее расположения и шероховатости.

Волна того же типа, что и падающая, отражается только под углом, равным углу падения, если неровности отражающей поверхности много меньше длины волны. Такая отражающая поверхность называется зеркальной, а отражение от нее зеркальным. Если поверхность раздела двух сред имеет неровности, размерности которых соизмеримы с длиной ультразвуковой волны, наблюдается диффузное отражение, при котором лучи рассеиваются в разные стороны под различными углами.

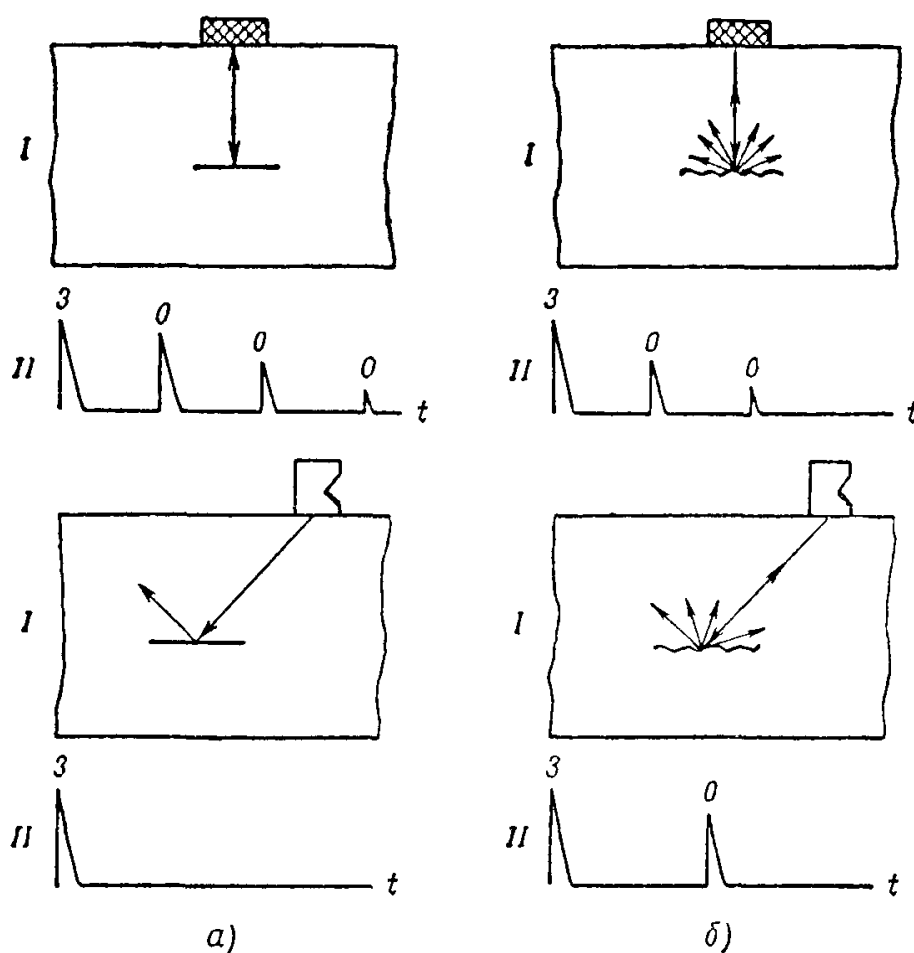
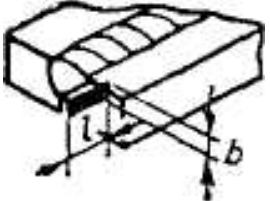
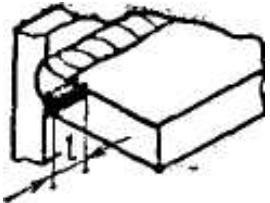
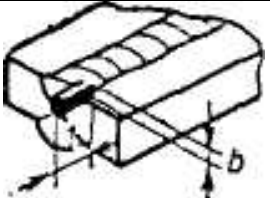
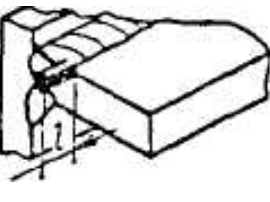


Рис. 4. Зеркальное (а) и диффузное (б) отражение при нормальном и наклонном падении волны на отражающую поверхность: *I* – схемы распространения ультразвукового пучка; *II* – распределение во времени *t* ультразвуковых импульсов на преобразователе; *З* – зондирующий импульс; *О* – отраженный импульс

Большинство несплошностей, встречающихся в сварных соединениях (непровары, трещины, пленки), имеют поверхности, вызывающие диффузное отражение распространяющихся в металле ультразвуковых волн, применяемых при дефектоскопии. Амплитуда эхо-сигнала, отраженного от неровной поверхности, меньше, чем эхо-сигнала от зеркальной при падении ультразвуковой волны перпендикулярно к границе раздела сред (рис. 4, а).

