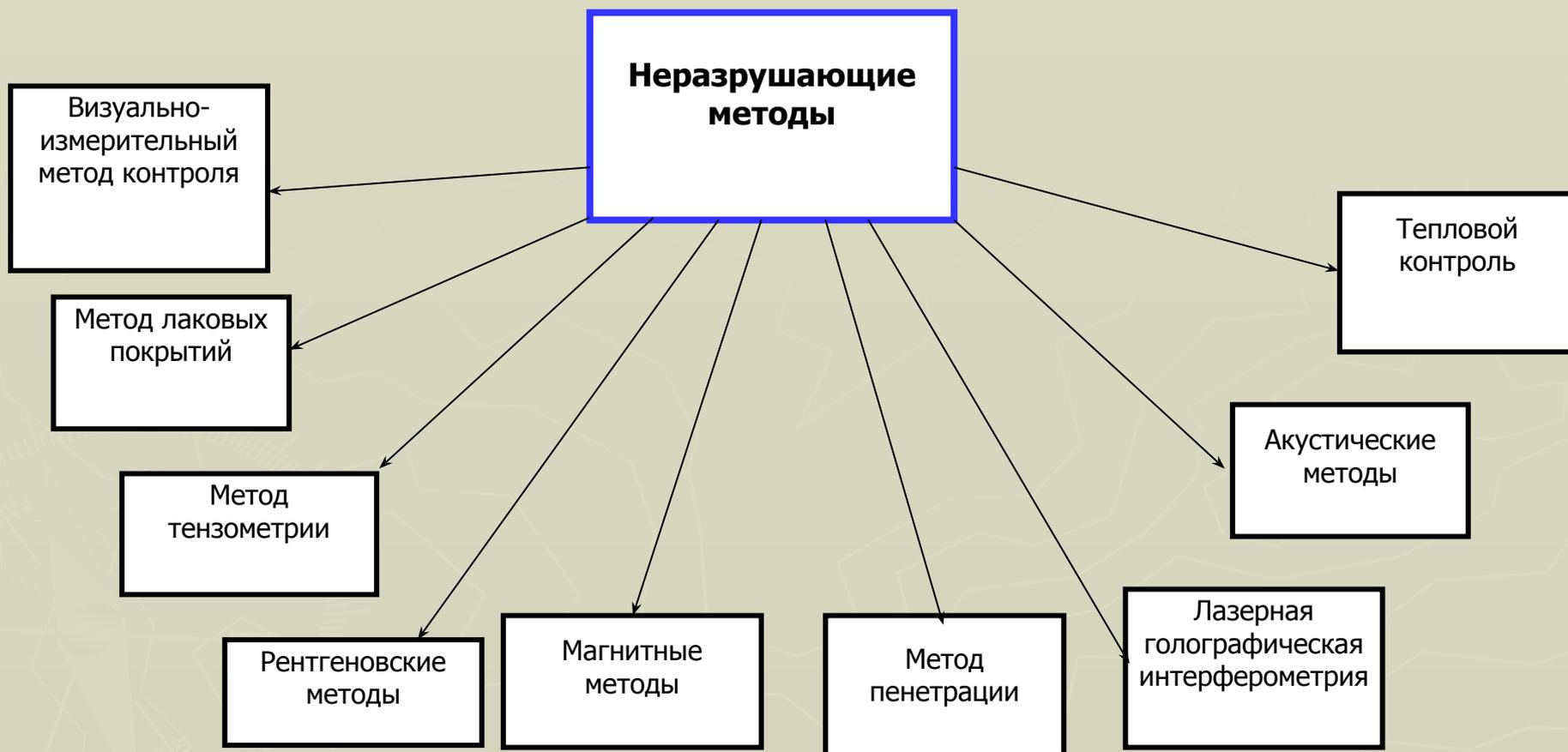


Методы неразрушающего контроля

(общие сведения)

Методы неразрушающего контроля



Основные понятия и определения

- ▶ **Контроль** – проверка соответствия продукции или процесса, от которого зависит качество продукции, установленным техническим требованиям.
- ▶ **Измерение** – это нахождение значений физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.
- ▶ **Средство измерения** – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.
- ▶ **Мера** - средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.
- ▶ **Размер** – это числовое значение линейной величины в выбранных единицах измерения.
- ▶ **Действительный размер** - это размер, установленный непосредственным измерением с допускаемой погрешностью.
- ▶ **Истинный размер** – это величина, полученная в результате обработки или изготовления, значение которой неизвестно.
- ▶ **Номинальный размер** – это размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений.
- ▶ **Предельные размеры** – это два предельно допустимых значения размера, между которыми должно находиться или которым может быть равно годное значение размера.

Разрешающая способность различных методов НК

Метод	Размер выявляемого дефекта, мм		Выявляемые дефекты
	ширина	глубина	
Визуальный	0,01	В зависимости от величины раскрытия	поверхностные
Рентгеновский и гаммаграфитовые	0,1(до четверти длины волны)	-	На глубине до 200 мм и более
Ультразвуковой	0,001 (до четверти длины волны)	0,1	Поверхностные и внутренние
Магнитопорошковый	0,0005-0,001	0,01	поверхностные
Цветной капиллярный	0,01-0,03	0,03-0,05	поверхностные
Люминесцентный капиллярный	0,008-0,02	0,02-0,04	поверхностные
Феррозондовый	0,01		Поверхностные и внутр. на глубине до 30 мм
Вихретоковый	0,01-0,3		Под слоем металла или краски до 1 мм

Название диапазона	Длина волны (м)	Частота (Гц)	Источник	Индикатор	Основные свойства	Применение	Действие на человека
1. Радиоволны	10^3	3×10^5	Переменные токи в проводниках и электронных потоках, генератор радиочастот (Солнце, звёзды, галактики, метagalaktiki)	Различные вибраторы, СВЧ – приемники, колебательные контуры.	Интерференция, Дифракция, Может проходить большие расстояния.	Радиовещание, радиосвязь, телевидение, радиолокация, астрономия, радиоспектроскопия, радиометрология.	отсутствует
2. Инфракрасное излучение	$3,75 \times 10^{12}$ – 3×10^{14}	8×10^{-4} – 10^{-6}	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях (Солнце, лампы накаливания, лазеры)	Фото и терморезисторы, специальные фотоэмульсии, фотокатоды на частотах ИК.	Для ИК прозрачны Ge, Si, бумага (черная), меньше рассеивается на мелких частицах, чем свет.	Медицина, исследования (УВЧ) атомных и молекулярных структур, приборы ночного видения, связь, сушка и нагревание.	Вызывает повышение температуры человеческого тела (может иметь, как положительный, так и отрицательный характер).
3. Свет (видимое излучение)	$3,8 \times 10^{14}$ – $7,6 \times 10^{14}$	$7,6 \times 10^{-7}$ – 4×10^{-7}	Атомы и молекулы под воздействием электронов (Солнце, лампы, хим. источники, лазеры)	Глаз человека, фотоэмульсии, фоторезисторы, фотоэлементы, фотокатоды.	Отражение, преломление, действие на фотохимические реакции (разрушение родопсина – зрения)	Освещение различных объектов, реализация зрения, фотоэффект (важные биологические, социальные и другие функции).	Понижение выработки мелатонина (антидепрессивное действие).
4. Ультрафиолетовое облучение	$7,5 \times 10^{14}$ – 3×10^{17}	4×10^{-7} – 10^{-9}	Излучение атомов при воздействии ускоренных электронов (излучение ионов, атомов)	Маложелатиновые фотослои, фотодиоды, ионизационные камеры (фотоумножители, счетчики фотонов).	Приводит к фотоэффекту и ионизации вещества, легко поглощается стеклом и взвесьями (некоторых диапазонов – воздухом).	Исследования электронной структуры, физических термических процессов, электронная спектроскопия, фотохимические реакции, люминесцентные лампы, криминалистика.	формирование витаминов Р, повреждение глаз, ожоги кожи, повышение иммунобиологических свойств.
5. Рентгеновские лучи	3×10^{17} – 3×10^{20}	10^{-9} – 10^{-12}	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц (Рентгеновские трубки)	Ионизационные камеры, сцинтилляционные счетчики, вторичноэлектронные умножители, каналовые умножители, микроканальные пластины с повышением AgBr.	Фотоэффект. Комптон эффект. Мало преломляются, способны к полному внешнему отражению.	Медицина, астрономия, атомная физика и химия, микроскопия, спектроскопические исследования. Медицина - онкология.	Названные эффекты взаимодействия с веществом ведут в малых дозах к стимулированию жизненных процессов, но и в них опасны канцерогены (ионизационный источник).
6. γ -излучение	3×10^{20} – 10^{23}	10^{-12} – 3×10^{-15}	Ядерные процессы, радиоактивный распад, космические процессы.	Ионизационные, пузырьковые камеры, специальные фотоэмульсии.	Фотоэффект, Комптон эффект, рождение пар e^- и e^+ .	Исследование ядерных процессов, дефектоскопия. Применяется редко, т.к. трудно экранировать.	Проникающее излучение, действие резко отрицательное.

