



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

# Материаловедение

## Лекция 10: Неразрушающие МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Семенова Елена  
Инженер-проектировщик 1 категории

14.11.2024

# Термины и определения



**Неразрушающий контроль (НК)** – контроль качества металла, при котором не должна быть нарушена сплошность, работоспособность и внешний вид детали, заготовки

Методы неразрушающего контроля (НК) **основываются на наблюдении, регистрации и анализе результатов взаимодействия** физических полей (излучений) или веществ с объектом контроля (ОК), характер которого зависит от химического состава, строения, состояния структуры контролируемого объекта.

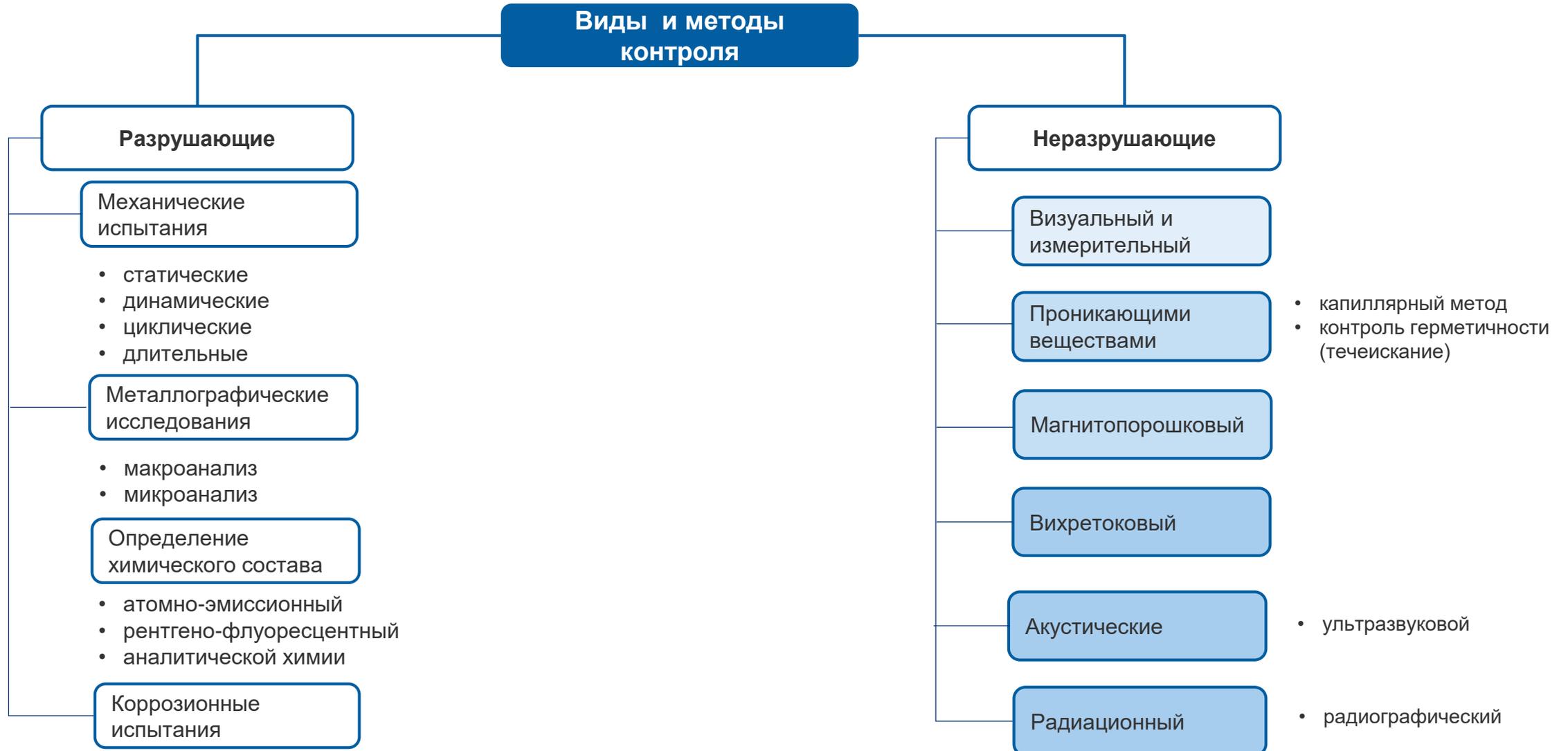
В соответствии с ГОСТ 18353, ГОСТ 16504 (ГОСТ Р 56542-2019) методы НК разделяются на следующие виды в зависимости от физических явлений, положенных в основу:

- акустический контроль (ультразвуковой метод НК)
- магнитный контроль (магнитопорошковая дефектоскопия)
- контроль проникающими веществами
- радиоволновый контроль
- радиационный контроль (рентгеновский метод НК)
- оптический контроль
- тепловой контроль
- электрический контроль
- электромагнитный (вихретоковый) контроль
- твердометрия (условно, в зависимости от метода)

К неразрушающим методам можно также отнести и метод прогонки калибровочным шариком, а также спектральные методы анализа химического состава, если они выполняются переносными спектрометрами, стилоскопами, а также замеры твердости, выполняемые также переносными твердомерами. Анализы и замеры производятся непосредственно на деталях, оставляя при этом на их поверхностях небольшие легкоудаляемые прижоги и отпечатки.

Настройка, калибровка должны осуществляться по контрольным образцам, имитирующим измеряемый физический параметр.

# Общая классификация методов контроля качества материалов и готовых деталей



# Применимость методов неразрушающего контроля



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

НК применяется на всех этапах изготовления оборудования и эксплуатации. Выбор методов и средств контроля и задачи, решаемые НК, на всех стадиях изготовления и эксплуатации изделий во многом зависят от назначения изделия (объекта контроля - ОК).

**На этапах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ** НК применяется для:

- получения необходимых данных, подтверждающих правильность выбранных решений
- для сокращения времени и объемов необходимых исследований
- для отбора материалов, компонентов и оборудования, обеспечивающих получение продукции необходимого качества с минимальными затратами

**На этапе производства и испытаний опытной партии деталей** применяется для отработки технологических процессов и конструкций, а также при испытании изделий. Результаты контроля используются для внесения изменений в конструкцию и технологические процессы с целью снижения материалоемкости и трудоемкости производства, повышения надежности и долговечности продукции. На этой стадии устанавливаются необходимые технические требования к НК качества изделия.

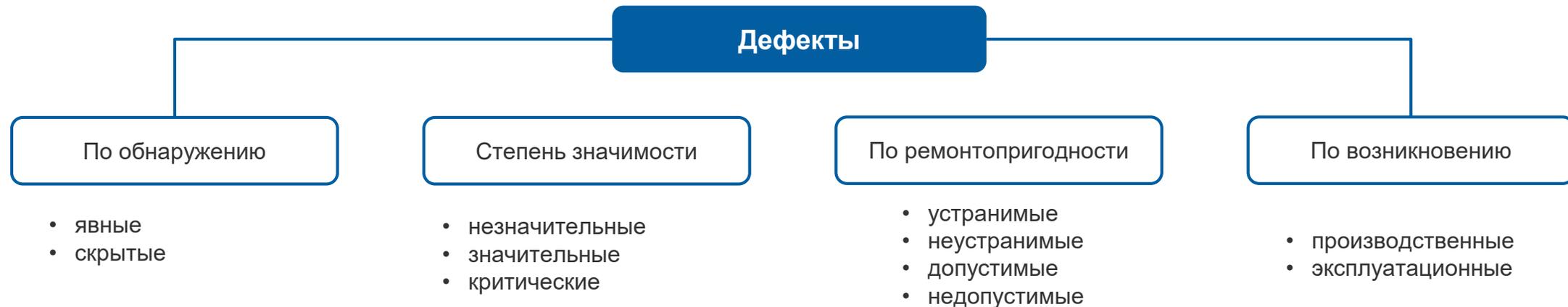
**На этапе производства, испытаний и гарантийного обслуживания** серийной продукции НК используется для подтверждения соответствия материалов, полуфабрикатов и готовых изделий заданным техническим требованиям (пассивный контроль); для целей управления и регулирования технологическими процессами (активный контроль).