Основные дефекты в сварных соединениях и соответствующие им модели

Наименования и изображения реальных дефектов в сварных соединениях			Модели дефектов		
			Вид отражателя	Амплитуда U_D эхо-сигнала от отражателя в дальней зоне	
1			2	3	
Шлаковые включения и поры	округлой формы			Сфера радиусом b	$U_D = k \frac{b}{2l_i (r + Dr)^2} \cdot \exp[-2(d_i r + d_1 r_1)]$
	продолговатые	$l < D_\Delta$		Цилиндр длиной l и радиусом b	$U_D = k \frac{l\sqrt{2b}}{l_i^{3/2} (r + Dr)^2} \cdot \exp[-2(d_i r + d_1 r_1)]$
		$l > D_\Delta$		Бесконечный цилиндр радиусом b	$U_D = k \frac{b}{2l_i (r + Dr)^{3/2}} \cdot \exp[-2(d_i r + d_1 r_1)]$
	Трещины продолговатые	$l < D_\Delta$ $l \approx b$		Диск радиусом b	$U_D = k \frac{\rho \cdot b^2}{l_i^2 (r + Dr)^2} \cdot \exp[-2(d_i r + d_1 r_1)]$
$l > D_\Delta$ $l \gg b$			Бесконечная полоса высотой b	$U_D = k \frac{\sqrt{2} b}{l_i^{3/2} (r + Dr)^{3/2}} \cdot \exp[-2(d_i r + d_1 r_1)]$	

		1	2	3	
Непровары острой формы в корне шва при раздел- ке	Х- и К- образной	$l < D_{\Delta}$ $l \approx b$		Диск радиусом b	$U_{\Delta} = k \frac{\rho \times b^2}{l_t^2 (r + Dr)^2} \cdot \exp[-2(d_t r + d_1 r_1)]$
		$l > D_{\Delta}$ $l \gg b$		Бесконечная полоса высотой b	$U_{\Delta} = k \frac{\sqrt{2} b}{l_t^{3/2} (r + Dr)^{3/2}} \cdot \exp[-2(d_t r + d_1 r_1)]$
	V-образной	$l < D_{\Delta}$ $l \approx b$		Угловой отража- тель шириной l и высотой b	$U_{\Delta} = k \frac{l b R(a) R(90 - a) \sin a}{l_t^2 (r + Dr)^2} \cdot \exp[-2(d_t r + d_1 r_1)]$
		$l > D_{\Delta}$ $l \gg b$		Бесконечный угло- вой отражатель высотой b	$U_{\Delta} = k \frac{\sqrt{2} b R(a) R(90 - a) \sin a}{l_t^{3/2} (r + Dr)^{3/2}} \cdot \exp[-2(d_t r + d_1 r_1)]$

Примечание. $k = \frac{U_s S_a D_{\Delta}(b) \cos a}{\cos b}$; $Dr = r_1 \frac{C_l \cos a}{C_t \cos b}$; D_{Δ} – диаметр ультразвукового пучка в сечении, где расположен дефект.

В то же время при падении ультразвуковой волны под некоторым углом к границе раздела энергия волны, отраженной в направлении к излучателю, тем больше, чем значительнее неровности отражающей поверхности (рис. 4, б).

При взаимодействии ультразвуковой волны излучателя с локальным дефектом вокруг последнего образуется акустическое поле отраженной волны. Интенсивность отраженной волны зависит от размеров и формы дефекта; направления, в котором происходит отражение; расстояния от дефекта.

Интенсивность отраженного акустического поля дефекта удобнее всего представить в сферических координатах в виде индикатрисы рассеяния.

Амплитуда эхо-сигнала зависит и от взаимного положения совмещенного искателя и дефекта (рис. 5).

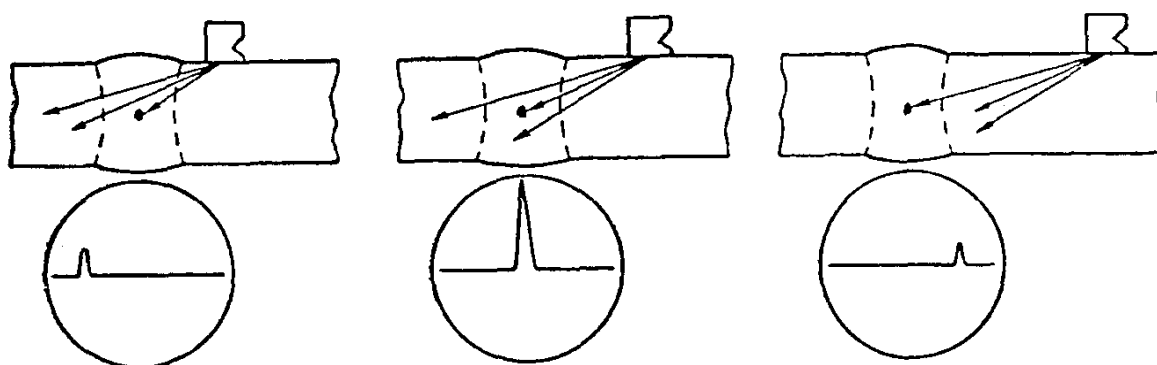


Рис. 5. Зависимость амплитуды эхо-сигнала, отраженного дефектом, от положения наклонного искателя

Для приближенной оценки амплитуды эхо-сигнала от реального дефекта последние заменяют эквивалентными моделями в виде отражателей правильной геометрической формы. В табл. 1 приведены основные виды дефектов и соответствующие им модели, а также выражения для расчета максимальных амплитуд U_d эхо-сигналов от моделей дефектов, расположенных в дальней зоне искателя.