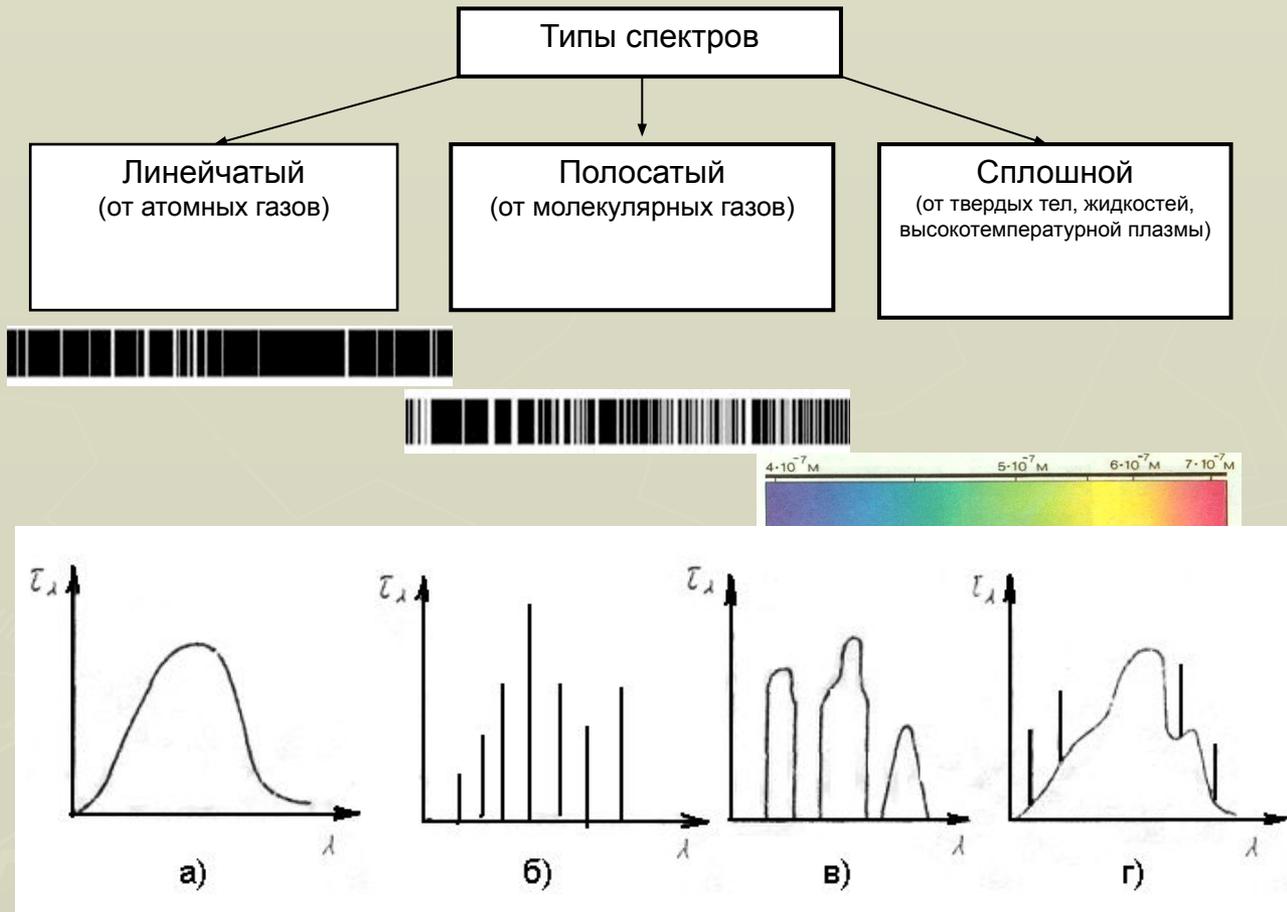
Визуальные методы контроля



Визуально-измерительный контроль (ВИК)



Виды спектров:



а — непрерывный (сплошной), или сплошной; б — линейчатый; в — полосовой; г - смешанный

ИНСТРУКЦИЯ

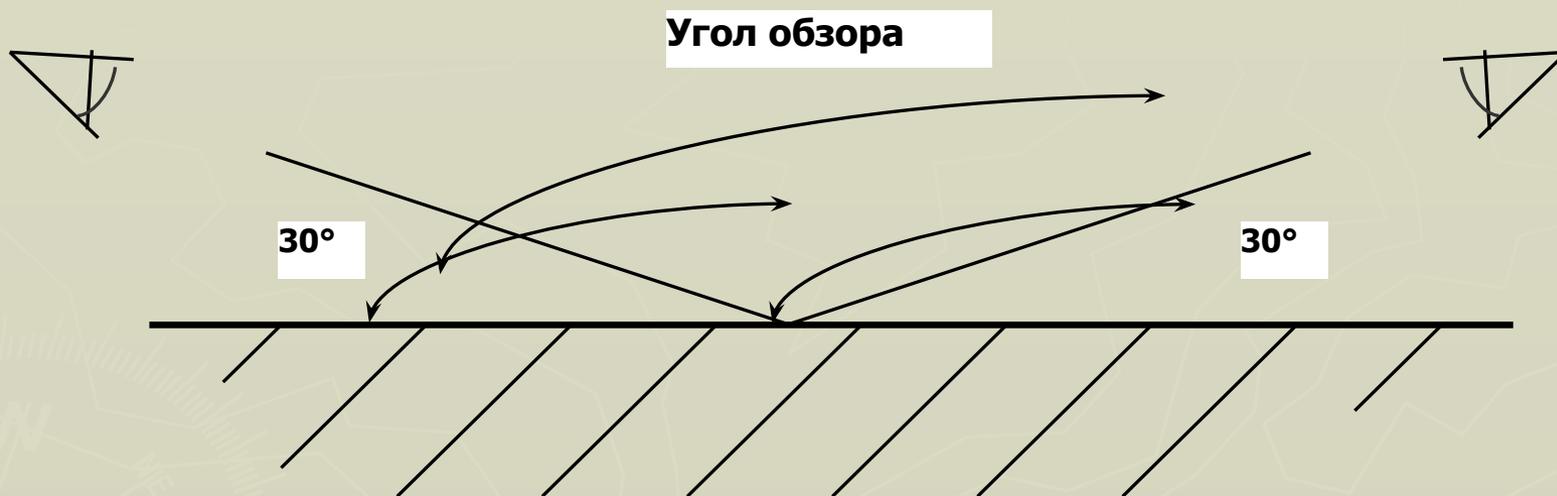
по визуальному и измерительному контролю

РД 03-606-03

Условия контроля в соответствии с EN 13018 и EN 970:

1. Необходимо убедиться, что в зоне контроля (шов и зона термического влияния(ЗТВ)) удален шлак, нет углублений и неровностей
2. Оценить степень готовности поверхности объекта контроля к проведению контроля с помощью набора образцов шероховатости.
3. Проверить работоспособность средств контроля (отсутствие механических повреждений и загрязнений); наличие свидетельств о поверке на измерительные приборы.
4. Установить в рабочей зоне объект контроля и осветитель в соответствии со схемой освещения (рис. 2) с учетом возможности изменения угла направления света для устранения ослепляющего блеска и создания хорошего контраста дефекта с фоном и, следовательно, уверенного обнаружения дефекта.
5. Измерить реальную освещенность в рабочей зоне с помощью люксметра и подтвердить необходимую разрешающую способность контроля с помощью тестового образца КШ1(разрешающая способность глаза $\geq 0,1$ мм).

Схема проведения ВИК



Для выполнения контроля должен быть обеспечен достаточный обзор для глаз специалиста. Подлежащая контролю поверхность должна рассматриваться под углом более 30° к плоскости объекта контроля и с расстояния до 600 мм

Подробные указания по выполнению контроля (последовательность технологических операций):

1. Осмотреть поверхность объекта контроля невооруженным глазом при необходимой освещенности. При этом выявить дефекты, используя набор сравнительных изображений, измерить их размеры и координаты с помощью рулетки и штангенциркуля.
2. Отметить зоны повышенного внимания, которые необходимо осмотреть с помощью лупы общего осмотра. При необходимости повысить уровень освещенности.
3. Измерить обнаруженные мелкие дефекты с помощью измерительной лупы с ценой деления 0,1мм и их координаты.
4. Оценить параметры сварного шва (h , b) с помощью набора шаблонов для контроля параметров сварного шва.
5. Необходимо убедиться в том, что на контролируемом сварном шве:
 - а) форма наружной поверхности шва и величина выпуклости шва соответствуют стандарту;
 - б) ширина шва по всей длине одинакова и при этом соответствует стандарту;
 - в) высота валика усиления и его положение относительно свариваемых деталей должны быть оценены;
 - г) любые дефекты наружной поверхности шва и ЗТВ должны соответствовать критериям приемки.
6. Зафиксировать обнаруженные дефекты.
7. Записать результаты контроля (местоположение, конфигурацию и размеры дефектов) в соответствии с п.3 и п.6, оценить в соответствии с ISO 5817.
8. Оформить протокол визуального контроля и дефектограмму.

Допустимая погрешность измерения при измерительном контроле

Диапазон измеряемой величины, мм	Погрешность измерений, мм
До 0,5 мм включительно	0,1
Свыше 0,5 до 1,0 включительно	0,2
Свыше 1,0 до 1,5 включительно	0,3
Свыше 1,5 до 2,5 включительно	0,4
Свыше 2,5 до 4,0 включительно	0,5
Свыше 4,0 до 6,0 включительно	0,6
Свыше 6,0 до 10,0 включительно	0,8
Свыше 10,00	1,0

Радиационные методы контроля

*Источник: Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков,
М.Г. Козулин и др. - М.: Издательский центр Академия*

Радиационный метод (РК)

- ▶ Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием.

Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим излучением, основанные на различном поглощении ионизирующих излучений при прохождении через дефект и бездефектный участок сварного соединения.

Интенсивность прошедшего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов - несплошностей или неметаллических включений.