**На этапе эксплуатации и ремонта** изделий и оборудования НК дает возможность предотвратить поломки и аварии, сократить простой и эксплуатационные расходы, увеличить сроки эксплуатации и межремонтных периодов, а также сократить продолжительность и стоимость ремонтов. На основе результатов НК может быть принято управленческое решение о дальнейшей эксплуатации изделия.

# Дефекты. Классификация



ГОСТ 15467-79 дает следующее определение термину **«Дефект»** – отклонение изготовленной продукции от требований, установленных нормативно-технической документацией



- **незначительные:** отдельные поры, включения, но не скопления и с ограничением размеров
- **значительные:** цепочки и скопления пор, включений, непровары, несплавления, протяженные дефекты
- **критические:** трещины

Дефекты вызывают изменение физических характеристик металлов и сплавов – плотности, электропроводности, магнитной проницаемости, упругих свойств и т. д.

Исследование изменений характеристик металлов и обнаружение дефектов, являющихся причиной этих изменений, и составляет физическую основу методов неразрушающего контроля

# Дефекты. Рекомендации по устранению



**Поверхностные дефекты** следует удалять механическим способом с обеспечением плавных переходов в местах выборок.

**Исправление поверхностных дефектов без последующей заварки** мест выборки пускается при глубине выборки, не превышающей предельное отклонение номинальной толщины.

Дефекты на поверхностях, подлежащих механической обработке, **допускаются без удаления**, если глубина их, определяемая контрольной выборкой, не более 75 % припуска на механическую обработку - для поковок, плит, листов и 50 % припуска на механическую обработку для заготовок, получаемых штамповкой из листа.

Допускается заварка дефектных мест в случаях, когда глубина образовавшихся после удаления дефектов - выборок, **не превышает 20% от номинальной толщины заготовки, но не более 40 мм, входящих в чистовые размеры**, а суммарная площадь выборки 2% от общей площади заготовки.

Контроль полноты удаления дефектов должен производиться визуальным контролем, травлением или цветной дефектоскопией.

Заварка и контроль мест ремонта производится в соответствии с НД действующей на предприятии.

Для заказов АС должна быть разработана и согласована с головной материаловедческой организацией инструкция (или другой НД) по устранению дефектов

# Выбор метода неразрушающего контроля



Универсального метода неразрушающего контроля, способного обнаружить самые разнообразные по характеру дефекты, нет. Каждый отдельно взятый метод НК решает ограниченный круг задач.

При выборе метода неразрушающего контроля конкретных деталей необходимо учитывать:

- цель
- чувствительность метода контроля
- характер (вид) предполагаемой несплошности (пора, трещина, включение и т.д.) и ее расположение (поверхностное, внутри заготовки/детали)
- условия работы деталей и технические условия (ТУ) на изделие
- материал детали
- состояние и шероховатость поверхности;
- контролепригодность изделия
- контроледоступность изделия
- форму и размер детали/заготовки
- тип и предполагаемое место расположение несплошности

Контроледоступность характеризуется отсутствием конструктивных или других пространственных ограничителей, препятствующих проведению неразрушающего контроля данным методом в необходимом объеме и совокупностью физико-химических свойств объектов, позволяющих осуществить проверку данным методом неразрушающего контроля

# Факторы, влияющие на выбор метода НК



**Чувствительность.** Данная характеристика определяет наименьший размер дефекта, который может быть выявлен конкретным методом. Зависит от особенностей метода неразрушающего контроля, условий проведения контроля, материала изделий. Удовлетворительная чувствительность для выявления одних дефектов может быть совершенно непригодной для выявления дефектов другого характера

Метод НК	Минимальные размеры выявляемых несплошностей, мкм		
	ширина раскрытия	глубина	протяженность
Визуально-оптический	5 ÷ 10	-	100
Капиллярные методы ГОСТ Р 50.05.09	1 ÷ 2	10 ÷ 30	100 ÷ 300
Магнитопорошковый ГОСТ Р 50.05.06	1	10 ÷ 50	30
Вихретоковый	0,5 ÷ 1	150 ÷ 200	600 ÷ 2000
Ультразвуковой ГОСТ Р 50.05.06	1 ÷ 30	-	-
Радиографический	100 ÷ 500	1 ÷ 1,5 % толщины*	-

\* При толщине металла менее 7 мм относительная чувствительность радиографического метода резко снижается и при толщине 1 мм составляет 10 %

**Место расположения возможных несплошностей.** Несплошности можно условно разделить на **поверхностные**, **подповерхностные** (глубина залегания (0,5 ÷ 1,0) мм) и **внутренние** (глубина залегания более 1,0 мм). Для выявления поверхностных дефектов наиболее эффективны из них визуально-оптический, магнитопорошковый, вихретоковый и капиллярный. Для обнаружения подповерхностных несплошностей эффективны ультразвуковой, вихретоковый, магнитопорошковый, а внутренних - только ультразвуковой и радиографический

# Факторы, влияющие на выбор метода НК



**Условия работы детали** определяют наиболее вероятные места возникновения дефектов, связанных с повышенной концентрацией напряжений, воздействием знакопеременных нагрузок, агрессивных сред, температурных условий. Любые конструктивные или технологические дефекты могут стать очагами усталостного разрушения. Учет условий работы деталей позволяет определить критические места конструкции и установить за ними тщательный контроль неразрушающими методами.

**Физические свойства материала** имеют важнейшее значение при выборе вида и методов НК.

Для применения магнитопорошкового контроля материал должен быть ферромагнитным и однородным по магнитным свойствам структуры.

Для вихретокового контроля материал должен быть электропроводным, однородным по структуре и изотропным по магнитным свойствам.

Для УЗК материал должен быть однородным, мелкозернистым по структуре, должен обладать свойствами упругости и малым коэффициентом затухания ультразвуковых колебаний.

Для капиллярных методов – непористым и стойким к воздействию органических растворителей.

Применение методов просвечивания ионизирующими излучениями ограничивается лишь способностью материала поглощать данное излучение и толщиной материала.

**Форма и размеры контролируемых деталей.** Применимость некоторых видов контроля изделий сложной формы ограничена. Например, ультразвукового – из-за трудности расшифровки результатов контроля и наличия «мертвых» зон, часто требуется разработка индивидуальной методики контроля; капиллярного – из-за трудности выполнения отдельных операций, особенно подготовки деталей к контролю и удаления с поверхности проникающей жидкости. Крупногабаритные изделия контролируют, как правило, по частям

# Факторы, влияющие на выбор метода НК



**Зона контроля.** В зоне не должно быть конструктивных элементов, препятствующих проведению контроля, например, для УЗК - отверстий, заклепок, болтов и т. д.

