

Практическое занятие 3

***Неразрушающие методы
контроля качества
материалов строительных
конструкций
(часть 4)***

Классификация методов определения прочностных характеристик материалов и дефектоскопии обследуемых конструкций



Цель и задачи работы

Цель работы – ознакомление с методами и приборами **физического** неразрушающего контроля физико-механических характеристик материалов строительных конструкций.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Определение толщины защитного слоя бетона, направления и диаметра арматуры в железобетонных конструкциях **магнитным** методом.
2. Поиск дефектов в стальных конструкциях **магнитным** методом.
3. Поиск дефектов в конструкциях методом **ионизирующих излучений**.

Магнитный метод

При проведении строительно-ремонтных работ, технического обслуживания здания обязательно знать, где находится арматура. Для этих целей применяют детектор арматуры в бетоне. Он устанавливает, где именно проходит арматура, ее диаметр, а также толщину бетонного слоя.

Не так давно найти арматуру в бетонных сооружениях было сложной задачей. Это делали либо вскрывая участки бетонной конструкции, либо использовали магниты. Но техника не стоит на месте и сегодня существует много методик и приборов, которые упрощают этот процесс. Чаще всего в сегодняшних приборах используется магнитный метод сканирования.

ГОСТ 22904-93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры

Принцип работы измерителей основан на регистрации изменения комплексного сопротивления преобразователя при взаимодействии электромагнитного поля преобразователя с арматурным стержнем.

Магнитный метод

ИЗМЕРИТЕЛИ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА ИПА-МГ4, ИПА-МГ4.01



Магнитный метод

Наименование характеристики	ИПА-МГ4	ИПА-МГ4.01
Цена, рублей (НДС не облагается)	50 000	62 000
Контролируемые диаметры арматуры, мм	3...40	
Диапазон измерения толщины защитного слоя бетона, мм:		
- при диаметре арматуры 3, 4, 5, 6, 8 мм	от 5 до 60	
- при диаметре арматуры 10, 12, 14, 16, 18 мм	от 5 до 90	
- при диаметре арматуры 20, 22, 25, 28 мм	от 5 до 110	
- при диаметре арматуры 32, 36, 40 мм	от 10 до 130	
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения толщины защитного слоя бетона для одиночного арматурного стержня не более, мм	$\pm (0,05 h_{\text{зс}} + 0,5 \text{ мм})$, где $h_{\text{зс}}$ - измеряемая толщина защитного слоя бетона, мм	
Допускаемое отклонение оси измерителя от оси арматурного стержня, при определении расположения оси арматурного стержня, мм	± 10	
Объем памяти результатов измерений	200	999
Количество групп индивидуальных градуировочных зависимостей	9	
Габаритные размеры, мм:		
- блока электронного	176×92×32	
- преобразователя	160×48×35	
Масса с преобразователем, кг, не более	0,8	
Средний срок службы измерителя, лет	10	
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	5000	

Магнитный метод

ПОИСК-2.6 предназначен для оперативного контроля качества армирования железобетонных изделий и конструкций вихретоковым методом при обследовании зданий и сооружений, при технологическом контроле на предприятиях и стройках.

Прибор используют для локализации участков залегания арматуры перед измерением прочности бетона различными методами (ультразвуковым, ударно-импульсным, отрывом со скалыванием и скола ребра) для исключения ошибок.



Магнитная дефектоскопия

Магнитная дефектоскопия — это метод выявления внутренних и поверхностных дефектов деталей, которые изготовлены из ферромагнитных материалов, основанный на образовании магнитного потока рассеяния в местах залегания дефектов. Очагами разрушения деталей, подверженных в работе большим напряжениям обычно являются мельчайшие трещины на поверхности, включения и прочее.

Выявление и отсев дефектных деталей в первой трети 20 века производились, в случае поверхностных дефектов, травлением и осмотром. Методов установления внутренних пороков без разрушения деталей, кроме рентгеновского просвечивания, не существовало. В 30-х годах большое распространение в практике промышленности получила магнитная дефектоскопия.