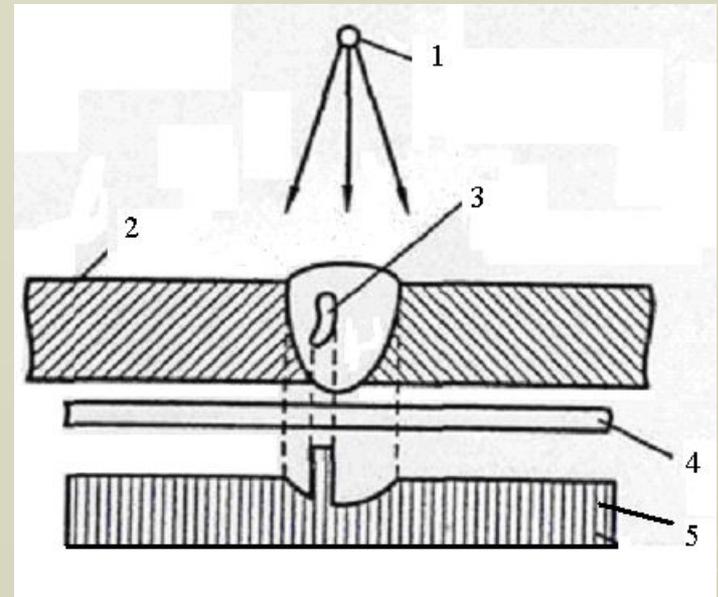


Схема радиационного контроля прошедшим излучением:

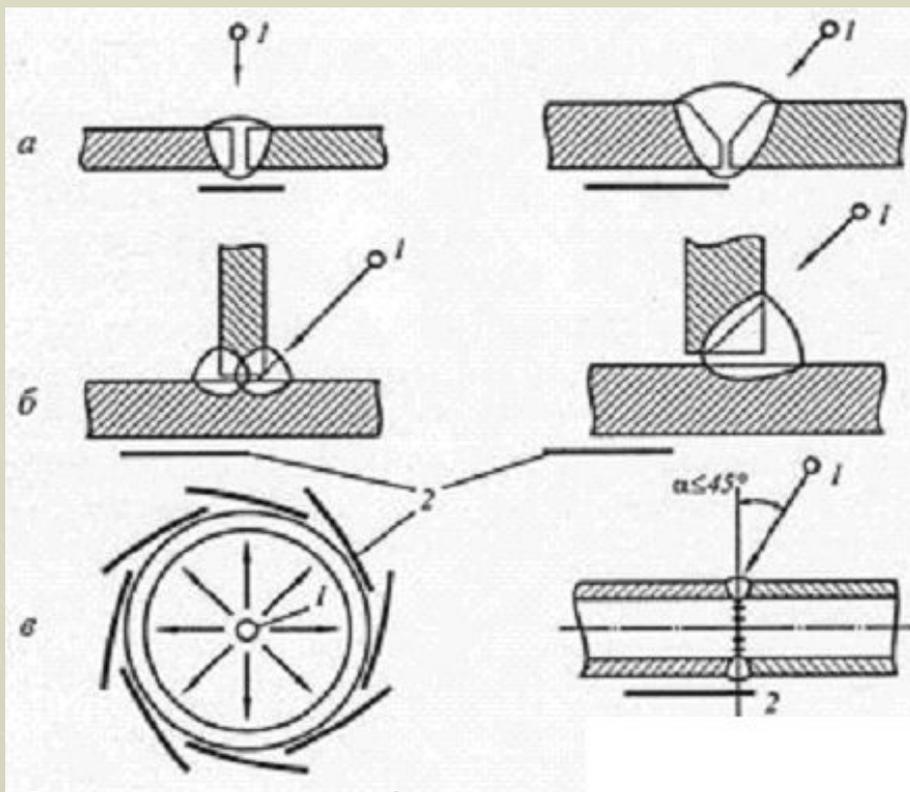
- 1 - источник излучения;*
- 2 - изделие;*
- 3 - дефект;*
- 4 - детектор (пленка);*
- 5 - плотность излучения*

Методы радиационного контроля классифицируются прежде всего по виду (и источнику) ионизирующего излучения и по виду детектора ионизирующего излучения.

- **Ионизирующим** называют излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов. Так как ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц, имеет малую проникающую способность, то для радиационного контроля сварных соединений обычно используют излучение фотонов или нейтронов. Наиболее широко используется рентгеновское излучение (X-лучи). Это фотонное излучение с длиной волны $6 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ м. Имея ту же природу, что и видимый свет, но меньшую длину волны (у видимого света $4 \dots 7 \cdot 10^{-7}$ м), рентгеновское излучение обладает высокой проникающей способностью и может проходить через достаточно большие толщины конструкционных материалов. При взаимодействии с материалом контролируемого изделия интенсивность рентгеновского излучения уменьшается, что и используется при контроле. Рентгеновское излучение обеспечивает наибольшую чувствительность контроля.

- ▶ Получают рентгеновское излучение в рентгеновских трубках. Испускаемые с накаливаемого катода электроны под действием высокого напряжения разгоняются в герметичном баллоне, из которого откачан воздух, и попадают на анод. При торможении электронов на аноде их энергия выделяется в виде фотонов различной длины волны, в том числе и рентгеновских. Чем больше ускоряющее напряжение, тем больше энергия образующихся фотонов и их проникающая способность.

Существуют различные схемы и большое количество марок рентгеновских аппаратов, как стационарных, так и переносных. В последнее время все большее распространение получают малогабаритные импульсные аппараты, позволяющие при малой мощности за счет малого времени импульса (1...3 мкс) при сравнительно большом токе (100...200 А) просвечивать достаточно большие толщины.



Схемы радиографического контроля:
а - стыковых;
б - угловых швов;
в - труб;
1 — источник излучения; 2 — пленка

Просвечивание стыковых швов обычно проводят перпендикулярно поверхности либо по направлению разделки кромок, так как возможно образование дефектов по линии сплавления. При контроле угловых швов направление просвечивания выбирают по биссектрисе угла либо по направлению разделки кромок. При контроле сварных соединений труб и коробчатых конструкций наилучшим вариантом является размещение источника излучения внутри изделия, так как в этом случае, во-первых, появляется возможность панорамного просвечивания за одну экспозицию, а во-вторых, стенки изделия ослабляют поток ионизирующего излучения в окружающую среду. При невозможности помещения источника излучения внутри просвечивание проводят снаружи, в том числе через две стенки под углом к оси шва во избежание наложения изображений швов друг на друга (рис. в). Лишь около 1 % фотонов ионизирующего излучения, проходящих через пленку, взаимодействуют с ней. Поэтому для повышения чувствительности контроля и ускорения просвечивания используют усиливающие флуоресцентные или металлические экраны из фольги тяжелых металлов (чаще свинца), наклеенной на гибкий пластик.

- ▶ **γ-излучение** – это фотонное излучение с длиной волны $1 \cdot 10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12}$ м, возникающее при распаде радиоактивных изотопов, источником γ-излучения при радиационном контроле обычно являются радиоактивные изотопы тулия, иридия, цезия, кобальта: ^{170}Tm , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co и др. Источники γ-излучения компактны и не требуют больших затрат электроэнергии (только на освещение и, возможно, на перемещение радиоактивного изотопа в рабочее положение и обратно).
- ▶ **γ-излучение** более опасно для человека и, в отличие от рентгеновского, не может быть выключено.
- ▶ Проникающая способность γ-излучения выше, чем рентгеновского, поэтому могут просвечиваться изделия большей толщины, но чувствительность контроля при этом ниже, различие между дефектными и бездефектными участками менее заметно.
- ▶ **область применения γ-дефектоскопии** - контроль изделий большой толщины (малые дефекты в этом случае менее опасны), контроль в монтажных и полевых условиях, в частности - трубопроводов и крупногабаритных резервуаров, просвечивание изделий сложной формы, если разместить рентгеновский аппарат нельзя.
- ▶ Гораздо реже (при контроле изделий еще большей толщины) используется **тормозное излучение** высоких энергий ($1 \dots 100$ МэВ, в то время как энергия рентгеновских фотонов не превышает $0,5$ МэВ) с длиной волны $1 \cdot 10^{-16} \dots 1 \cdot 10^{-12}$ м, обладающее еще большей проникающей способностью. Такое излучение получают при бомбардировке мишеней электронами, ускоренными в линейных или циклических ускорителях: микротронах, бетатронах.
- ▶ Поэтому контроль с использованием тормозного излучения высоких энергий называют **бетатронной дефектоскопией**. О возможностях этого метода можно судить по таким данным: излучение с энергией 35 МэВ позволяет просвечивать сплавы на основе железа толщиной до 450 мм или сплавы на основе алюминия толщиной до 1800 мм.
- ▶ Для контроля изделий из тяжелых элементов, для контроля наличия соединений водорода, бора, лития и других легких элементов в капсулах из тяжелых элементов, а также при контроле радиоактивных изделий используют нейтронное излучение, которое получают в ядерных реакторах либо с использованием радиоизотопных источников.

В зависимости от методов детектирования (обнаружения и регистрации) ионизирующего излучения различают

- ▶ внутренней структуры изделия происходит на пленке или бумаге, радиоскопию (изображение наблюдается на экране) и *радиометрию* (регистрируются электрические сигналы).
- ▶ Радиография получила наибольшее распространение с связи с простотой, наглядностью и документальным подтверждением результатов контроля. При радиографическом контроле для регистрации интенсивности прошедшего через металл излучения применяют радиографическую пленку или фотобумагу (метод прямой экспозиции), металлические активируемые экраны или заряженные полупроводниковые пластины (метод переноса изображения). Более распространен метод прямой экспозиции. При нем могут использоваться все рассмотренные виды ионизирующих излучений. Оптическая плотность почернения радиографической пленки или фотобумаги зависит от дозы ионизирующего излучения, она больше на местах, перекрытых менее плотными участками контролируемого объекта. Поэтому такие дефекты, как поры, трещины, непровары, а также шлаковые включения, будут выглядеть на радиографической пленке в виде темных пятен соответствующей формы. Включения более плотные, чем основной металл (например, вольфрамовые при сварке алюминия неплавящимся электродом), будут на радиограммах иметь вид светлых пятен. Для лучшего выявления дефекта направление излучения должно по возможности совпадать с направлением его максимального размера.

- ▶ **Радиоскопия** основана на просвечивании контролируемых объектов ионизирующим излучением, преобразовании прошедшего излучения в светотеневое или электронное изображение с последующим усилением, передачей и анализом изображения на экране оптического устройства или телевизионного приемника.
- ▶ Применение телевизионных систем обеспечивает радиационную безопасность персонала, позволяет усиливать яркость и контрастность и изменять масштаб изображения.