**Состояние и степень шероховатости поверхности.** Чувствительность методов НК, особенно магнитопорошкового, капиллярных, ультразвуковых зависит от степени шероховатости поверхности, наличия на ней различных защитных покрытий. Капиллярный контроль не может быть выполнен по лакокрасочным покрытиям. УЗК сварных соединений проводится при  $R < 40$  мкм.

**Условия контроля и доступность.** Как правило, НК выполняется при температуре выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Зона контроля должна быть ограждена от источников загрязнения (например, от пыли зачистных машинок). Условия контроля должны быть безопасными с учетом того фактора, что внимание дефектоскописта должно быть максимально направлено на объект контроля. Некоторые методы НК требуют доступа с двух сторон детали.

Часто одного вида контроля недостаточно для проверки качества изделия по требуемым параметрам. В таких случаях применяется комплекс различных видов НК. Например, при радиографическом контроле сварных соединений хорошо выявляются объемные несплошности (поры, шлаковые включения) и плоскостные дефекты с ориентацией, близкой к направлению просвечивания и с раскрытием более 100 мкм. УЗК хуже выявляет объемные дефекты, зато позволяет обнаруживать плоскостные дефекты с раскрытием менее 100 мкм. Сочетание этих методов при контроле ответственных металлоконструкций позволяет выявить все опасные дефекты указанных типов.

Основные методы НК, применяемые для контроля изделий АЭС, это:

- визуальный и измерительный
- магнитопорошковый
- ультразвуковой
- радиографический

Объем контроля, методики и нормы оценки назначаются НД, действующими в области атомной энергетики.

# Оптические виды контроля



Основные методы оптического вида НК:

- визуальный и измерительный контроль (ВИК)
- визуально-оптический

**Визуальным** называется контроль, при котором первичная информация воспринимается органами зрения. С помощью зрения контролируют исходные материалы, полуфабрикаты и готовую продукцию, обнаруживают отклонения формы и размеров, изъяны материала и обработки, поверхностные дефекты и прочее.

Цель визуального контроля :

- выявление коррозии на поверхности
- выявление поверхностных дефектов (трещин, расслоений, забоин, вмятин, раковин, пор, подрезов, шлаковых включений и других несплошностей), вызванных технологией изготовления или транспортировкой
- подтверждение наличия и правильности клеймения, а также соответствия формы разделки кромок, подлежащих сварке, требованиям нормативно-технической документации

**Измерительным** называется контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Цель измерительного контроля:

- подтверждение соответствия основных размеров изделий (деталей, сборочных единиц) требованиям рабочей документации
- измерение размеров сварных швов и поверхностных дефектов, выявленных при визуальном контроле

Средствами измерительного контроля являются линейки измерительные, угольники поверочные, штангенциркули, щупы, угломеры с нониусом, нутромеры, калибры, шаблоны, другой инструмент и приспособления.

# Оптические виды контроля



**Визуально-оптический контроль** выполняется с использованием оптических приборов. Основан на взаимодействии светового излучения с контролируемым объектом.

**Цель** визуально-оптического контроля:

- обнаружение различных поверхностных дефектов материала деталей
- обнаружение скрытых дефектов
- контроль закрытых конструкций, внутренних и труднодоступных мест поверхностей деталей оборудования (при наличии каналов для доступа оптических приборов к контролируемым объектам)

Регистрация поверхностных дефектов осуществляется с помощью оптических устройств, создающих полное изображение проверяемой зоны.

**Достоинства** оптических методов: простота контроля, несложное оборудование и сравнительно небольшая трудоемкость. Поэтому их применяют на различных стадиях изготовления деталей и элементов конструкций, в процессе регламентных работ и осмотров, проводимых при эксплуатации техники, а также при ее ремонте.

**Недостатки:** невысокая чувствительность и достоверность, применяют для поиска достаточно крупных поверхностных трещин, коррозионных и эрозионных повреждений, забоин, открытых раковин, пор, для обнаружения течей, загрязнений, наличия посторонних предметов и т. д.

Средством, расширяющим возможности визуально-оптического контроля при решении некоторых специфических задач, является травление. Травление находит применение для оценки структуры металла на протравливаемых участках, определения включений инородного металла (например, аустенита в перлите), определения местоположения сварного шва. При травлении выявляются также и дефекты поверхности, однако, в настоящее время предпочтение при поиске поверхностных дефектов типа нарушения сплошности отдается капиллярному контролю и магнитопорошковой дефектоскопии (МПД).

# Контроль проникающими веществами



К этому методу неразрушающего контроля относятся **капиллярные методы** и **методы течеискания**.

**Капиллярные методы** основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных дефектов и регистрации индикаторного рисунка. Методика регламентирована ГОСТ 18442

Цели капиллярной дефектоскопии:

- обнаружение открытых, в том числе сквозных, дефектов, выходящих на поверхность: трещин, пор, раковин, непроваров, свищей и других несплошностей поверхности изделий
- подтверждение дефектов, выявленных другими методами дефектоскопии - визуальным, магнитным, вихревых токов
- сварочные, термические и усталостные трещины

По способу получения первичной информации различают два основных метода капиллярной дефектоскопии: цветной и люминесцентный.

**Цветным** называется жидкостный метод НК, основанный на регистрации контраста цветного индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля (ОК).

**Люминесцентным** называется жидкостный метод НК, основанный на регистрации контраста люминесцирующего в ультрафиолетовом излучении видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК.

Методы применяются для контроля деталей термически и механически обработанных, шлифованных, полированных, фрезерованных, не имеющих каких-либо покрытий и поверхностных загрязнений, препятствующих проникновению индикаторной жидкости.

Могут быть выявлены дефекты с минимальным раскрытием ( $0,0001 \div 0,001$ ) мм и глубиной 0,02 мм.

# Контроль проникающими веществами. Чувствительность



Чувствительность метода зависит от шероховатости поверхности, применяемых дефектоскопических материалов и условий контроля (температура, влажность, освещенность).

Чувствительность капиллярного контроля определяется по среднему раскрытию неразветвленной трещины длиной не менее 3 мм. В зависимости от минимальной ширины раскрытия выявляемого дефекта в капиллярной дефектоскопии различают четыре класса чувствительности. При контроле изделий АЭС контроль производят по II классу чувствительности.

Классы чувствительности в соответствии с ГОСТ 18442

Класс чувствительности	Ширина раскрытия трещин на контрольном образце (мкм)
I	Менее 1,0
II	От 1,0 до 10,0
III	От 10,0 до 100,0
IV	От 100 до 500
технологический	не нормируется

Класс чувствительности устанавливается проектной (конструкторской) организацией в соответствии с требованиями Правил, НД или ПТД. В случае отсутствия указаний по выбору чувствительности при проведении контроля рекомендуется капиллярный контроль проводить по II классу чувствительности.

# Этапы проведения капиллярного контроля



При использовании капиллярной дефектоскопии для обнаружения сквозных дефектов, индикаторную жидкость наносят с одной стенки объекта контроля, а проявитель - с другой. Обнаружение сквозных дефектов входит в задачу течеискания (контроля герметичности)

**Методы течеискания** основаны на регистрации индикаторных жидкостей и газов, проникающих в сквозные дефекты контролируемого объекта. Их применяют для контроля герметичности работающих под давлением сварных сосудов, баллонов, трубопроводов гидро-, топливо-, масляных систем силовых установок и т.п.



**Магнитные методы НК** основаны на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом.

Существуют разные магнитные методы, отличающиеся как первичными информативными параметрами (коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, остаточная индукция и др.), так и способом получения первичной информации (магнитографический, феррозондовый, магнитопорошковый и др.). Наиболее применяемый в энергомашиностроении – магнитопорошковый.