Магнитная дефектоскопия

Основными достоинствами магнитной дефектоскопии являются:

1) Возможность испытания детали без разрушения ее. При этом выявление поверхностных дефектов не сопровождается порчей поверхности, что весьма существенно при массовом испытании полированных деталей, например, ролики и шарики, шарикоподшипниковые кольца, детали авиадвигателя и другие.

2) Высокая чувствительность и большая скорость испытания магнитной дефектоскопией, основанная на следующем явлении: на поверхности детали, внесенной в магнитное поле или предварительно намагниченной (материалы с достаточно большими значениями коэрцитивной силы и остаточным намагничиванием), в местах залегания дефекта образуется магнитный поток рассеяния индикаторов. Поэтому требуется только отыскать удобный индикатор, легко и быстро обнаруживающий присутствие магнитного потока рассеяния. В качестве таких материалов часто используют мелкие фракции каких-либо металлических порошков. Иногда, используются материалы и методы магнитной дефектоскопии, которые позволяют более точно обнаруживать дефекты при разных типах освещения, например, при ультрафиолетовом

Магнитная дефектоскопия

Физические основы магнитной дефектоскопии

Магнитные методы контроля основаны на обнаружении магнитных потоков рассеяния, возникающих при наличии дефектов в намагниченных сварных соединениях из ферромагнитных материалов. Магнитный поток Φ , проходящий через поверхность, расположенную перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, равен произведению магнитной индукции B на площадь этой поверхности.

Способность металла намагничиваться характеризуют абсолютной магнитной проницаемостью. Отношение абсолютной магнитной проницаемости материала к магнитной постоянной называется относительной магнитной проницаемостью и обозначается μ . Эта безразмерная величина показывает, во сколько раз напряженность результирующего поля в намагниченной среде больше напряженности поля, создаваемого током той же силы в вакууме.

Магнитная дефектоскопия

В зависимости от значения μ все металлы подразделяются на три группы:

диамагнитные (медь, цинк, серебро и др.), у которых μ на несколько миллионных или тысячных долей меньше единицы;

парамагнитные (марганец, платина, алюминий и др.), у которых μ на несколько миллионных или тысячных долей больше единицы;

ферромагнитные (железо, никель, кобальт и гадолиний, а также некоторые сплавы металлов), у которых μ достигает десятков тысяч.

Магнитные методы контроля могут использоваться только для деталей, выполненных из ферромагнитных материалов.

Ферромагнитные свойства металлов обусловлены наличием внутренних молекулярных токов, создаваемых в основном за счет вращения электронов вокруг собственной оси. В пределах малых объемов ($10^{-8} \dots 10^{-3} \text{ см}^3$) элементарных областей (так называемых **доменов**), магнитные поля молекулярных токов образуют результирующее поле домена.

Если внешнее магнитное поле отсутствует, то магнитные поля доменов, направленные произвольно, компенсируют друг друга. Суммарное поле доменов в этом случае равно нулю, и деталь оказывается размагниченной.