В выражениях, приведенных в таблице, приняты обозначения: S_a – площадь пьезоэлектрического преобразователя в искателе; α – угол наклона акустической оси; λ_t – длина поперечной волны в контролируемом металле; b и l – размеры модели дефекта; r – путь ультразвука в металле от искателя до модели дефекта; r_1 – средний путь ультразвука в призме искателя; δ_t и δ_1 – коэффициенты затухания поперечной волны в контролируемом металле и продольной волны в материале призмы соответственно; Δr – приведенный путь ультразвука в призме искателя, равный

$$\Delta r = r_1 \frac{C_{11} \cos \alpha}{C_{12} \cos \beta}.$$

3.3.2. Координаты дефекта

Координаты дефекта при знании технологии сварки контролируемых соединений, и особенно при наличии статистических данных о распределении дефектов различного вида по сечению шва, позволяют с определенной вероятностью предполагать вид (характер) выявленного дефекта. Кроме того, координаты дефекта необходимы для ремонта забракованного участка.

При контроле изделий прямым искателем измерению подлежит лишь глубина H расположения отражающей поверхности (рис. 6, а):

$$H = C_{t2} \cdot t / 2,$$

где t – время прохождения ультразвукового импульса от поверхности, на которой установлен искатель, до дефекта и обратно.

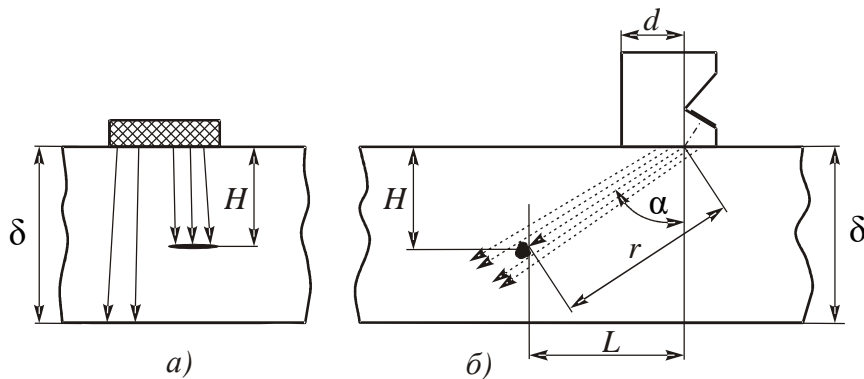


Рис. 6. Определение координат залегания отражающей поверхности

Определение координат залегания отражающей поверхности (глубины H и расстояния L от центра излучения искателя) при прозвучивании наклонным искателем основывается на измерении времени t прохода импульса в металле и последующем пересчете этой величины в координаты H и L по известному углу ввода луча α (рис. 6, б):

$$H = r \times \cos \alpha = \frac{C_{t2}(T - 2t_n)}{2} \cos \alpha ; \quad L = r \times \sin \alpha = \frac{C_{t2}(T - 2t_n)}{2} \sin \alpha ,$$

где T – интервал времени между моментом излучения зондирующего и моментом приема отраженного импульса; время прохождения ультразвука через призму искателя.

3.3.3. Условные размеры дефекта

К условным размерам выявленных дефектов относят их условную протяженность l , условную ширину ΔX и условную высоту ΔH (рис. 7).

Условная протяженность характеризует размеры дефекта вдоль шва, а условная ширина и условная высота – размеры дефекта в сечении шва.

Величину условной протяженности дефекта измеряют длиной зоны перемещения искателя вдоль шва, в пределах которой воспринимается эхо-сигнал от выявленного дефекта. Аналогично, при перемещении искателя по нормали ко шву измеряют величину условной ширины дефекта. Величину условной высоты дефекта вычисляют по разности интервалов времени между зондирующим и эхо-импульсом при крайних положениях искателя, между которыми измеряли условную ширину ΔX .