Магнитопорошковый метод (МПД) применяется для выявления поверхностных и подповерхностных (на глубине до  $1,5 \div 2$  мм) дефектов типа нарушения сплошности материала изделия: трещины, волосовины, расслоения, флокены, непровары стыковых сварных соединений, закатов и т.д. **Дефекты типа расслоений, закатов, плоскости которых параллельны контролируемой поверхности и не выходят на нее, МПД не выявляются.**

Используется для контроля изделий любых габаритных размеров и форм, если магнитные свойства материала изделия (относительная максимальная магнитная проницаемость не менее 40) позволяют намагничивать его до степени, достаточной для создания поля рассеяния дефекта, способного притянуть частицы ферромагнитного порошка.

**Контроль поверхностей отливок из сталей перлитного класса и высокохромистых после дробеструйной обработки должен осуществляться только магнитопорошковым методом.**

## Преимущества МПД:

- высокая чувствительность
- возможность контроля деталей, находящихся в конструкции
- сравнительно высокая производительность контроля

# Принцип магнитопорошкового контроля



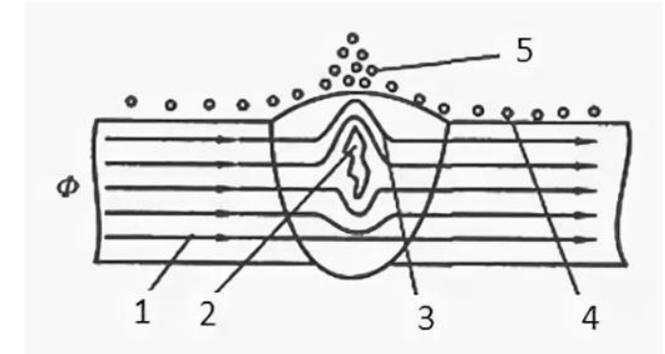
Чувствительность МПД определяется:

- магнитными характеристиками материала контролируемого изделия (максимальной магнитной проницаемостью, остаточной индукцией и коэрцитивной силой)
- шероховатостью поверхности контроля
- напряженностью намагничивающего поля, его ориентацией по отношению к плоскости дефекта,
- качеством дефектоскопических материалов и освещенностью контролируемой поверхности

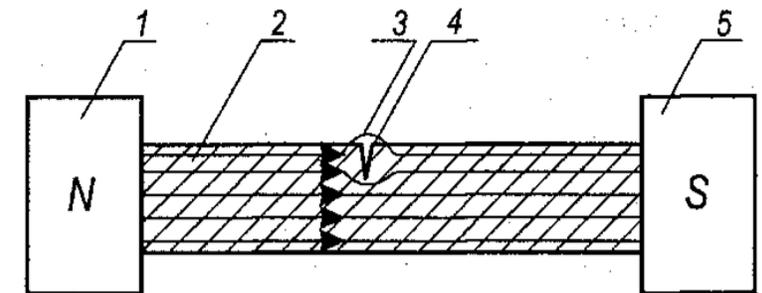
Наибольшая вероятность выявления дефектов достигается в случае, когда плоскость дефекта составляет угол  $90^\circ$  с направлением намагничивающего поля (магнитного потока). С уменьшением этого угла чувствительность метода снижается, и при углах существенно меньших  $90^\circ$  дефекты могут быть не обнаружены.

Основой МПД является **регистрация магнитных полей рассеяния над дефектами** с использованием в качестве индикатора **ферромагнитного порошка или магнитной суспензии**.

Магнитный поток в бездефектной части изделия не меняет своего направления. Если же на его пути встречаются участки с пониженной магнитной проницаемостью, например, дефекты в виде разрыва сплошности металла (трещины, неметаллические включения и т. д.), то часть магнитных силовых линий выходит из детали. Там, где они выходят из детали и входят в нее обратно, возникают местные магнитные полюсы N, S и магнитное поле над дефектом. После снятия намагничивающего поля магнитное поле над дефектом и местные полюсы остаются из-за остаточной индукции.

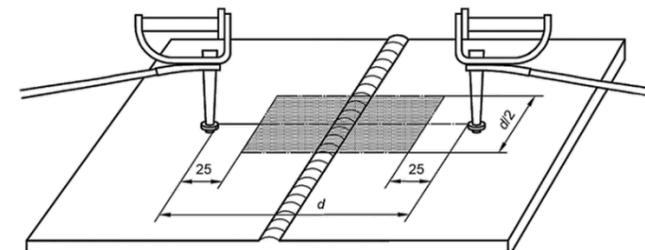
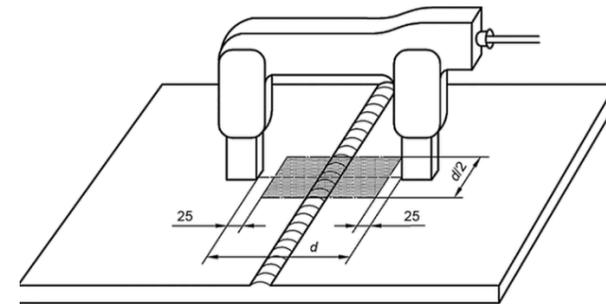
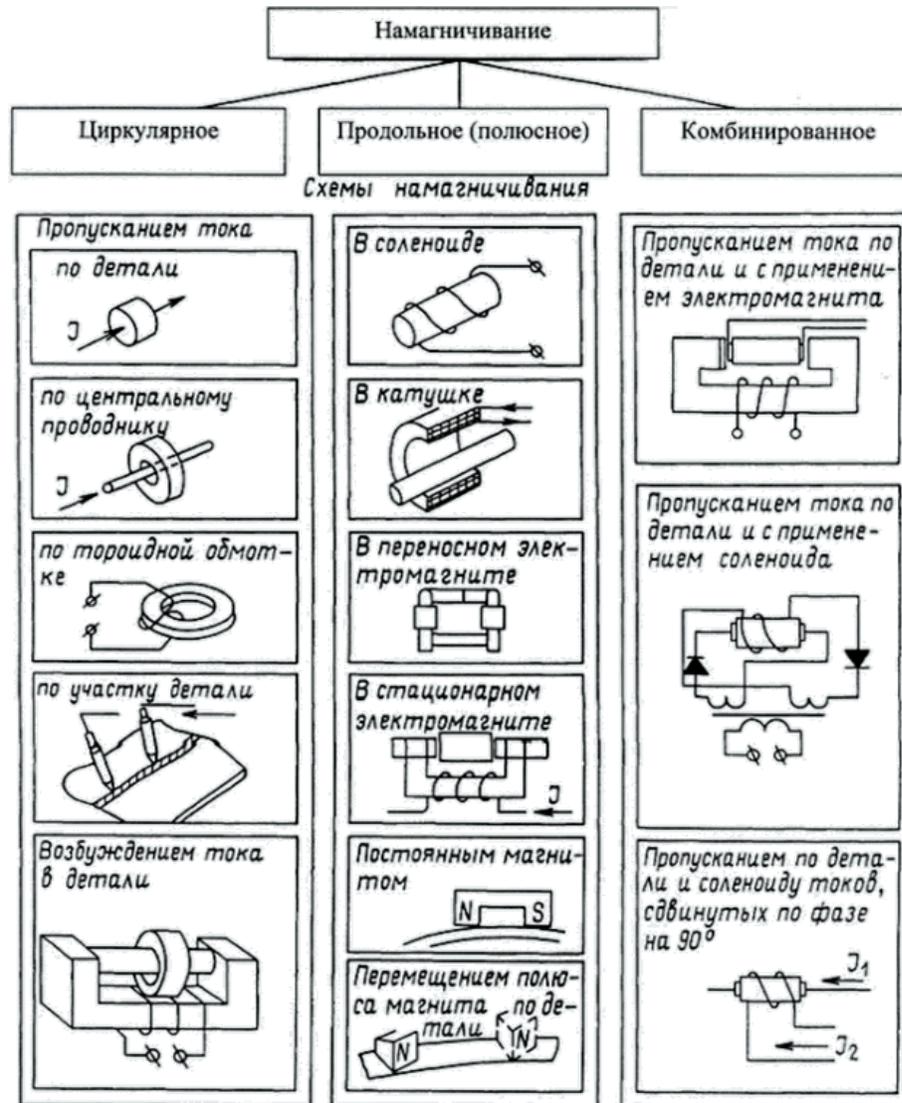