Магнитная дефектоскопия

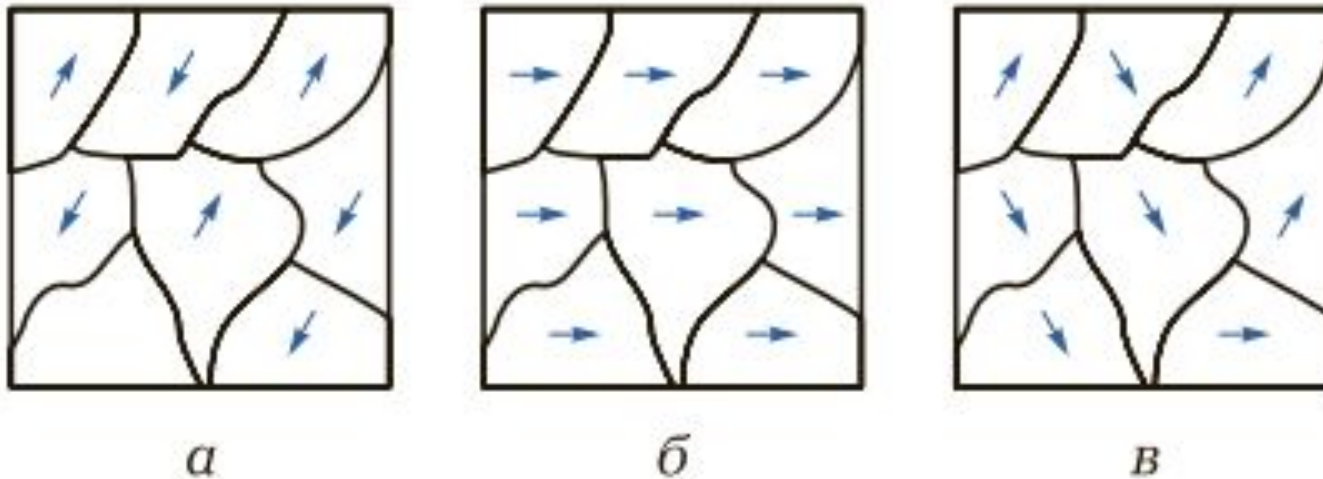


Рис. 1. **Ориентация доменов в ферромагнитных материалах:** *а — размагниченном; б — намагниченном до индукции насыщения; в — с остаточной намагниченностью*

Если на металл действует внешнее магнитное поле, то под его влиянием поля отдельных доменов устанавливаются по направлению внешнего поля одновременно с изменением границ между доменами. В результате образуется общее магнитное поле доменов, и металл оказывается намагниченным (рис. 1, б). При намагничивании магнитное поле доменов в контролируемом металле накладывается на внешнее магнитное поле.

Магнитная дефектоскопия

Магнитный поток, распространяясь по сварному соединению и встречая на своем пути дефект, огибает его, так как магнитная **проницаемость** дефекта значительно (примерно в 1 000 раз) ниже магнитной проницаемости основного металла. Вследствие этого часть силовых линий магнитного поля вытесняется дефектом на поверхность, и образуется местный магнитный поток рассеяния (рис. 2).

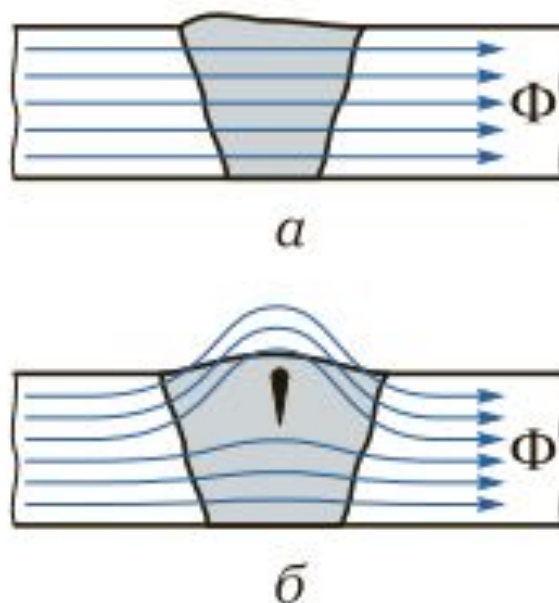


Рис. 2. Распределение магнитного потока Φ по сечениям сварных швов без дефектов (а) и с дефектом (б)

Магнитная дефектоскопия

Дефекты, которые вызывают возмущение в распределении силовых линий магнитного поля без образования местного потока рассеяния, невозможно обнаружить методами магнитной дефектоскопии.

Возмущение магнитного потока тем сильнее, чем большее препятствие представляет собой дефект. Так если дефект расположен вдоль направления силовых линий, то возмущение магнитного потока невелико, в то время как аналогичный дефект, расположенный перпендикулярно или наклонно по отношению к направлению магнитного потока, создает значительный поток рассеяния.

В зависимости от способа регистрации магнитного потока рассеяния различают следующие магнитные методы контроля: **магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый и магнитополупроводниковый**. Для дефектоскопии сварных швов применяются в основном первые три метода, в которых магнитные потоки рассеяния выявляются соответственно с помощью магнитного порошка, регистрируются на магнитную пленку и обнаруживаются феррозондовым преобразователем.