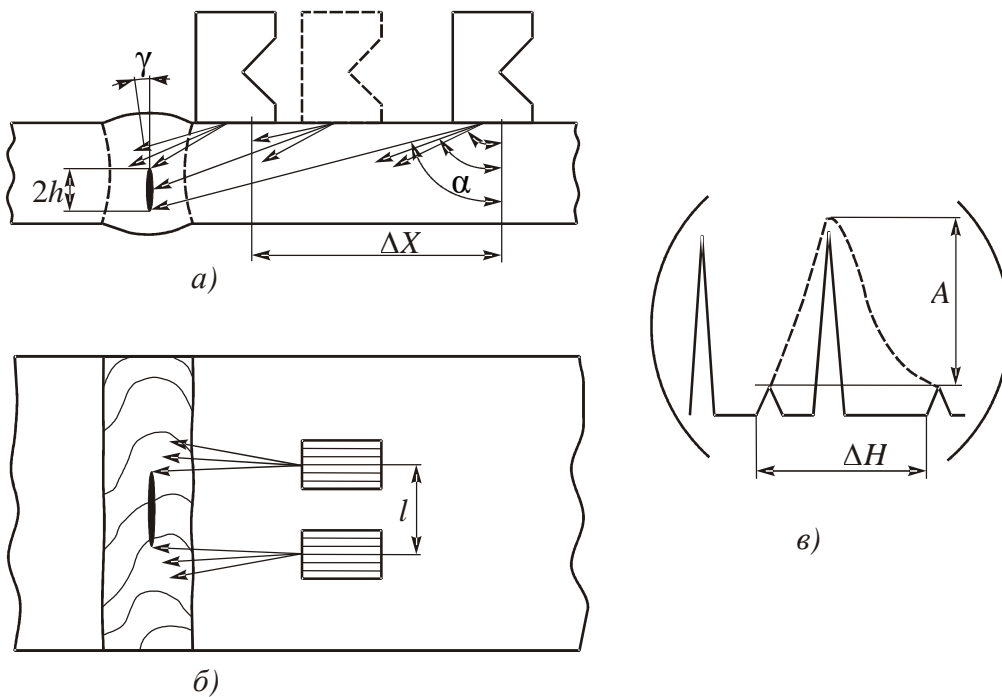


Рис. 7. Условные размеры дефекта: а) – ширина; б) – длина; в) – высота

Возможны два способа задания крайних положений искателя при измерении условных размеров l , ΔX и ΔH .

Способ 1. За крайние положения искателя принимают такие, при которых амплитуда эхо-сигнала от выявленного дефекта уменьшается до значения U_{\min} , составляющего определенную часть A от максимального значения U_{\max} , т.е. $U_{\min} = A \cdot U_{\max}$.

При измерении условных размеров по способу 1 значения l , ΔX и ΔH дефектов, истинные размеры которых не превышают размеры ультразвукового пучка в месте расположения дефекта, в основном определяются конфигурацией и ориентацией дефектов и монотонно растут с увеличением глубины их расположения. При этом в большинстве случаев из дефектов, расположенных в дальней зоне искателя, наибольшие условные размеры будут иметь дефекты округлой формы. Условные размеры округлых дефектов, измеренные по способу 1, не зависят от их истинного размера.

Плоские дефекты, ориентированные нормально к акустической оси искателя, размеры которых меньше ширины пучка, имеют условные размеры меньше условных размеров отражателя округлой формы, расположенного на той же глубине, что и дефект. Если условные размеры выявленного дефекта существенно превышают условные размеры соответствующего ненаправленного отражателя, то это значит, что дефект значительно больше ширины пучка, равной условному размеру (l или ΔX) ненаправленного отражателя, расположенного на той же глубине, что и дефект.

Способ 2. За крайние положения искателя принимают такие, при которых амплитуда эхо-сигнала достигала некоторого заданного абсолютного значения U_{\min} , не зависящего от максимальной амплитуды эхо-сигнала.

Значения условных размеров во многом зависят от максимальной амплитуды эхо-сигнала, отраженного от дефекта. Поэтому условные размеры ненаправленных дефектов связаны с их истинными размерами постольку, поскольку последние определяют амплитуду эхо-сигнала (рис. 8, а). Измерение условных размеров дефекта с круговой индикатрисой рассеяния не дает никакой новой полезной информации по сравнению с той, которая содержится в амплитуде эхо-сигнала от дефекта. Более того, значения l , ΔX и ΔH дефекта, измеренные по этому способу при постоянной условной чувствительности, не монотонно зависят от глубины залегания дефекта.

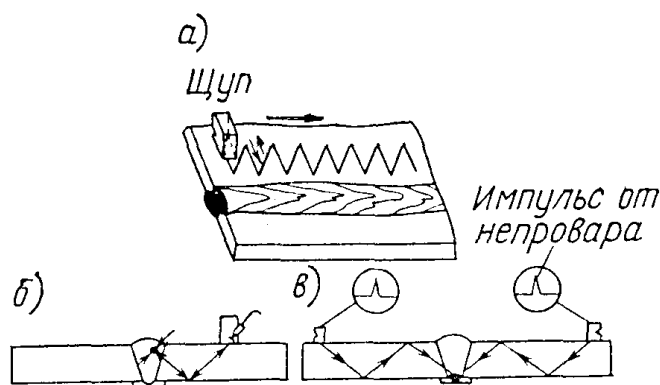


Рис. 8. Схема проведения ультразвукового контроля: а – перемещение призматического щупа по поверхности изделия; б – контроль прямым лучом; в – контроль отраженным лучом

В зависимости от поставленной задачи может быть использован тот или другой способ задания крайних положений искателя при измерении условных размеров дефекта.