1 – магнитное поле; 2 – дефект; 3 – искажение магнитного поля; 4 – магнитная суспензия; 5 – скопление частиц



1, 5 – полюсы постоянного магнита; 2 – деталь; 3 – поле рассеяния; 4 – дефект

# Способы выполнения магнитопорошкового контроля



# Вихретоковый метод (электромагнитный)



Метод основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объект контроля этим полем.

Вихретоковый контроль предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных несплошностей (трещин, пор, волосовин, шлаковых и иных неметаллических включений) в основном металле, а также в сварных соединениях со снятым усилением и шероховатостью поверхность не более Ra 2,5 мкм.

Вихретоковый метод дефектоскопии заключается в том, чтобы при помощи вихретокового дефектоскопа и преобразователя наводить в объекте контроля индукционные (вихревые) токи, электромагнитное поле которых рассеивается на участках с дефектами.

Дефектоскоп фиксирует напряжение этого поля (сопротивление на катушках) и отображает результаты в виде временной развёртки (графиков). Помимо дефектоскопии, вихретоковый метод НК позволяет решать и другие задачи, например, по измерению толщины немагнитных покрытий, определению электропроводимости чёрных и цветных металлов, сортировке металлопроката и пр.



# Вихретоковый метод (электромагнитный)



Данный метод применяют для контроля деталей, изготовленных из электропроводящих материалов.

Особенности присущие вихретоковым методам:

- многопараметровость
- метод является бесконтактным
- нечувствительность к изменению влажности, давления и загрязненности газовой среды и поверхности объектов контроля непроводящими веществами

Вихретоковые методы имеют два основных ограничения:

- применяются только для контроля электропроводящих изделий
- имеют малую глубину контроля, связанную с особенностями проникновения электромагнитных волн в объект контроля

Контрольно-измерительные задачи, решаемые с помощью вихретоковых методов:

- обнаружение трещин, раковин, неметаллических включений и других видов нарушений сплошности (дефектоскопия)
- измерение толщины прутков, стенок труб (при одностороннем доступе), диаметр проволок, а также толщины лакокрасочных, эмалевых, керамических, гальванических и других покрытий, нанесенных на электропроводящую основу (толщинометрия)
- контроль химического состава, механических свойств, остаточных напряжений (структуроскопия)

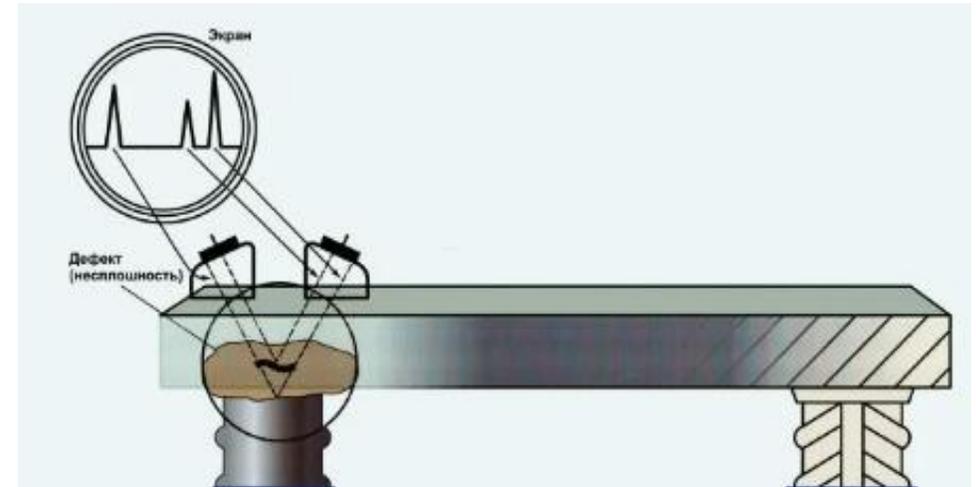
# Метод ультразвукового контроля



**Ультразвуковой контроль** (методика ГОСТ Р 50.05.05) основан на введении в объект контроля высокочастотных механических колебаний (ультразвуковых волн) для получения информации о его состоянии. **Способность ультразвуковых волн отражаться и рассеиваться на разрывах сплошности и неоднородностях материала** положена в основу действующих методик ультразвукового контроля. К преимуществам данного метода следует отнести возможность выявления как внутренних, так и поверхностных дефектов, контроля деталей, закрытых для внешнего доступа и локализации местоположения дефекта.

Узконаправленная волна, создаваемая дефектоскопом, проходит сквозь объект контроля. При наличии дефекта она распространяется с отклонениями, которые можно зафиксировать на экране прибора. Показания, полученные в ходе УЗК, позволяют узнать информацию о характере выявленного дефекта. Например: по времени прохождения ультразвукового сигнала – измеряется расстояние до неровности; по амплитуде колебания отражённой волны оцениваются примерные размеры дефекта.

Данный метод предназначен для обнаружения в металлических заготовках внутренних дефектов типа трещин, непровары, несплавления, расслоений, пор, скоплений неметаллических включений/дефектов и иные подповерхностные дефекты – как одиночные, так и их скопления.



# Метод ультразвукового контроля



Оборудование:

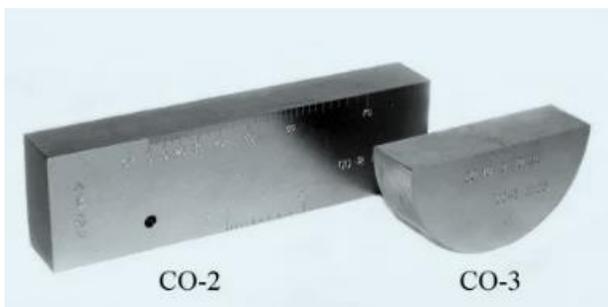
- ультразвуковые дефектоскопы;
- пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП): прямые и наклонные совмещённые, отдельно-совмещённые и отдельные, поворотные
- контактные жидкости
- калибровочные и настроечные образцы (СОП)

ПЭП предназначен для генерирования и регистрации высокочастотных ультразвуковых колебаний. Основные элементы: пьезоэлемент, демпфер и протектор

Пьезоэлемент – преобразовывает электрическую энергию, подаваемую на него в виде электрического импульса возбуждения от генератора, в энергию ультразвуковых колебаний

Демпфер – гасит колебания выходного сигнала и основная часть энергии сигнала излучается в направлении прозвучивания

Протектор – служит для защиты активного элемента от истирания.