- ▶ В качестве источника ионизирующего излучения применяют:
 - ▶ рентгеновские аппараты,
 - ▶ Линейные,
 - ▶ циклические ускорители
 - ▶ радиоизотопные источники большой мощности.
- ▶ Перспективно применение нейтронного излучения, получаемого в ядерных реакторах или генераторах нейтронов.
- ▶ Радиоскопия позволяет рассмотреть внутреннюю структуру объекта непосредственно в момент просвечивания, при этом сохраняются достоинства радиографии: возможность определения типа, характера и формы дефекта. Малая инерционность преобразования радиационного изображения позволяет за короткое время исследовать объект под различными углами, что повышает вероятность выявления скрытых дефектов. Чувствительность радиоскопии ниже чувствительности радиографии, производительность - выше. В установках для радиоскопии может быть предусмотрена отметка и последующая радиография выявленных дефектных участков.
- ▶ **Радиометрия** основана на просвечивании изделия ионизирующим излучением и преобразовании плотности потока или спектрального состава прошедшего излучения в электрический сигнал. В качестве источника излучения применяют в основном радиоизотопы (γ -излучение), ускорители, реже — рентгеновские аппараты и источники нейтронов. В качестве детекторов используют ионизационные камеры, газоразрядные счетчики (пропорциональные и счетчики Гейгера), фиксирующие ионизацию или газовый разряд под действием ионизирующего излучения, а также сцинтилляционные счетчики, основанные на измерении с помощью электронных умножителей интенсивности световых вспышек в люминофорах.

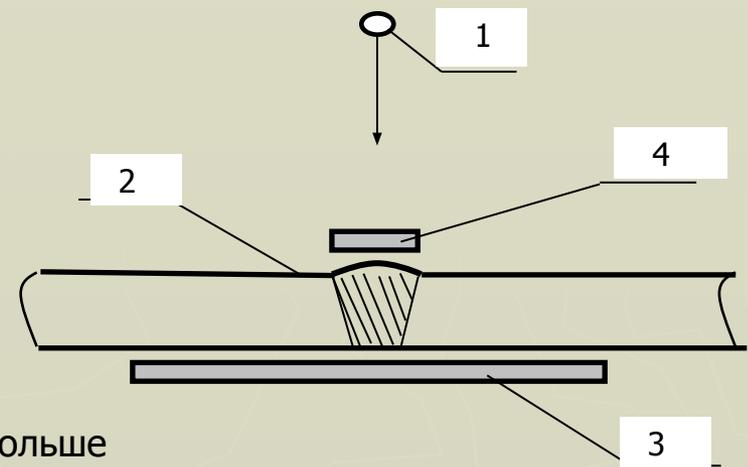
Радиография

Флуоресцентные экраны представляют собой пластмассовую или картонную подложку, на которую нанесен слой люминофора - вещества, светящегося под воздействием ионизирующего излучения. Они используются со специальными пленками, чувствительными к видимому ультрафиолетовому и инфракрасному излучениям. Наименьшие экспозиции получаются при использовании флуоресцентных экранов, а наилучшая чувствительность - при использовании металлических экранов.

Радиографические пленки характеризуются чувствительностью к излучению и контрастностью. Чем больше чувствительность пленки, тем выше производительность контроля. Чем выше контрастность пленки, тем выше чувствительность контроля. Поэтому высококонтрастные пленки применяют при просвечивании ответственных изделий, а также легких металлов и деталей малой толщины.

Выявляемость дефектов при радиографическом контроле зависит также от резкости изображения. Причинами нерезкости могут быть образование в эмульсионном слое пленки фотоэлектронов (внутренняя нерезкость), рассеяние излучения в материале изделия (особенно при просвечивании изделий большой толщины), смещение или колебания относительного расположения источника, изделия и детектора (устраняются жестким закреплением) и отличие реальной формы источника излучения от точечной (геометрическая нерезкость). Для уменьшения геометрической нерезкости применяют источники излучения с возможно меньшим размером фокусного пятна, максимально приближают пленку к контролируемому изделию и увеличивают фокусное расстояние (от источника излучения до пленки).

Схема радиационного контроля прошедшим излучением:



- 1 – источник излучения
- 2 – объект контроля
- 3 – кассета с пленкой
- 4 – индикаторы качества изображения

Подготовка к просвечиванию при радиографии

- ▶ 1. Предварительный осмотр сварного соединения и очистка его от шлака, масла и других загрязнений.
- ▶ 2. Удаление наружных дефектов.
- ▶ 3. Участки шва маркируют с помощью свинцовых знаков, либо помечают пленку или флуоресцентные экраны.
- ▶ 4. На поверхность изделия вблизи контролируемого шва устанавливаются эталоны чувствительности, чаще всего - канавочный: пластинка с канавками переменной глубины и ширины.
- ▶ 5. Время просвечивания определяется по номограммам экспозиции, которые обычно строят для каждого материала в зависимости от его толщины, энергии излучения (в частности, напряжения на аноде рентгеновской трубки), фокусного расстояния; типа применяемой пленки и усиливающих экранов.

- ▶ В отличие от радиографического и радиоскопического методов при радиометрии объект просвечивается узким пучком излучения. Если в просвечиваемом изделии будет дефект, то регистрационное устройство отметит изменение интенсивности излучения.
- ▶ Преимущества радиометрии: высокая чувствительность (выше, чем у радиографического метода), высокая производительность, возможность бесконтактного контроля качества движущегося изделия, что особенно удобно при поточном производстве (возможно осуществление обратной связи с технологическим процессом). Основной недостаток радиометрии: интегрирующие свойства - одновременная регистрация сигнала от дефекта и от изменения толщины изделия. Это затрудняет возможность определения формы, размеров и глубины залегания дефекта - иногда оказывается необходимым снимать или зачищать усиление сварного шва.
- ▶ Дальнейшим развитием радиографии является радиационная вычислительная томография. В отличие от обычной радиографии объект просвечивается большим количеством источников излучения, прошедшее излучение фиксируется большим количеством детекторов, изделие перемещается по определенной программе, результаты контроля запоминаются и анализируются с помощью ЭВМ, а затем на основе созданной модели внутренней структуры объекта формируется ее изображение на экране, т.е. обеспечивается наглядность, отсутствующая при обычной радиографии.
- ▶ С помощью радиационных методов контроля выявляются трещины, непровары, непропаи, включения, поры, подрезы и другие дефекты. Результаты контроля наглядны (кроме обычной радиометрии), поэтому по сравнению с другими методами неразрушающего контроля при радиационном контроле легче определить вид дефекта. Как правило, не требуется высокая чистота поверхности сварных швов и изделий, можно контролировать сравнительно большие толщины.
- ▶ К недостаткам радиационных методов необходимо прежде всего отнести вредность для человека, в связи с чем требуются специальные меры радиационной безопасности: экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне. Кроме того, радиационными методами плохо выявляются несплошности малого раскрытия (трещины, непровары), расположенные под углом более $7... 12^\circ$ к направлению просвечивания, метод малоэффективен для угловых швов.
- ▶ *Источник: Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др. - М.: Издательский центр Академия*

Акустические методы контроля

Источник: Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др. - М.: Издательский центр Академия

Акустические методы контроля



Пассивные методы основаны на исследовании упругих волн, возникающих в контролируемом изделии во время или по окончании технологического процесса, или при нагружении, в частности в момент образования или развития несплошностей. К ним относятся методы контроля, использующие акустическую эмиссию, а также шумо- и вибродиагностика.

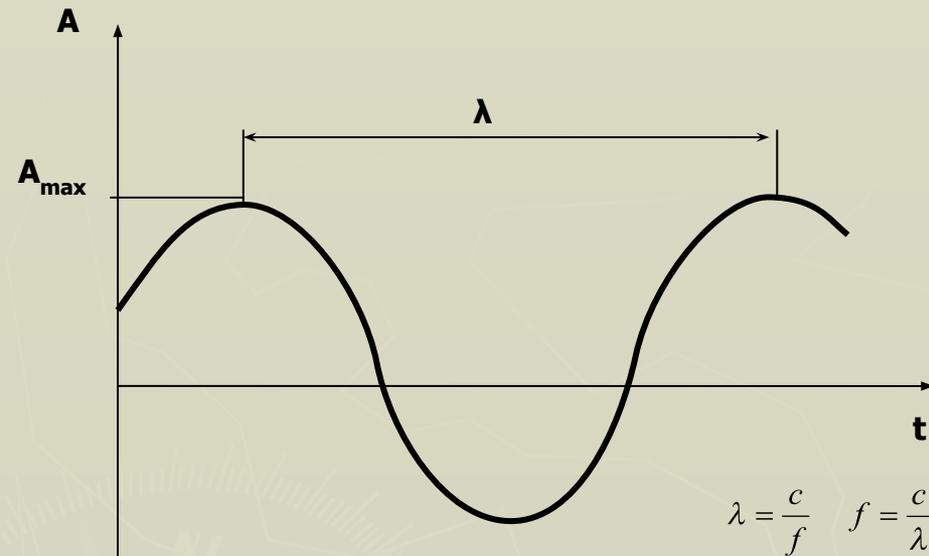
Активные методы основаны на исследовании распространения колебаний специально вводимых в контролируемое изделие.

Акустические колебания - это механические колебания среды. При акустическом контроле обычно используют колебания с частотой 0,5...25 МГц, т. е. ультразвуковые. Поэтому большинство акустических методов являются ультразвуковыми, хотя известны случаи использования и колебаний звуковой частоты, в частности импедансный метод контроля, используемый при контроле паяных, клееных или сваренных контактной сваркой конструкций

- ▶ Для возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний используют пьезоэлектрический эффект: некоторые материалы (кварц, титанат бария, титанат-цирконат свинца и др.) под действием переменного электрического поля меняют свои размеры с частотой изменения поля. Пьезоэлектрическую пластину помещают в специальном устройстве-пьезопреобразователе (искателе). Материалы, используемые в пьезопреобразователях: плексиглас, капролон, фторопласт, полистирол, — способствуют гашению отраженной волны, так как имеют большие коэффициенты затухания ультразвуковых колебаний и малую скорость их распространения.
- ▶ Пьезопреобразователи, предназначенные для ввода волны в направлении, перпендикулярном поверхности, называют *прямыми*, или *нормальными*, а для ввода под некоторым углом - *наклонными*, или *призматическими*. Пьезопреобразователи включаются по отдельной, совмещенной или отдельно-совмещенной схемам. В последнем случае в одном корпусе размещаются два пьезопреобразователя, разделенных между собой экраном. При падении ультразвуковой волны на поверхность раздела двух сред, в частности на границу дефекта, часть энергии отражается, что и используется при контроле. Для анализа распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии используют три основных метода: теневой, зеркально-теневой и эхо-метод.