Магнитная дефектоскопия

2. Магнитопорошковый метод

Магнитопорошковый метод контроля заключается в том, что на поверхность намагниченного сварного соединения наносят ферромагнитный порошок в виде суспензии, содержащей также керосин, масло и мыльный раствор («мокрый» метод), или в виде аэрозоля («сухой» метод). Под действием втягивающей силы магнитных полей рассеяния частицы порошка перемещаются по поверхности соединения и скапливаются в виде валиков над дефектами. Форма этих скоплений соответствует очертаниям выявляемых дефектов.

Методика контроля. Магнитопорошковый метод контроля включает в себя следующие операции (ГОСТ 21105 — 85):

- подготовка поверхностей к контролю;
- подготовка суспензии, заключающаяся в интенсивном перемешивании магнитного порошка с транспортирующей жидкостью;
- намагничивание контролируемого сварного соединения;
- нанесение порошка на поверхность контролируемого соединения;
- осмотр поверхности контролируемого соединения и выявление участков, покрытых порошком;
- размагничивание соединения.

Магнитная дефектоскопия

Данный метод характеризуется высокой чувствительностью к тонким и мелким трещинам, простотой выполнения, оперативностью и наглядностью результатов. Его широко используют для контроля продольных сварных швов конструкций, выполненных из магнитных материалов, и в частности для выявления трещин и узких (стянутых) непроваров в стыковых швах трубопроводов, полученных дуговыми способами. Для повышения чувствительности контроля часть сварного шва, выступающего над лицевой поверхностью соединения, перед испытанием целесообразно удалить.

Чувствительность метода. Чувствительность данного метода зависит от ряда факторов: размера частиц ферромагнитного порошка и способа его нанесения («сухой» или «мокрый»), напряженности приложенного намагничивающего поля, рода тока (переменный или постоянный), формы, размеров и глубины залегания дефектов, их ориентации относительно поверхности сварного соединения и направления намагничивания, состояния и формы поверхности, а также от способа намагничивания.

Магнитная дефектоскопия

Ферромагнитный порошок должен иметь частицы размером 5 ... 10 мкм. Для выявления глубоких дефектов применяют более крупный магнитный порошок. Для приготовления магнитных суспензий используют магнитный порошок с мелкими частицами. Кроме того, для достижения максимальной подвижности частицы магнитного порошка должны иметь правильную форму. Дополнительную подвижность частицы приобретают при наличии на них пигментного покрытия с низким коэффициентом трения.

Род **тока намагничивания** и способ нанесения ферромагнитного порошка, существенно не влияют на обнаружение поверхностных дефектов, но при этом они заметно сказываются на диагностике подповерхностных дефектов. Преимущество использования в этом методе постоянного тока обусловлено тем, что он создает магнитное поле, глубоко проникающее в металл. Однако сварные соединения из металла толщиной 20 мм не следует намагничивать постоянным током, так как их невозможно размагнитить после контроля.

Магнитная дефектоскопия

При использовании для намагничивания **переменного тока** под влиянием скин-эффекта возрастают плотности тока и магнитного потока у поверхности сварного соединения, что способствует лучшему выявлению только поверхностных дефектов.

Преимущество использования **«сухого» способа** нанесения для обнаружения подповерхностных дефектов объясняется тем, что для перемещения ферромагнитной частицы в вязкой суспензии требуется большая сила воздействия магнитного потока, чем для перемещения той же частицы в воздухе.

С увеличением напряженности приложенного намагничивающего поля (до достижения индукции насыщения) возрастает чувствительность данного метода контроля.

При контроле магнитными методами наиболее уверенно выявляются плоскостные дефекты (трещины, непровары и несплавления), ориентированные под углом $20 \dots 90^\circ$ к направлению магнитного потока. Дефекты округлой формы (поры, шлаковые включения и раковины) не могут создать достаточного потока рассеяния и, как правило, при магнитном контроле обнаруживаются плохо.