3.4. Методика ультразвукового контроля

Перед началом ультразвукового контроля зачищают поверхность сварного соединения на расстоянии 50-80 мм с каждой стороны шва, удаляя брызги металла, остатки шлака и окалину. Зачистку выполняют ручной шлифовальной машинкой, а при необходимости еще и напильником или наждачной бумагой. Чтобы обеспечить акустический контакт между щупом-искателем и изделием, зачищенную поверхность металла непосредственно перед контролем тщательно протирают и наносят на нее слой контактной смазки. В качестве смазки применяют автол марок 6, 8, 18, компрессорное, трансформаторное или машинное масло.

Затем проверяют правильность показаний дефектоскопа на эталонах сварных швов с заранее определенными дефектами.

Контроль стыковых соединений проводят путем поочередной установки щупа по обеим сторонам проверяемого шва.

В процессе контроля щуп-искатель плавно перемещают вдоль обеих сторон шва по зигзагообразной линии (см. рис. 8, *а*), систематически поворачивая его на $5-10^\circ$ в обе стороны для выявления различно расположенных дефектов.

Прозвучивание проводят как прямым (рис. 8, *б*) так и отраженным (рис. 8, *в*) лучом. Стыковые соединения при толщине металла более 20 мм обычно проверяют прямым лучом. При толщине металла менее 20 мм усиление шва не дает возможности установить щуп так, чтобы ультразвуковой луч проходил через корень шва. В этих случаях контроль осуществляют однократно или двукратно отраженными лучами. При толщине металла менее 8 мм его прозвучивают многократно отраженными лучом.

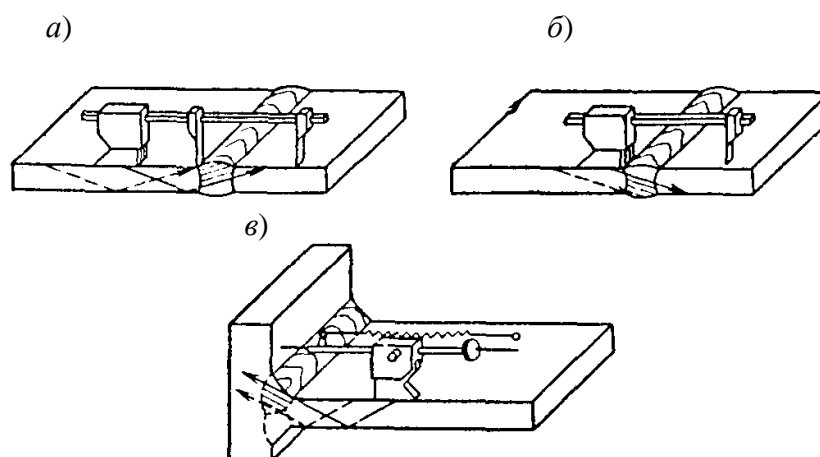


Рис. 9. Держатели призматических щупов
а – для контроля стыковых швов отраженным лучом;
б – для контроля стыковых швов прямым лучом;
в – для контроля угловых швов

Пределы перемещения щупа поперек шва зависят от угла ввода луча и способа прозвучивания и определяются по номограммам, прилагаемым к инструкции на эксплуатацию дефектоскопа. Чтобы обеспечить перемещение щупов в заданных пределах, их устанавливают в специальный держатель (рис. 9).

При обнаружении дефекта в сварном шве на экране дефектоскопа появляется импульс. Условную протяженность его (как было описано выше) измеряют длиной зоны перемещения искателя-щупа вдоль шва, в пределах которой наблюдается появление и исчезновение импульса (рис. 10, а).

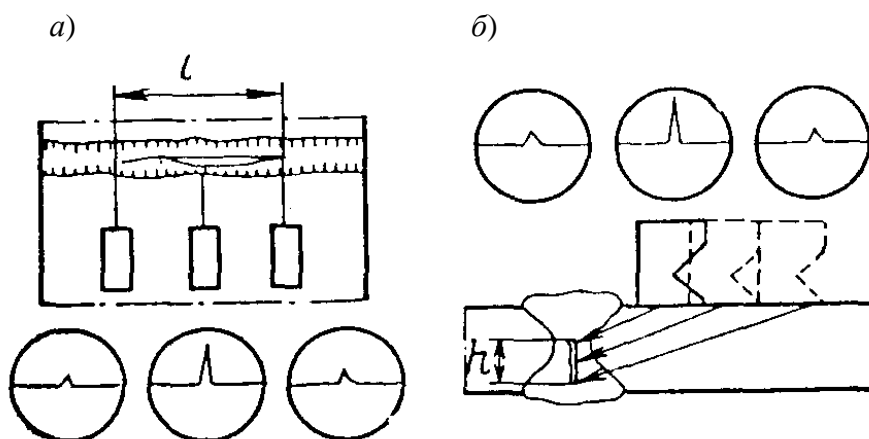


Рис. 10. Схема определения размеров дефекта в стыковом шве: а – протяженности l ; б – высоты h

Условную высоту дефекта определяют как разность глубин, измеренных в крайних положениях искателя-щупа, в которых появляется и исчезает импульс при (рис. 10, б). Условную высоту дефектов, имеющих большую протяженность при перемещении щупа перпендикулярно оси шва, измеряют в месте, где импульс от дефектов имеет наибольшую амплитуду.