# Метод ультразвукового контроля



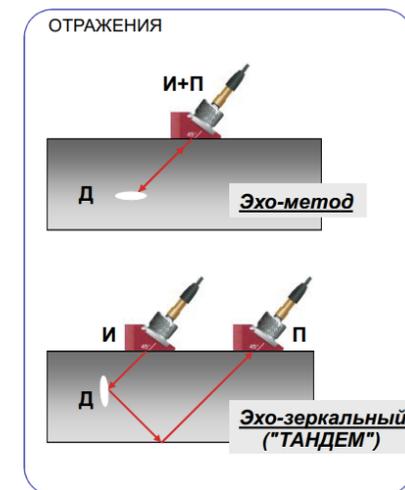
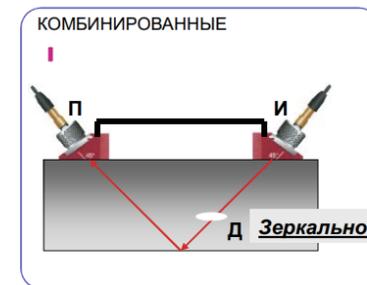
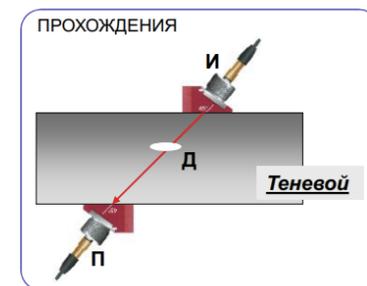
Распространены четыре основные методики выполнения ультразвукового метода неразрушающего контроля. Их отличия заключаются в способах, применяемых для получения и оценки информации о дефектах:

**Импульсный эхо-метод.** В ходе диагностики ультразвуковую волну направляют на контролируемую область, а отражённый от дефекта сигнал регистрируют. Эхо-метод предполагает использование одного преобразователя в качестве как приёмника, так и источника волны.

**Теневой.** По разные стороны от контролируемой зоны устанавливают два преобразователя. Один из них формирует УЗ-волну, а второй регистрирует отражённый сигнал. При использовании теневого метода о наличии дефекта можно говорить в случае исчезновения УЗ-колебаний. В потоке возникает «глухая зона». Она говорит о том, что в этом месте сигнал не смог пройти из-за дефекта.

**Зеркальный эхо-метод.** В этом случае оба преобразователя устанавливаются на одной стороне. Первый прибор формирует УЗ-колебания, которые отражаются от неровности, а второй регистрирует их. Данный метод особенно эффективен, если необходимо найти дефекты, расположенные под прямым углом относительно поверхности исследуемого изделия (трещины и пр.).

**Зеркально-теневой метод.** По сути – это теневой метод. Однако приборы размещаются на одной стороне. В ходе дефектоскопии оператор регистрирует не прямой, а отражённый от второй поверхности контролируемой зоны поток УЗ-волн. О наличии дефекта говорят «глухие зоны» в отражённых колебаниях.



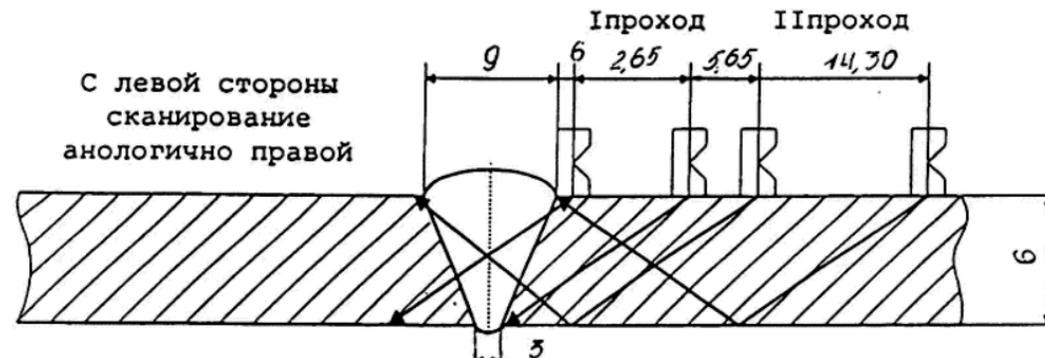
# Метод ультразвукового контроля



Порядок проведения дефектоскопии зависит от класса металла, который нужно проверить, а также от требований, предъявляемых к нему. Процесс на несколько этапов, это:

- **разработка технологической карты контроля**
- **визуальный осмотр.** Оператор перед проведением дефектоскопии осматривает прокат на предмет видимых повреждений.
- **выбор характеристик и методов контроля.** В зависимости от класса заготовки выбирается метод выполнения УЗК.
- **подготовка поверхности.** С поверхности удаляют остатки шлака, лакокрасочных покрытий, крупные неровности и следы коррозии. Зона выполнения УЗК покрывается специальным составом, включающим воду, минеральные масла или особые густые клейстеры. Это даёт ультразвуковым сигналам возможность проникать внутрь металлического листа без препятствий.
- **подготовка оборудования.** В зависимости от выбранного метода выполнения УЗК мастер размещает, подключает и настраивает приборы, проводит настройку чувствительности на образцах.
- **проведение дефектоскопии.** Оператор медленно сканирует металлический лист. При возникновении сигналов от дефектов подбирается контрольный уровень чувствительности. Все данные фиксируются оператором.
- **фиксация результатов контроля.** Информация о найденных дефектах заносится в специальный журнал. Также на основании полученных данных определяется качество стального листа в зависимости от требований, которые к нему предъявляются.

Схема УЗконтроля



# Метод ультразвукового контроля



## Преимущества ультразвукового метода контроля

- доступная стоимость: УЗК обходится значительно дешевле, чем ряд других методов дефектоскопии;
- безопасность: ультразвуковое излучение не оказывает негативного влияния на оператора, проводящего исследование;
- мобильность: портативные аппараты для дефектоскопии позволяют проводить проверку на выезде;
- достаточно высокая точность;
- неразрушающее воздействие: изделия сохраняются в своём первоначальном виде, что позволяет избежать дополнительных финансовых затрат.

## Основные минусы УЗК

- подготовка поверхности перед проведением контроля: шероховатость поверхности должна быть не более Ra 6,3 (Rz 40) для обеспечения хорошего контакта датчика с поверхностью контроля
- не позволяет получить точную информацию о размерах дефекта

# Радиографический контроль



Метод основан на ослаблении ионизирующего – рентгеновского излучения или гамма-излучения при взаимодействии с материалом объекта контроля (ОК). **Проникающее излучение, проходя через толщу материала детали и взаимодействуя с его атомами, несет различную информацию о внутреннем строении вещества и наличии скрытых дефектов внутри контролируемых объектов.**

При радиационном контроле применяются рентгеновское (тормозное); гамма- и нейтронное излучение. Источниками тормозного излучения служат рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц (электронов). В них поток электронов, проходя большие разности потенциалов, ускоряется, т. е. электроны приобретают большую кинетическую энергию. Затем электроны тормозятся на мишени, при этом кинетическая энергия их движения переходит в энергию электромагнитного излучения.

По способу регистрации излучения различаются радиографический, радиоскопический и радиометрический методы радиационного контроля.