Параметры ультразвуковой (УЗ) волны

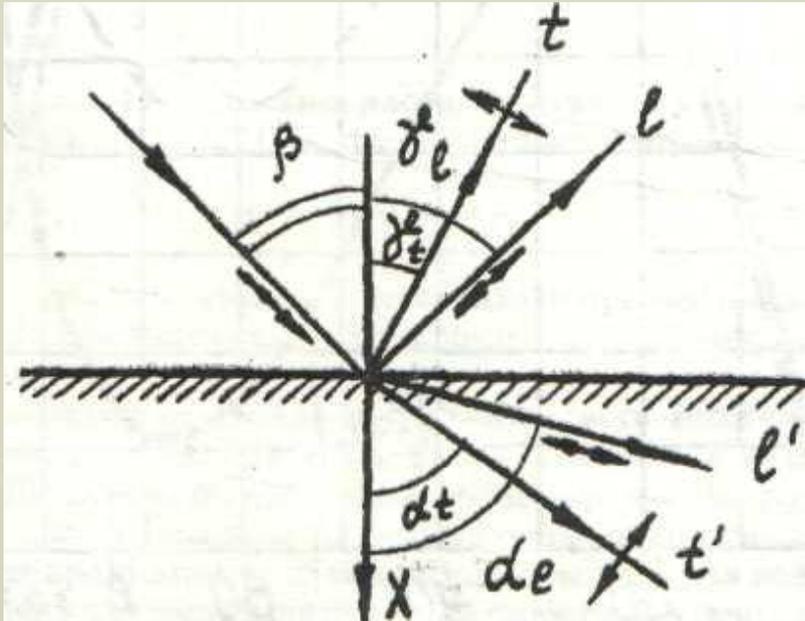
Типы волн



- ▶ λ -длина волны [мм]
- ▶ f – частота [МГц]
- ▶ c - скорость [м/с]- const
- ▶ A - амплитуда колебаний – наибольшее отклонение от положения равновесия
- ▶ $\frac{A}{A_0} = 20 \lg \frac{A}{A_0}$ (дБ)
- ▶ A_0 -амплитуда зондирующего импульса

1. Продольные (волны растяжения сжатия) - смещение частиц происходит около положения равновесия вдоль распространения волны **Cl**
2. Поперечные (сдвиговые) волны – смещение частиц перпендикулярно распространению волны **$St=0.55 Cl$**
3. Поверхностная волна (Рэлея)- распространяется в поверхностном слое до 3 мм **Sp**
4. Головные волны – это продольные волны вдоль поверхности выявляют дефекты на глубине 2-8мм
5. Волны Лэмб (в пластинах) – скорость их распространения зависит от упругих свойств, частоты и толщины

Отражение и преломление на границе двух сред.



Падающая на границу двух сред плоская волна частично проходит, частично отражается и может трансформироваться. В твердых телах возникают две (продольная и поперечная) отраженные и две преломленные волны с направлениями по закону синусов (Снелиуса)

$$\frac{\sin \beta}{c} = \frac{\sin \gamma_l}{c_l} = \frac{\sin \gamma_t}{c_t} = \frac{\sin \alpha_l}{c_l'} = \frac{\sin \alpha_t'}{c_t'}$$

где β , γ и α — углы падения, отражения и преломления, c — скорости волн; индексы l и t отмечают продольные и поперечные волны, для нижней среды индексы имеют штрих ($'$), скорость падающей волны — без индекса.

Амплитуды каждой отраженной или прошедшей волны определяются коэффициентами отражения или прозрачности R или D .

$$R = \frac{I_{\text{отраженной}}}{I_{\text{падающей}}} \quad D = \frac{I_{\text{прошедшей}}}{I_{\text{падающей}}} \quad R + D = 1$$

$$Z = \rho c \quad D = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

Z - это характеристический (акустический импеданс) I - интенсивность

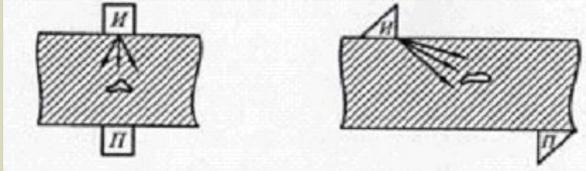
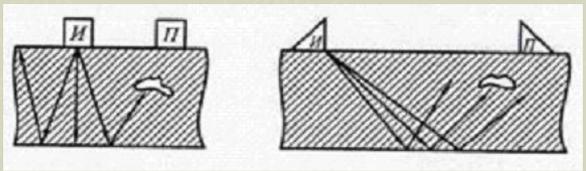
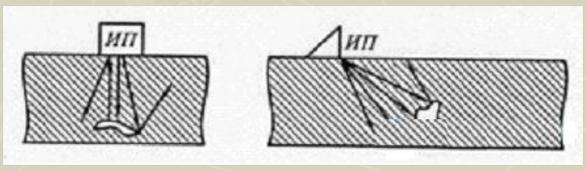
Угол падения, при котором угол преломления равен 90° называется критическим

Первый критический угол, когда продольная волна выходит на поверхность (для пара оргстекло-сталь= $27^\circ 30'$)

Второй критический угол, когда поперечная волна выходит на поверхность (возникает поверхностная волна) = $57^\circ 30'$ для той же пары.

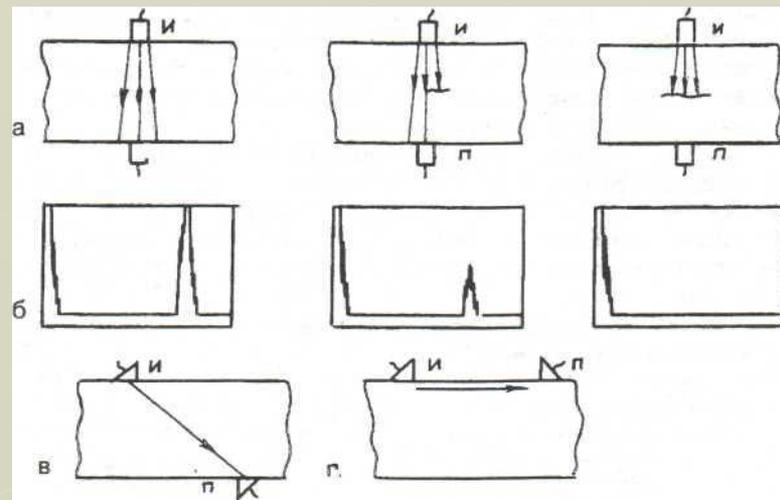
Третий критический угол = 33° для любых сред

Методы УЗК

Метод	признаком обнаружения дефекта	Недостатки	Достоинства
<p>Теневой метод</p> 	<p>служит уменьшение интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, прошедшей от излучающего пьезопреобразователя к приемному</p>	<p>необходимость двустороннего доступа к изделию и малая точность оценки координат дефектов</p>	<p>высокая помехоустойчивость, может применяться для изделий с грубо обработанной поверхностью</p>
<p>зеркально-теневой метод</p> 	<p>является уменьшение интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, отраженной от противоположной поверхности изделия</p>	<p>точность определения координат дефекта и при этом методе невысока. применяется для изделий небольшой толщины с грубо обработанной поверхностью.</p>	<p>не требует двустороннего доступа к контролируемому изделию, позволяет более достоверно выявлять корневые дефекты в стыковых швах, помехоустойчив,</p>
<p>эхо-метод</p> 	<p>является прием эхо-сигнала, отраженного от дефекта</p>	<p>Если дефект расположен слишком близко к поверхности, то сигнал от него приходит раньше, чем закончится зондирующий импульс, и этот сигнал не будет замечен на фоне зондирующего импульса - дефект не обнаруживается (мертвая зона).</p>	<p>достаточно точно определить не только наличие дефекта, но и его характеристики</p>

Основан на посылке в контролируемое изделие упругих колебаний и регистрации изменения их интенсивности после однократного прохождения через контролируемый объем. ПЭП, излучающий УЗ колебания, находится по одну сторону контролируемого изделия или его участка, приемный ПЭП находится с другой его стороны соосно с излучателем.

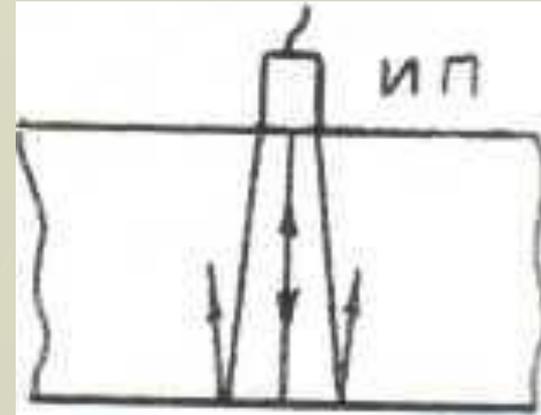
При отсутствии нарушений сплошности материала приемный ПЭП регистрирует определенную амплитуду сигнала, прошедшего через изделие. При постоянной толщине изделия, однородном материале, одинаковой шероховатости поверхности изделия и параллельности верхней и нижней поверхностей амплитуда прошедших упругих волн будет изменяться в небольших пределах. Наличие несплошностей материала на пути УЗ волны приведет к уменьшению амплитуды принятого сигнала, так как за дефектом образуется акустическая тень. Это уменьшение регистрируется индикатором дефектоскопа и является признаком наличия дефекта в зоне контроля. О величине дефекта можно судить по степени ослабления прошедшего сигнала.