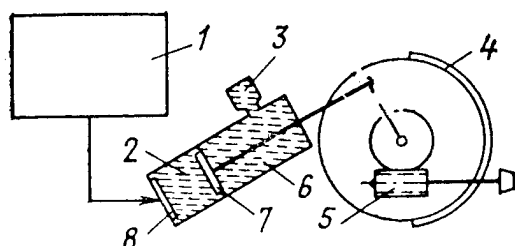


Рис. 11. Конструктивная схема жидкостного глубиномера: 1 – генератор дефектоскопа; 2 – цилиндр; 3 – компенсирующий объем; 4 – глубиномер; 5 – механизм перемещения поршня; 6 – жидкость; 7 – поршень; 8 – пьезоэлектрическая пластинка

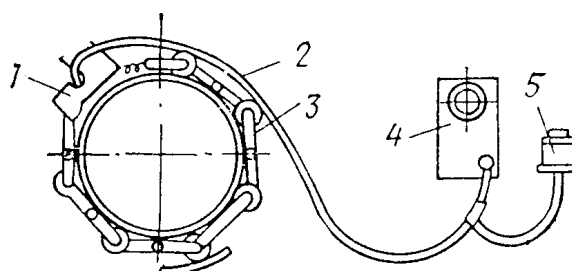


Рис. 12. Схема автоматизированного контроля стыков трубопроводов с помощью специального приспособления: 1 – контрольный механизм; 2 – труба; 3 – роликовая цепь; 4 – коробка со щупом; 5 – ультразвуковой дефектоскоп

Глубину залегания дефекта определяют при помощи глубинометров. Жидкостный глубинометр (рис. 11) состоит из пьезоэлектрической пластинки, которая возбуждается от генератора дефектоскопа одновременно с основной излучающей пьезоэлектрической пластинкой щупа-искателя. Эта пластинка помещена в цилиндр с компенсирующим объемом. Цилиндр наполнен жидкостью и имеет поршень, связанный со шкалой глубинометра. При прозвучивании сварного шва на экране электронно-лучевой трубки вместе с начальным и донным сигналами появляется так называемый служебный импульс, отраженный от поршня цилиндра глубинометра. Положение его на экране трубки дефектоскопа определяется положением поршня в цилиндре. Передвигая поршень, совмещают служебный импульс с импульсом, отраженным от дефекта, и по шкале глубинометра определяют глубину залегания дефекта. При совмещении поршня с донным импульсом можно определить толщину металла. Подобные глубинометры могут быть присоединены к любому ультразвуковому импульсному дефектоскопу.

Повышение скорости контроля можно достичь применением несложных устройств (рис. 12), позволяющих осуществить перемещение дефектоскопа вдоль шва и возвратно-поступательное движение щупа. Щуп-искатель устанавливается на тележке устройства и соединяется с ультразвуковым дефектоскопом. На этой тележке находится механизм передвижения, состоящий из электродвигателя мощностью 12 Вт, червячных пар и кривошипного механизма.