Магнитная дефектоскопия

Практикой установлено, что магнитопорошковым методом выявляются поверхностные и подповерхностные (на глубине не более 2 мм) трещины шириной более 1 мкм, глубиной более 50 мкм и длиной не менее 0,5 мм.

Возможно также обнаружение относительно крупных дефектов (непроваров, пор, шлаковых включений и др.) с площадью сечения более 2 мм², находящихся на глубине 5 ... 6 мм от поверхности шва. С увеличением глубины залегания дефектов уменьшается скорость образования скоплений магнитного порошка, что затрудняет их обнаружение и определение типа.

Чувствительность контроля в значительной мере зависит от качества поверхности, на которую наносится суспензия или порошок. Оптимальная шероховатость поверхности сварных соединений, подвергаемых магнитопорошковому контролю, соответствует параметру Ra 2,5 ... 1,25 мкм. На такой поверхности обеспечивается наивысшая чувствительность метода. Увеличение шероховатости поверхности приводит к снижению чувствительности контроля. Так если после обработки поверхность контролируемого соединения приобретает шероховатость Ra 3,2 ... 2,5 мкм, то контроль в тех режимах, которые обеспечивают выявление тонких дефектов (толщиной 1 мкм), затрудняется вследствие появления фона от магнитного порошка, что требует уменьшения напряженности

намагничивающего поля, а следовательно, снижает чувствительность

Магнитная дефектоскопия

Шлифованные поверхности (с шероховатостью Ra 0,32 мкм и более) из-за наличия на них бликов трудно осматривать и разбраковывать, особенно при прямом освещении лампами накаливания. Контрольный осмотр шлифованных поверхностей желательно производить в рассеянном свете или после покрытия их очень тонким (толщиной не более 15 мкм) снимающим блеск слоем краски, например нитроэмалью НЦ-25.

Если на поверхности контролируемого сварного соединения имеются резкие переходы (например, подрезы) или микронеровности, то ферромагнитный порошок скапливается не над дефектами, а на участках, содержащих такие переходы и углубления. Следовательно, в этом случае нельзя однозначно судить о наличии внутренних дефектов.

Магнитная дефектоскопия

Способы намагничивания. Магнитный контроль производится либо в приложенном магнитном поле, либо при остаточной намагниченности. Первый способ применяют для обнаружения подповерхностных дефектов, расположенных на глубине более 10 мкм, а также когда сварное соединение выполнено из магнитомягкого материала (например, из стали) или имеет сложную форму и мощность дефектоскопа не позволяет намагнитить все это соединение вследствие его больших размеров. При этом контроль в приложенном магнитном поле не всегда обладает более высокой чувствительностью, чем контроль при остаточной намагниченности.

Магнитная дефектоскопия

Если контроль осуществляют при остаточной намагниченности, то соединение предварительно намагничивают, а после снятия магнитного поля на его поверхность наносят ферромагнитную суспензию или порошок. Поскольку такой контроль возможен только при довольно большой остаточной намагниченности, его используют для проверки соединений из магнитотвердых материалов с коэрцитивной силой $H_c > 800 \text{ А/м}$. Соединение, выполненное из материала с $H_c < 800 \text{ А/м}$, проверять при остаточной намагниченности нельзя, так как над дефектом образуется слабое магнитное поле. Этот способ обладает следующими преимуществами: позволяет устанавливать соединение в любое требуемое положение для обеспечения хорошего освещения поверхности и возможности ее осмотра невооруженным глазом, а также для уменьшения вероятности прижога листовых деталей и контакта с головками дефектоскопа, так как для остаточного намагничивания ток пропускают по соединению кратковременно (в течение 0,1 ... 0,5 с) с перерывами между включениями 1 ... 2 с.

Магнитная дефектоскопия

В практике магнитного контроля используют следующие способы намагничивания сварных соединений: **комбинированный, циркулярный и полюсный**. Комбинированное намагничивание производят только в приложенном магнитном поле, а циркулярное и полюсное — как в приложенном магнитном поле, так и при остаточной намагниченности.