**Радиографический контроль направлен, прежде всего, на выявление внутренних дефектов - трещин, пор, непроваров, флюсовых и шлаковых включений, подрезов, смещений кромок, свищей и пр.**

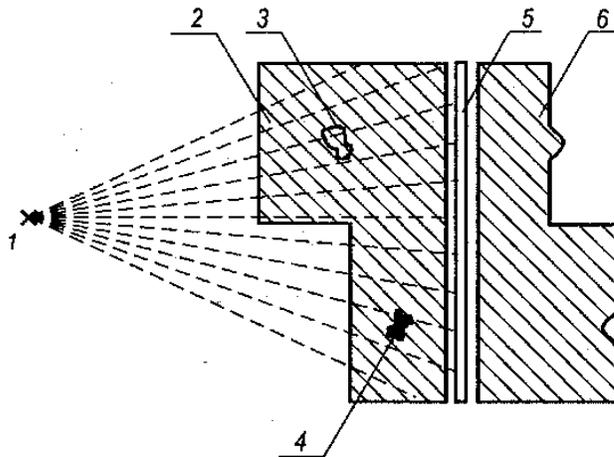
РК наиболее эффективен для обнаружения объёмных несплошностей и их скоплений, широко используется для контроля качества сварных соединений, наплавов, отливок, поковок в самых разных отраслях промышленности, от машиностроения и нефтегазового сектора до авиастроения и металлургических производств

# Радиографический контроль



Среди методов радиационной дефектоскопии наибольшее распространение получил **метод прошедшего излучения**. Направленный поток излучения, падающий на объект контроля, взаимодействует с его материалом (поглощается и рассеивается). Степень ослабления этого потока зависит от толщины и плотности материала объекта, а также от энергии излучения. Наличие в слое материала контролируемого объекта несплошностей в виде раковин или трещин либо включений с плотностью больше плотности материала объекта контроля приводит к появлению в пространственном распределении прошедшего через слой материала потока излучения максимумов, либо минимумов соответственно.

Таким образом формируется радиационное изображение, которое может быть визуализировано с помощью, например, радиографической пленки в виде участков с различной оптической плотностью.



1 – источник излучения; 2 – контролируемый объект; 3 – раковина; 4 – включение более плотное, чем материал контролируемого объекта; 5 – детектор (радиографическая пленка); 6 – распределение потока излучения за объектом

# Радиографический контроль



Чувствительность метода определяется минимальным размером обнаруживаемого дефекта в направлении просвечивания.

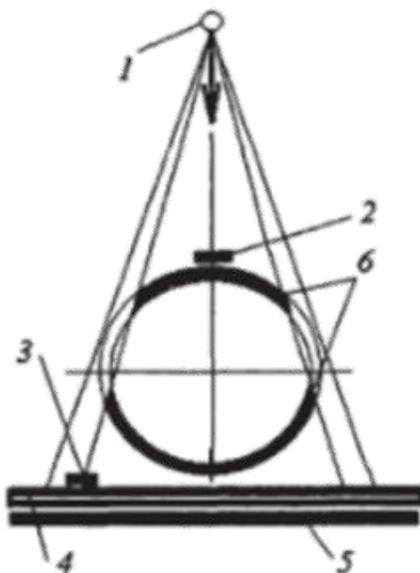
РГК один из самых «требовательных» методов с точки зрения того, какое количество технических средств, дефектоскопических материалов, принадлежностей и аксессуаров для него предусмотрено. Порядок проведения контроля достаточно трудоемкий.

Порядок выполнения радиографического контроля определяется технологической картой контроля, разработанной в соответствии с руководящими НТД, и включает в себя следующие основные операции:

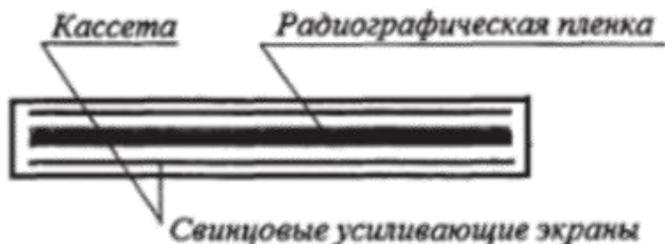
- осмотр объекта контроля на предмет отсутствия брызг металла, окалины, шлака, остатков изоляционного покрытия, прочих загрязнений. К РК приступают лишь после того, как ОК прошел ВИК, то на поверхности должны отсутствовать несплошности и неровности, которые могут помешать расшифровке рентгеновских снимков и выявлению внутренних дефектов
- нарезка рентгеновской плёнки и заправка кассет
- разметка и маркировка ОК
- установка эталонов чувствительности на ОК
- закрепление рентгеновского аппарата
- просвечивание
- химико-фотографическая обработка плёнок
- оценка качества рентгенограммы.
- расшифровка снимков

РК позволяет выявлять как объёмные, так и плоскостные дефекты, хотя и считается, что для последних более эффективным решением может оказаться УЗК. К объёмным дефектам, которые выявляются при помощи РК, относятся одиночные поры и их скопления, раковины, микро-рыхлота, шлаковые, флюсовые и другие включения. Примеры плоскостных дефектов - трещины, несплавления и непровары. Типовая форма заключения приводится в руководящих нормативных технических документах.

# Радиографический контроль. Схема



Параметры контроля	
Диаметр и толщина трубы	57x3,5 мм
Материал	Сталь 2Х18Н10Т
Вид и способ сварки	П/а аргонодуговая
Источник излучения	РА Руслан 225
Фокусное пятно	5x5 мм
Напряжение рентгеновской трубки	200 кВ
Анодный ток	10 мА
Тип R-пленки	РТ-5
Толщина свинцового экрана	0,09 мм
Время экспозиции	7 мин
Чувствительность снимков	0,2 мм
Эталон чувствительности	Fe, № 1
Фокусное расстояние	515 мм
Количество экспозиций	2