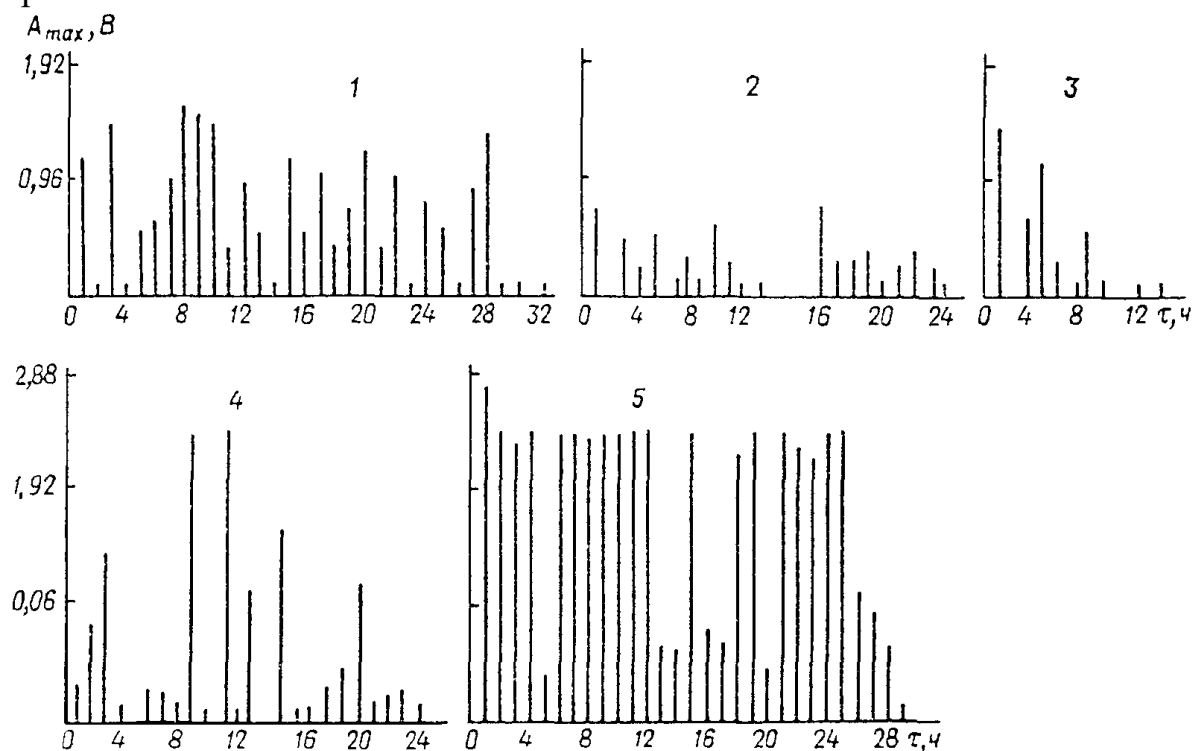


Рис. 13. Зависимость амплитуд сигналов акустической эмиссии A_{max} от продолжительности наблюдения за поведением образцов 1-5

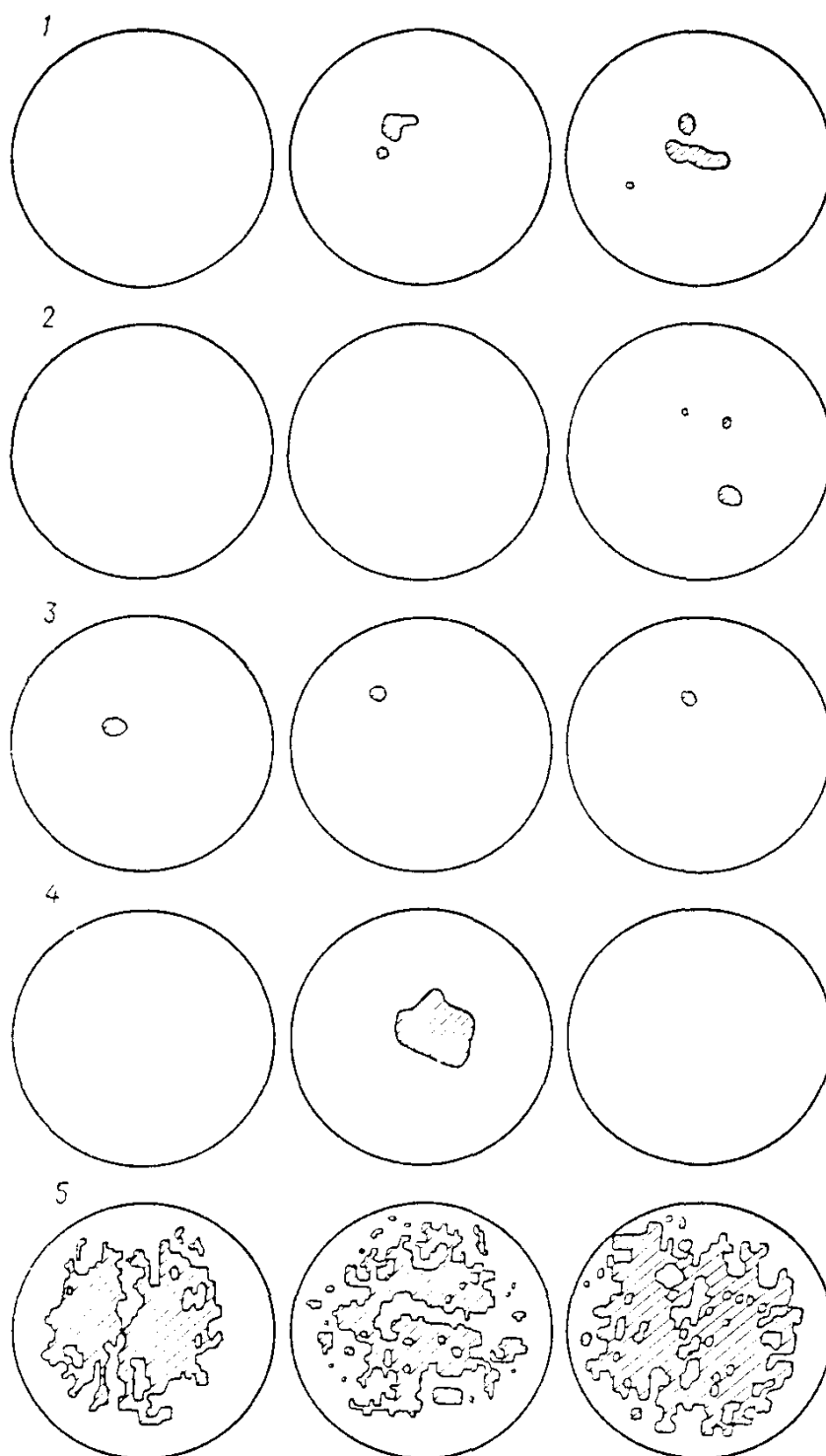


Рис. 14. Карты ультразвукового контроля образцов 1-5 после наводороживания

Дефекты регистрируются записью на диаграммной ленте и краскоотметчиком на контролируемом шве, работа которого дублируется световой сигнализацией. Скорость контроля составляет 1 м/мин. Применение его значительно увеличивает надежность и производительность процесса контроля сварных швов.