- ▶ *признаком обнаружения дефекта служит уменьшение интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, прошедшей от излучающего пьезопреобразователя к приемному.*
- ▶ *Недостатки метода - необходимость двустороннего доступа к изделию и малая точность оценки координат дефектов, достоинство - высокая помехоустойчивость. Метод может применяться для изделий с грубо обработанной поверхностью.*

Схема УЗ контроля теньвым методом прямыми (а), наклонными (в) ПЭП и поверхностными волнами (г). б - изображение на экране дефектоскопа при контроле прямым преобразователем

Реализуется одним прямым или двумя наклонными ПЭП (пьезоэлектрический преобразователь)



- ▶ признаком обнаружения дефекта является уменьшение интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, отраженной от противоположной поверхности изделия. Отраженный сигнал называется донным.
- ▶ Метод не требует двустороннего доступа к контролируемому изделию, позволяет более достоверно выявлять корневые дефекты в стыковых швах, помехоустойчив, применяется для изделий небольшой толщины с грубо обработанной поверхностью. Однако точность определения координат дефекта и при этом методе невысока.

Методы УЗК

Эхо-импульсный метод реализуется одним прямым или наклонным ПЭП. Признаком наличия дефекта является появление эхо сигнала от дефекта.

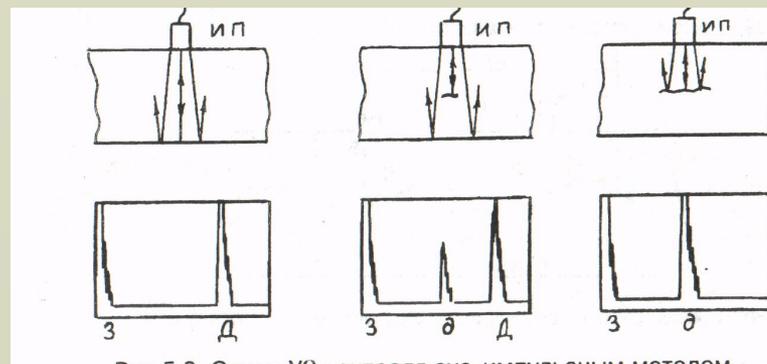


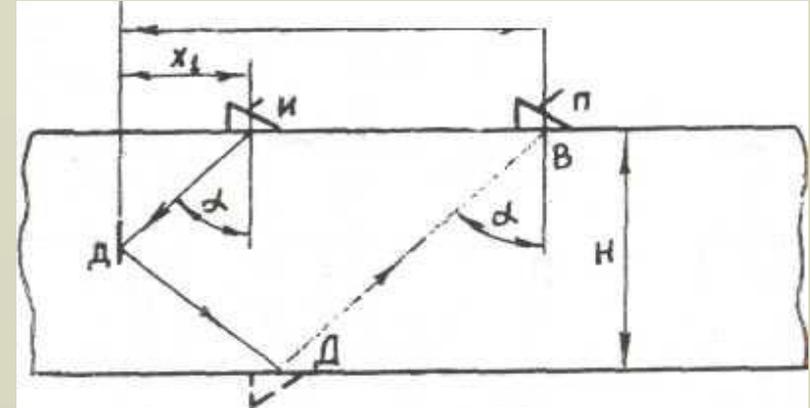
Рис. 5.2. Система УЗК контроля эхо-импульсным методом

- ▶ признаком обнаружения дефекта является прием эхо-сигнала, отраженного от дефекта.
- ▶ При зеркально-теновом и эхо-методе возможно использование одного пьезопреобразователя в качестве излучателя и приемника (при эхо-методе, как правило, так и делается), однако сигнал при этом должен подаваться импульсами. Если дефект расположен слишком близко к поверхности, то сигнал от него приходит раньше, чем закончится зондирующий импульс, и этот сигнал не будет замечен на фоне зондирующего импульса - дефект не обнаруживается. Слой материала, непосредственно прилегающий к пьезопреобразователю, в котором дефект не обнаруживается, называется мертвой зоной. Эхо-метод по сравнению с ранее рассмотренными позволяет достаточно точно определить не только наличие дефекта, но и его характеристики.
- ▶ Если длина волны ультразвуковых колебаний больше размера дефекта, то будет происходить его огибание и дефект не обнаружится. При большой величине зерен металла происходит значительное затухание колебаний. Так как длина волны обратно пропорциональна частоте колебаний, то с увеличением частоты повышается чувствительность к более мелким дефектам, но возрастают структурные помехи. Это необходимо учитывать при выборе частоты.
- ▶ При контроле сварных соединений обычно используются частоты от 0,5 до 10 МГц. Ультразвуковой контроль (УЗК) крупнозернистых материалов (чугуна, меди, аустенитных сталей) затруднен. Возможно существенное ослабление колебаний в околошовной зоне сварного соединения. Зависимость коэффициента затухания от величины зерна используют в ультразвуковых структурных анализаторах.

Зеркальный эхо импульсный метод

Методы УЗК

Метод использует сигналы, зеркально отраженные от донной поверхности изделия и дефекта. Существует несколько вариантов этого метода. Для выявления дефектов с вертикальной ориентацией применяют вариант, называемый способом тандем.

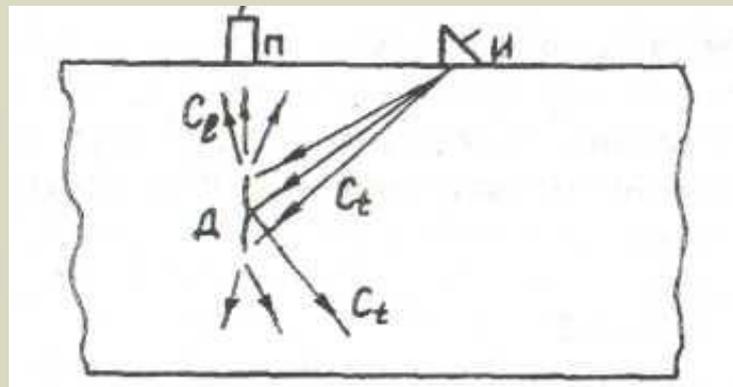


Вариант зеркального эхо-метода - способ тандем

Дельта-метод

Методы УЗК

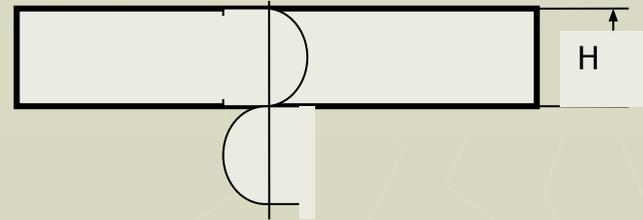
Этот метод использует явление дифракции волн на дефекте.



► Излучатель озвучивает дефект поперечной УЗ волной. Часть падающего пучка отражается зеркально в виде поперечной волны (S_r), другая часть дифрагирует в виде поперечной или трансформированной продольной волны. Наиболее интенсивно дифракция возникает на острых краях дефектов, например, на краях эксплуатационных трещин. Дифрагированная продольная волна может быть принята прямым ПЭП. Признаком наличия дефекта является появление эхо-импульса в зоне контроля.

Условие
резонанса

$$H = \frac{1}{2} \lambda$$



Изменяя частоту возбуждаемых колебаний добиваются резонанса в изделии, что используется в толщинометрии. Частота резонансных колебаний в пластине зависит от ее толщины.

Измеряемые параметры дефектов.

▶ Признаком дефекта является появление на экране перемещающегося в такт перемещению ПЭП эхо-сигнала. После чего измеряются следующие параметры дефектов.

▶ 1. Превышение амплитуды сигнала над браковочным уровнем или эквивалентной площадью дефекта.

$$\Delta A_{\text{деф}} = A_{\text{деф}} - A_{\text{бр}}, \text{дБ}$$

▶ Эквивалентная площадь дефекта – это площадь плоскодонного отверстия, залегающего на той же глубине, что и дефект, в том же материале и дающего ту же амплитуду сигнала, что и дефект.

▶ 2. Условная длина дефекта, ΔL -расстояние между двумя крайними положениями ПЭП, мм
▶ За крайнее положение принимается положение ПЭП в котором амплитуда сигнала от дефекта изменяется от своего максимального положения до уровня установленного нормативно-методической документацией (НМД).

▶ 3. Глубина дефекта, Y , мм

▶ 4. Расстояние от центральной оси шва до дефекта X , мм.

▶ 5. Местоположение дефекта относительно начала контроля, мм

Тип соединения	Метод контроля
Стыковые и тавровые	как правило, эхо-методом, совмещенным пьезопреобразователем с углом ввода $P = 30...40^\circ$, реже 50° . При толщине изделия свыше 150 мм прозвучивание ведут с двух его противоположных поверхностей.
Нахлесточные соединения	однократно отраженным лучом со стороны основного листа, пьезопреобразователь включают по совмещенной схеме. Таким образом выявляют трещины, непровары вертикальной кромки и корня шва. Для обнаружения горизонтального непровара лучше применять зеркально-теневой метод, включая пьезопреобразователь по отдельной схеме.
точечная контактная сварка	можно использовать зеркально-теневой метод: если соединение качественное, колебания проникают сквозь шов в нижний лист и не попадают на приемник. При отсутствии сварки имеется донный сигнал от первого листа. Однако дефекты типа слипания выявляются плохо, так как они практически не отражают ультразвук.

- ▶ **Преимущества УЗК:** возможность контроля большой толщины (для толщины свыше 80 мм это наиболее надежный способ), меньшие затраты по сравнению с радиографией, безопасность, выявление дефектов малого раскрытия. Это перспективный метод, постепенно вытесняющий радиационные методы.
- ▶ **недостатки:** объемные дефекты выявляются хуже, чем плоские, не выявляются дефекты, имеющие в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны, размер меньше длины волны, сложнее по сравнению с радиационными методами определить вид дефекта, из-за большого уровня структурных помех некоторые материалы нельзя контролировать.
- ▶ **Основной недостаток УЗК** - субъективность: зависимость результатов от квалификации и внимательности оператора. Для устранения этого недостатка механизмируют перемещение пьезопреобразователя относительно изделия, создают приборы, в которых с помощью ЭВМ сигналы в процессе сканирования запоминаются, а по его окончании - анализируются и выдаются в наглядной форме.