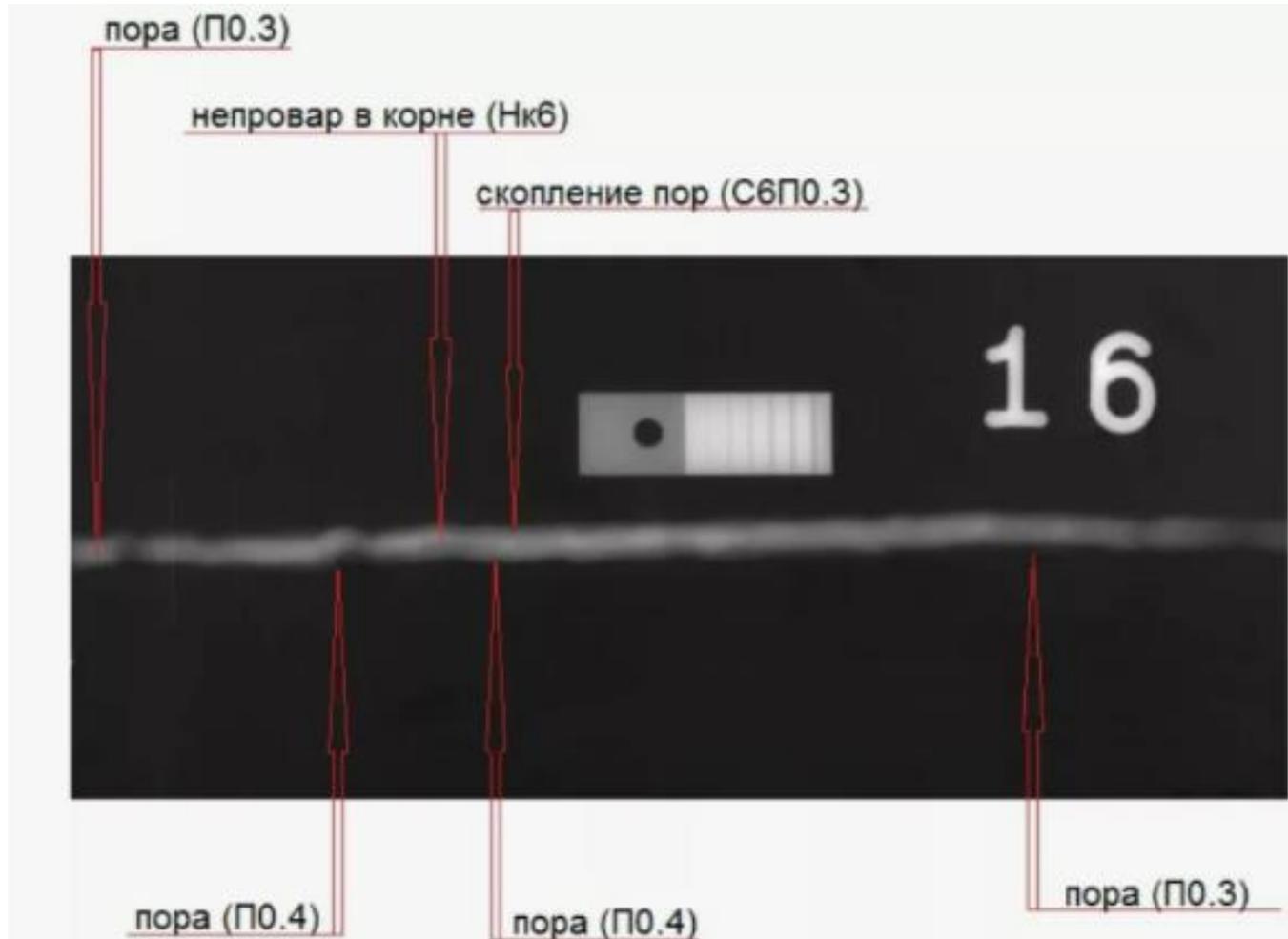


- 1 – источник излучения
- 2 – эталон чувствительности
- 3 – маркировочный знак
- 4 – кассета с пленкой
- 5 – защитный экран
- 6 – контролируемый участок

# Радиографический контроль. Пример снимка



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



## УСЛОВНАЯ ЗАПИСЬ ДЕФЕКТОВ ПРИ РАСШИФРОВКЕ СНИМКОВ И ДОКУМЕНТАЛЬНОМ ОФОРМЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

1. Для сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля должны использоваться условные обозначения, приведенные в таблице.

Вид дефекта	Условное обозначение		Характер дефекта	Условное обозначение	
	Русский алфавит	Латинский алфавит		Русский алфавит	Латинский алфавит
Трещины	Т	E	Трещина вдоль шва	Тв	Еа
			Трещина поперек шва	Тп	Еб
			Трещина разветвленная	Тр	Ес
Непровары	Н	D	Непровар в корне	Нк	Da
			Непровар между валиками	Нв	Db
			Непровар по разделке	Нр	Dc
Поры	П	A	Отдельная пора	П	Aa
			Цепочка	ЦП	Ab
			Скопление	СП	Ac
Шлаковые включения	Ш	B	Отдельное включение	Ш	Ba
			Цепочка	ЦШ	Bb
			Скопление	СШ	Bc
Вольфрамовые включения	В	C	Отдельное включение	В	Ca
			Цепочка	ЦВ	Cb
			Скопление	СВ	Cc
Окисные включения	О	O	—	—	—
Вогнутость корня шва	Вк	Fa			
Выпуклость корня шва	Вп	Fb			
Подрез	Пд	Fc			
Смещение кромок	Скр	Fd			

2. Для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм или на оси снимка при его длине менее 100 мм) должно использоваться условное обозначение  $\Sigma$ .

3. После условного обозначения дефектов указываются их размеры в миллиметрах:

- для сферических пор, шлаковых и вольфрамовых включений — диаметр;
- для удлиненных пор, шлаковых и вольфрамовых включений — ширина и длина (через знак умножения);
- для цепочек, скоплений, окисных включений, непроваров и трещин — длина.

4. Для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, входящих в цепочку или скопление, указываются максимальные диаметр или ширина и длина этих дефектов (через знак умножения).

5. При наличии на снимке изображений одинаковых дефектов (дефектов одного вида с одинаковыми размерами) допускается не записывать каждый из дефектов отдельно, а указывать перед условным обозначением дефектов их число.

6. После условного обозначения максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм) указывается эта длина в миллиметрах.

7. При отсутствии изображений дефектов на снимке, а также в случаях, когда длина, ширина и суммарная длина дефектов не превышают заданных максимально допустимых значений, в графе документации «Соответствует требованиям» пишется «да», в противоположном случае — «нет».

8. При обнаружении на снимке изображений дефектов, не перечисленных в п. 1, в заключении или журнале регистрации результатов контроля следует указать полное наименование дефектов.

# Преимущества НК



- сравнительно большая скорость контроля
- высокая надежность (достоверность) контроля
- возможность механизации и автоматизации процессов контроля
- возможность применения НК в пооперационном контроле изделий сложной формы
- возможность применения НК в условиях эксплуатации без разборки машин и сооружений, и демонтажа их агрегатов
- сравнительная дешевизна контроля и др.

# Особенности назначения отдельных видов контроля



- Контроль капиллярной и (или) магнито-порошковой дефектоскопией следует производить на обработанных поверхностях деталей, находящихся под давлением, в местах перерезания волокон с толщиной стенки не более 8 мм, а также при наличии указаний в чертежах при толщине стенки более 8 мм. Место контроля должно быть указано в чертеже.
- Для заготовок, изготавливаемых методом облойной штамповки, контроль капиллярной дефектоскопией следует производить **в местах обрезки облоя, места срезки литейной прибыли** – для отливок
- По требованию чертежа (НД) выполняется контроль на величину зерна для сталей аустенитного класса (величина зерна заготовок деталей арматуры АС должна быть не крупнее 3 номера) и размера зерна для отливок (не крупнее 6-8 размера). Методика – ГОСТ 5639.
- Для деталей площадью поверхности более  $10^{-2}$  м<sup>2</sup>, контактирующих с теплоносителем контура, **содержание кобальта (Co) должно быть не более 0,2 %**. Использование сплавов на основе меди или легированных медью для изготовления деталей, контактирующих с теплоносителем I контура не допускается
- Определение ферритной фазы производится только для заготовок свариваемых деталей. Не требуется определение содержания ферритной фазы в заготовках, подлежащих наплавке твердыми износостойкими материалами
- Испытания на растяжение проводятся с определением  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ , КСЧ (V). Испытания на растяжение **при повышенной (расчетной) температуре проводятся для заготовок, работающих при температуре среды выше 100 °С (сварные швы при температуре свыше 300 °С)**
- **Испытание на ударный изгиб** проводится в тех случаях, когда не определяется T<sub>к0</sub>. Критическая температура хрупкости определяется для корпусных деталей. Определение критической температуры хрупкости не производится в случаях, предусмотренных п. 5.8.1.9ПНАЭГ-7-002.
- Для газообразных рабочих сред испытания на МКК не проводятся
- Контроль штамповок методом УЗК допускается проводить на исходном полуфабрикате, не подвергнутом термической обработке, и считать его приемосдаточным. Ультразвуковой контроле проводится по требованию конструкторской документации.

# Спасибо за внимание

**Семенова Елена**

[Semanova\\_es@aer.ru](mailto:Semanova_es@aer.ru)

**14.11.2024**