3.5. Карта ультразвукового контроля

Установлено, что процессы образования и роста трещин в образцах регистрируются сразу по достижении комнатной температуры и развиваются скачкообразно. Инкубационный период длительностью 10-20 ч, предшествующий трещинообразованию, отсутствует.

Сигналы с большой амплитудой чередуются с отдельными сигналами малой амплитуды (рис. 13), что характерно для процессов развития микро- и макротрещин. Активность сигналов акустической эмиссии (АЭ) и их распределение во времени различны для испытанных образцов (см. рис. 13), что свидетельствует об их неодинаковой сопротивляемости возникновению и распределению трещин. Так, образец 5 излучал сигналы АЭ с большими амплитудами при умеренной интенсивности, что свидетельствует о хрупком разрушении. В образце 4 регистрировались сигналы с меньшими амплитудами, но большей интенсивности, что характерно для более вязкого разрушения.

Анализ активности сигналов АЭ за время наблюдения (28-32 ч) показывает, что наименьшую сопротивляемость образованию и росту трещин имеет образец 5, а наибольшую – образец 2.

Следует отметить, что указанное время наблюдения, видимо, недостаточно для получения полной картины динамики растрескивания. Так, дополнительная регистрация сигналов АЭ в образце 5 показала, что процессы разрушения продолжались в нем и после 45 ч от начала эксперимента.

Далее, через 5-10 суток после наводороживания, образцы подвергали ультразвуковому контролю, результаты которого приведены на рис. 15. Установлено, что образцы 5, наплавленные по традиционной технологии, поражены обширными расслоениями, занимающими от 35 до 55 % площади образцов. Расслоения распложены преимущественно в центральной части образцов.

У опытных образцов склонность к образованию трещин оказалась существенно ниже (рис. 14). Суммарная площадь участков расслоения составила для образцов 1, 2, 3, 4 соответственно 1,9, 0,5, 0,7 и 2,5 % общей площади. Эти результаты свидетельствуют о возможности существенного повышения стойкости наплавленного слоя против отслоения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние дефекта на работоспособность детали или конструкции определяется многими факторами. Оно зависит не только от характера самого дефекта – его размеров, формы, расположения, но и от свойств мате-

риала, условий эксплуатации. Важно определить предельно допустимое число дефектов в конструкции, поскольку изготовить бездефектную конструкцию практически невозможно. Особенно это актуально при производстве сварных, паяных соединений и отливок.

Дефектность q в контролируемом элементе определяется как отношение суммарной площади дефектов $\Sigma\Delta s$ к расчетной площади контролируемого сечения s_p : $q = \Sigma\Delta s / s_p$.

Библиографический список

1. *Материаловедение и технология металлов / Г.П.Фетисов и др.; Под ред. Г.П.Фетисова.* – М.: Высшая школа, 2000. – 638 с.
2. *Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Под общ. ред. А. М. Дальского.* – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>	3
1. Классификация дефектов металла	3
2. Виды дефектов металла.....	4
2.1. Производственно-технические дефекты.....	4
2.2. Технологические дефекты	8
2.2.1. Дефекты прокатанного и ковального металла.....	8
2.2.2. Дефекты сварных соединений	10
2.2.3. Дефекты паяных соединений.....	12
2.2.4. Дефекты, возникающие при различных видах обработки деталей.....	14
2.3. Эксплуатационные дефекты.....	15
3. Методы контроля сварных соединений.....	18
3.1. Принцип методов ультразвукового контроля.....	21
3.2. Классификация методов ультразвукового контроля.....	21
3.3. Основные измеряемые характеристики дефектов при ультразвуковом контроле.....	22
3.3.1. Амплитуда эхо-сигнала от дефекта.....	22
3.3.2. Координаты дефекта.....	27
3.3.3. Условные размеры дефекта.....	27
3.4. Методика ультразвукового контроля.....	30
3.5. Карта ультразвукового контроля.....	34
<i>Заключение</i>	34
<i>Библиографический список</i>	35

Учебное издание

Валерий Павлович Расщупкин, Михаил Сергеевич Корытов

ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛА

Учебное пособие

Редактор Т. И. Калинина

Подписано к печати __.__.2006
Формат 60 x 90 1/16. Бумага писчая
Гарнитура Таймс
Оперативный способ печати
Усл. п. л. 2,3 , уч.-изд. л. 2,3
Тираж 200 экз. Заказ
Цена договорная

Издательство СибАДИ
644099, Омск, ул. П. Некрасова, 10

Отпечатано в ПЦ издательства СибАДИ
644099, Омск, ул. П. Некрасова, 10