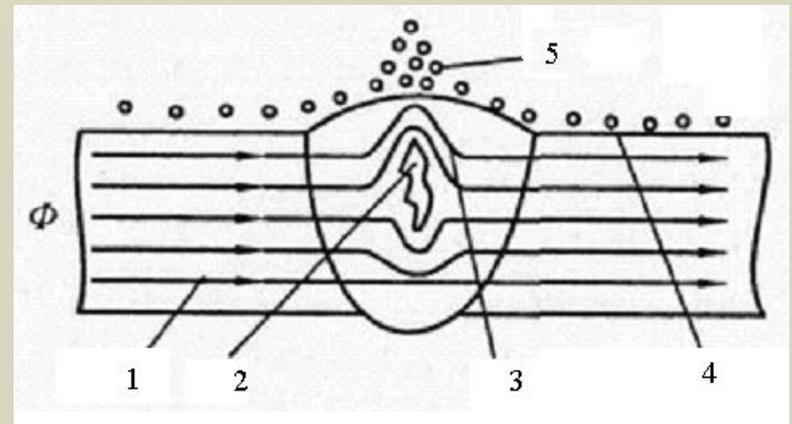
Магнитные методы контроля

Источник: Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М. Г. Козулин и др. - М.: Издательский центр Академия

Магнитные методы контроля

- ▶ Магнитные методы контроля применяются для ферромагнитных материалов. Они основаны на измерении и анализе результатов взаимодействия электромагнитного поля с контролируемым объектом. При наличии в шве несплошностей, вследствие меньшей магнитной проницаемости дефекта, магнитный силовой поток будет огибать дефект, создавая магнитные потоки рассеяния

Схема магнитного контроля:



- 1 - магнитное поле;*
- 2 - дефект;*
- 3 - искажение магнитного поля;*
- 4 — магнитный порошок;*
- 5 — скопление порошка*

- ▶ Изделия контролируют в наложенном постоянном или переменном магнитном поле либо после намагничивания в остаточном поле. Намагничивают детали постоянным, импульсным униполярным, переменным или комбинированным магнитным полем. После контроля детали размагничивают нагревом выше точки Кюри или переменным магнитным полем с амплитудой, равномерно уменьшающейся от некоторой максимальной величины (равной или несколько большей амплитуды намагничивающего поля), до нуля.
- ▶ По приемам регистрации магнитных полей и их неоднородностей магнитные методы контроля подразделяют на магнитопорошковый, магнитографический, магнитоферрозондовый, индукционный, вихретоковый и др.

Магнитопорошковый метод

- ▶ на поверхность намагниченной детали наносят ферромагнитный порошок. Под действием магнитных полей частицы порошка скапливаются над дефектами. Возможно выявление тонких и мелких трещин с раскрытием больше 0,0025 мм и высотой не менее 0,025 мм. В стыковых сварных соединениях с усилением, выполненных автоматической сваркой, выявляются трещины с раскрытием не менее 0,01 мм и высотой не менее 0,1 мм, в соединениях, выполненных ручной сваркой, - соответственно 0,025 мм и 0,25 мм. Можно использовать порошки разного цвета. Для деталей с блестящей светлой поверхностью применяют черный порошок магнетита Fe_3O_4 . При контроле деталей с черной поверхностью используют цветные, окрашенные или отожженные, кирпично-красные, серебристые или темно-коричневые порошки либо люминисцентные порошки, светящиеся при ультрафиолетовом облучении. Часто для удобства нанесения используют магнитные, в том числе магнитолюминисцентные, суспензии на масляно-керосиновой или водной основе (5...6 г мыла, 1 г жидкого стекла, 50... 100 г магнитного порошка на 1 л воды).
- ▶ Подготовка деталей к контролю заключается в очистке их поверхностей от отслаивающейся ржавчины и грязи. Если применяется сухой метод контроля или используется водная суспензия, то контролируемые поверхности следует очистить от смазки и масла. Иногда перед выполнением контрольных операций контролируемые поверхности покрывают тонким просвечивающимся слоем белой краски или белого нитролака, чтобы черный порошок был лучше виден. Преимущества магнитопорошкового метода: высокая чувствительность к тонким и мелким трещинам, простота, оперативность и наглядность, возможность применения для деталей практически любых форм и размеров.

магнитографический метод

- ▶ магнитные поля рассеяния записывают на магнитную ленту, наложенную на участок контроля. Магнитные ленты состоят из основы толщиной 100 мкм, сделанной из триацетата или лавсана, и магнитного слоя толщиной 10...20 мкм, состоящего из окиси железа, взвешенной в лаке. Они могут использоваться многократно. Записи на ленте преобразуются в электрические сигналы и наблюдаются на экране дефектоскопа. В автоматических устройствах применяется непрерывная запись и воспроизведение с бесконечной магнитной ленты в виде петли.
- ▶ Преимущества магнитографического метода контроля: высокая разрешающая способность (возможность выявления мелких дефектов), позволяющая регистрировать неоднородные магнитные поля, соизмеримые с размером частиц магнитного слоя ленты (порядка 1 мкм), возможность регистрации дефектов на сложных поверхностях и в узких зазорах. Недостатки: необходимость вторичного преобразования информации, регистрируются только составляющие магнитных полей вдоль поверхности ленты, сложность размагничивания и хранения ленты - необходимо предотвращать воздействие внешних магнитных полей.

магнитоферрозондовый метод

- ▶ используются датчики - феррозонды. Они имеют катушки, генерирующие магнитное поле, взаимодействующее с остаточным или наведенным полем контролируемой детали. При попадании дефекта в зону взаимодействия этих полей в катушках датчика возникнет электрический сигнал, по его величине судят о дефекте.
- ▶ Этот метод имеет высокую чувствительность, но для обеспечения достоверности результатов поверхность изделия должна иметь хорошую чистоту обработки.

Индукционный метод

- ▶ для регистрации магнитных полей рассеяния, образующихся около дефектов в намагниченной детали, используют катушку, которую двигают вдоль шва с постоянной скоростью. Магнитным полем детали в катушке наводится электродвижущая сила (ЭДС).
- ▶ В местах рассеяния поля ЭДС изменяется - образуется электрический сигнал, по которому судят о дефекте. Катушка намотана на сердечнике из металла с высокой магнитной проницаемостью - вместе они составляют магнитную индукционную головку. Она проще феррозонда, так как не требует генератора для питания.
- ▶ Метод отличается повышенной надежностью, может работать в сильных магнитных полях, однако требует перемещения магнитной головки с постоянной скоростью вдоль направления магнитного поля, при этом щель рабочего зазора в сердечнике должна быть перпендикулярна к направлению движения. Поэтому его рационально применять в массовом производстве (при большой длине швов). Индукционный метод используется, например, для контроля сварных труб, перемещающихся относительно индукционной головки. Магнитные методы контроля широко применяются для ферромагнитных материалов, преимущественно для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов в стыковых швах.

- ▶ **Достоинства магнитных методов:** высокая производительность, безвредность, экономичность.
- ▶ **Недостатки магнитных методов :** усиление шва существенно снижает чувствительность магнитных методов контроля. Объемные включения выявляются хуже, чем плоские трещиноподобные.

Магнитные методы	Физический смысл	Достоинства	Недостатки
Магнитопорошковый	на поверхность намагниченной детали наносят ферромагнитный порошок. Под действием магнитных полей частицы порошка скапливаются над дефектами.	высокая чувствительность к тонким и мелким трещинам, простота, оперативность и наглядность, возможность применения для деталей практически любых форм и размеров.	усиление шва существенно снижает чувствительность магнитных методов контроля
магнитографический	магнитные поля рассеяния записывают на магнитную ленту, наложенную на участок контроля.	высокая разрешающая способность, возможность регистрации дефектов на сложных поверхностях и в узких зазорах.	Необх. вторичного преобраз. информации, регистрируются только составляющие магнитных полей вдоль поверхности ленты, сложность размагничивания и хранения ленты
Магнитоферрозондовый	датчики – феррозонды имеют катушки, генерирующие магнитное поле, взаимодействующее с остаточным или наведенным полем контролируемой детали.	имеет высокую чувствительность,	но для обеспечения достоверности результатов поверхность изделия должна иметь хорошую чистоту обработки
Индукционный	для регистрации магнитных полей рассеяния, используют катушку, которую двигают вдоль шва с постоянной скоростью. Магнитным полем детали в катушке наводится ЭДС.	высокая производительность, безвредность, экономичность.	усиление шва существенно снижает чувствительность магнитных методов контроля. Объемные включения выявляются хуже, чем плоские трещиноподобные.

Вихретоковые методы контроля



Вихретоковые методы контроля

- ▶ (ранее назывались электромагнитными) могут применяться для электропроводных материалов. При воздействии переменного электромагнитного поля, создаваемого генераторной катушкой, в металле контролируемой детали возникают вихревые токи, которые создают свое электромагнитное поле, противодействующее внешнему полю. Поле вихревых токов фиксируется измерительной катушкой. Нарушения сплошности контролируемого изделия увеличивают электрическое сопротивление поверхностного слоя металла, что приводит к ослаблению вихревых токов. Метод вихревых токов можно использовать для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов, в том числе и в неферромагнитных материалах. Он может использоваться для контроля контактной сварки сталей и алюминиевых сплавов. Он применяется для измерения электропроводности металлов, изучения их структуры, физико-механических свойств, твердости и др. В частности, им можно определить величину остаточных напряжений после сварки.

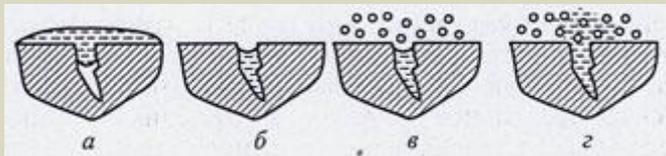
Контроль проникающими веществами

Источник: Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др. - М.: Издательский центр Академия

Контроль проникающими веществами

- ▶ Контроль проникающими веществами включает две группы методов: капиллярные и методы контроля течеисканием.
- ▶ **Капиллярные методы контроля** основаны на капиллярном проникновении жидкостей (пенетрантов) в дефекты и их контрастном изображении. Эти Методы применяются для выявления поверхностных дефектов, в основном в изделиях из неметаллов и сплавов, для которых невозможно использовать магнитные методы контроля. Капиллярный контроль осуществляют следующим образом. После подготовки (очистки, обезжиривания) поверхности контролируемой детали на нее наносят индикаторную жидкость, например смесь керосина со скипидаром с добавкой красителя.

Схема капиллярного контроля



а - нанесение индикаторной жидкости;

б - удаление ее излишков;

в - нанесение проявляющего порошка;

г - образование пятна на проявляющем порошке

- ▶ Жидкость проникает внутрь дефектов. Чтобы дефекты лучше и быстрее заполнялись, при нанесении жидкости повышают или понижают давление, воздействуют на деталь звуковыми или ультразвуковыми колебаниями или статической нагрузкой, подогревают жидкость, напыляют ее в виде аэрозоля. После нанесения жидкость с поверхности убирают (вытирают или сдувают), но в дефектах она остается. Далее струей газа, кистью или щеткой припудриванием наносят на поверхность проявитель. Это может быть, например, раствор каолина (белой глины) в этиловом спирте. Проявитель высыхает, в него всасывается из дефектов индикаторная жидкость, окрашивая места дефектов. Проявитель может быть в виде порошка (сухой способ). Можно наносить в качестве проявителя растворы люминофоров (в летучем растворителе) - тогда дефект будет светиться в ультрафиолетовых лучах (беспорошковый способ). Если добавить в индикаторную жидкость краситель и после очистки от нее поверхности нагреть деталь, то жидкость выступит на кромки дефекта, испарится, а затвердевший краситель покажет расположение дефекта. Дефекты выявляют внешним осмотром с помощью лупы; если применялись люминофоры, можно использовать фотодатчики. Капиллярным контролем выявляют дефекты шириной от 1 мкм, глубиной от 10 мкм и длиной от 0,1 мм.

Методы контроля течеисканием

- ▶ применяются для обнаружения сквозных дефектов. Для многих изделий (сосуды, замкнутые объемы) важнейшим эксплуатационным требованием является герметичность, т.е. свойство изделия обеспечивать настолько малое проникновение газа или жидкости, чтобы им можно было пренебречь в рабочих условиях. Особо высокие требования предъявляются к изделиям, работающим в вакууме, такие изделия должны обладать вакуумной плотностью. Сквозные дефекты могут сказываться и на других характеристиках соединения (прочности, коррозионной стойкости, электропроводности и др.), поэтому метод контроля течеисканием применим и для других изделий, даже для сварных листов.
- ▶ Методы контроля течеисканием подразделяются на гидравлические, пневматические, вакуумные, химической индикации течей, керосином и пенетрантами, газоаналитические и др.

► В **гидравлических методах** в качестве проникающего вещества используется жидкость, обычно вода, которая подается под давлением с одной стороны шва. Дефект обнаруживается по появлению жидкости с противоположной стороны шва. Применяются различные варианты гидравлического контроля. При испытаниях избыточным гидравлическим давлением в изделие подается вода под давлением, которое в 1,5...2 раза превышает рабочее. Изделие выдерживают определенное время, следя за давлением по манометру, затем обстукивают молотком, течи выявляются в виде струек и отпотевания поверхности контролируемого изделия. Этим методом выявляются дефекты диаметром до 0,001 мм. Гидравлические испытания под давлением менее опасны, чем пневматические, так как жидкость несжимаема и течь ведет к падению давления без взрыва. Для открытых сосудов и корпусов возможен контроль наливом воды. Возможны испытания сварных швов поливом воды под давлением от 0,1 до 1,0 МПа и осмотром места течи с противоположной стороны. При этом способе контроля выявляются дефекты диаметром от 0,5 мм.

► При **люминисцентно-гидравлическом методе** негерметичность шва определяется по течи и свечению индикаторной жидкости. Иногда в индикаторную жидкость добавляют радиоактивные вещества, которые дают возможность фиксировать очень мелкие дефекты с помощью датчиков ионизирующего излучения.

- ▶ **Пневматические испытания** производятся давлением воздуха, равным 1... 1,2 рабочего давления. Разновидностью пневматических испытаний является манометрический метод, при котором изделие выдерживается под давлением от 10 до 100 ч. Изменение давления, наблюдаемое по манометру, не должно превышать допускаемой величины. Испытания под высоким давлением опасны, поэтому их проводят редко. Возможно определение места течи при испытаниях невысоким давлением (0,03...0,3 МПа). Для индикации используют мыльную пену или пенные индикаторы на основе моющих средств. Поры диаметром 10^{-3} ... 10^{-4} мм можно обнаружить, обдувая поверхность сварного шва воздухом из шланга под давлением примерно 0,4 МПа. Иногда проводят пневмогидравлические испытания, создавая внутри изделия избыточное давление и погружая его в воду. Возможны и другие варианты пневматических методов контроля, например акустический метод, когда по наличию колебаний воздуха или газа, проходящего через несплошности с частотой приблизительно около 4 кГц, можно определить наличие дефектов.

- ▶ **Вакуумные методы** основаны на перепаде давления, создаваемого откачкой воздуха из изделия.
- ▶ К ним относятся манометрический метод, электроискровой и др. Широко используется метод мыльной индикации: на проверяемый участок шва, предварительно смазанный мыльным раствором, накладывается прозрачная камера на присосках, в которой создается низкий вакуум. При наличии в шве дефектов воздух проникает через несплошности и на поверхности шва образуются мыльные пузыри, наблюдаемые через прозрачное стекло камеры. Метод можно использовать для контроля стыковых и нахлесточных соединений.

► **Метод химической индикации течей** заключается в том, что на контролируемые стыки сосуда наносят индикаторную массу, пасту или ленту. В сосуд подают пробный газ под избыточным давлением. Пробный газ проникает через неплотности и окрашивает индикатор. В качестве пробного газа используют аммиак или углекислый газ, в качестве индикатора - 5 %-й раствор азотнокислой ртути (при наличии течи появляются черные или фиолетовые пятна) или фенолфталеин (появляются бесцветные пятна на малиновом фоне).

► **Метод контроля керосином** (бензином или спиртом) основан на высокой проникающей способности керосина или другого пенетранта, например бензина или спирта. Обычно контролируемый шов покрывают меловой краской со стороны, доступной для осмотра и устранения дефектов. Затем шов смачивают керосином с другой стороны и выдерживают необходимое время (обычно 15...60 мин). Дефекты выявляют по ржавым полосам и пятнам на слое мела. Иногда добавляют в пробную жидкость краску или люминофор.

► **Газоаналитические методы** (контроль с помощью течеискателей) заключаются в следующем: с одной стороны сварного шва в замкнутом изделии подается пробный газ, с другой стороны - отбирается проба газа, которая подается в анализатор течеискателя.

Существуют различные схемы контроля с помощью течеискателей: опрессовка - пробный газ подается под избыточным давлением внутрь сосуда, обдув контролируемого шва пробным газом и отбор пробы газа из сосуда, аккумулярование - изделие выдерживается в атмосфере пробного газа, а затем производится отбор пробы газа из изделия (при этом достигается максимальная чувствительность, но определение места течи затруднено). Течеискатели бывают катарометрические, ими место дефекта определяют по изменению теплопроводности газовой смеси вблизи дефекта. В качестве пробного газа при этом используют азот, углекислый газ, инертные газы.

- ▶ **Галогенными течеискателями** дефекты определяют по изменению ионного тока при пропускании через промежуток анод-коллектор платинового диода газов, содержащих галоиды (фреон, CCl_4 , SF_6 , хлороформ).
- ▶ **В масс-спектрометрических течеискателях** проба газа ионизируется, и о наличии сквозного дефекта судят по возникновению ионного тока в камере. В качестве пробного газа чаще всего используют гелий.

Методы контроля течеисканием	Основан	Проникающее вещество	Обнаружение дефекта
гидравлические	При испытаниях избыточным гидравлическим давлением в изделие подается вода под давлением, которое в 1,5...2 раза превышает рабочее. Изделие выдерживают определенное время, следя за давлением по манометру, затем обстукивают молотком, течи выявляются в виде струек и отпотевания поверхности контролируемого изделия.	жидкость	по появлению жидкости с противоположной стороны шва
люминисцентно-гидравлические		в индикаторную жидкость добавляют радиоактивные вещества	негерметичность шва определяется по течи и свечению индикаторной жидкости.
пневматические	производятся давлением воздуха, равным 1... 1,2 рабочего давления	воздуха	Для индикации используют мыльную пену или пенные индикаторы на основе моющих средств
вакуумные	основаны на перепаде давления, создаваемого откачкой воздуха из изделия.	на проверяемый участок шва, предварительно смазанный мыльным раствором, накладывається прозрачная камера на присосках, в которой создается низкий вакуум.	воздух проникает через несплошности и на поверхности шва образуются мыльные пузыри, наблюдаемые через прозрачное стекло камеры
химической индикации течей	заключается в том, что на контролируемые стыки сосуда наносят индикаторную массу, пасту или ленту.	В качестве пробного газа используют аммиак или углекислый газ,	в качестве индикатора - 5 %-й раствор азотнокислой ртути (при наличии течи появляются черные или фиолетовые пятна) или фенолфталеин (появляются бесцветные пятна на малиновом фоне).
керосином и пенетрантами	основан на высокой проникающей способности керосина или другого пенетранта. Обычно контролируемый шов покрывают меловой краской со стороны, доступной для осмотра и устранения дефектов.	шов смачивают керосином с другой стороны и выдерживают необходимое время (обычно 15...60 мин). Иногда добавляют в пробную жидкость краску или люминофор.	Дефекты выявляют по ржавым полосам и пятнам на слое мела.
газоаналитическое	с одной стороны сварного шва в замкнутом изделии подается пробный газ, с другой стороны - отбирается проба газа, которая подается в анализатор течеискателя.	В качестве пробного газа при этом используют азот, углекислый газ, инертные газы	определяют по изменению теплопроводности газовой смеси вблизи дефекта