При **комбинированном** намагничивании одновременно применяют два (или несколько) магнитных полей. Например, намагничивание трубы осуществляют, используя соленоид и пропуская ток через проводник, проходящий внутри этой трубы. Два намагничивающих поля складываются таким образом, чтобы силовые линии результирующего магнитного поля имели форму спирали. Результирующее поле проходит через все части объекта под различными углами, что повышает выявляемость дефектов, ориентированных в разных направлениях.

Магнитная дефектоскопия

Циркулярное намагничивание применяют для обнаружения продольных дефектов (трещин, непроваров или вытянутых шлаковых включений). Выполняется такое намагничивание посредством пропускания тока по контролируемой детали или через проводник, помещенный в имеющееся в этой детали отверстие. Циркулярное намагничивание наиболее эффективно при контроле цилиндрических деталей. Силу тока, A , пропускаемого по детали цилиндрической формы для ее намагничивания, рассчитывают по формуле

$$I_{\text{ц}} = \pi D H,$$

где D — диаметр детали, см; H — напряженность магнитного поля, A/cm .

Магнитная дефектоскопия

Полюсное намагничивание подразделяют на продольное, поперечное и нормальное. При продольном намагничивании направление намагничивающего поля совпадает с направлением оси сварного шва. Продольное намагничивание, осуществляемое с помощью электромагнитов, постоянных магнитов или соленоидов, используют для выявления поперечных дефектов, расположенных под углом не менее 20° к продольной оси шва. При поперечном намагничивании направление вектора напряженности магнитного поля перпендикулярно продольной оси шва. Нормальное намагничивание является частным случаем продольного и поперечного намагничиваний.

Чувствительность магнитного метода контроля, осуществляемого при продольной остаточной намагниченности, существенно зависит от скорости снятия намагничивающего поля. При быстром уменьшении напряженности поля дефекты обнаруживаются уверенно, а при медленном ослаблении поля с той же исходной напряженностью дефекты не выявляются или выявляются слабо, т. е. продолжительность снижения силы тока от максимального значения до нуля не должна превышать 5 мкс.

Магнитная дефектоскопия

Аппаратура и материалы. Дефектоскопы, предназначенные для осуществления магнитопорошкового метода контроля, включают в себя источник тока, устройство для подвода тока к детали, блок полюсного намагничивания (соленоиды, электромагниты), устройство для нанесения на контролируемое сварное соединение порошка или суспензии и измеритель тока (или напряженности поля). В дефектоскопах чаще всего используют циркулярный способ намагничивания, пропуская переменный ток по детали (или через стержень), и продольное намагничивание постоянным током. Для магнитопорошкового контроля обычно применяют дефектоскопы трех видов: стационарные универсальные и специализированные — передвижные и переносные.

Стационарные универсальные дефектоскопы широко используются при крупносерийном производстве разнотипных деталей. С их помощью можно контролировать детали (или партии деталей) разной конфигурации с производительностью от десятков до сотен штук в час.

Магнитная дефектоскопия

В стационарных универсальных дефектоскопах можно производить намагничивание всеми известными способами (продольным, циркулярным, комбинированным). Успешно применяются несколько моделей стационарных дефектоскопов: УМДЭ-2500, ХМД-10П, МД-5 и другие, отличающиеся друг от друга родом намагничивающего тока и мощностью и предназначенные для контроля деталей разных размеров.

Из специализированных передвижных и переносных дефектоскопов серийно выпускаются модели ПМД-70 и МД-50П. Переносной магнитный дефектоскоп ПМД-70 используется для контроля сварных швов в полевых условиях. В нем реализованы полюсной продольный и циркулярный способы намагничивания. Передвижной дефектоскоп МД-50П предназначен для контроля крупногабаритных массивных конструкций, выполняемого по частям.

Магнитная дефектоскопия

В качестве материала для приготовления ферромагнитных порошков в основном используют оксиды железа мелкого помола (с размером частиц 5 ... 20 мкм), иногда — чистую железную окалину, получаемую при ковке и прокатке, а также стальные опилки, образующиеся при шлифовании стальных изделий. Для лучшего выявления дефектов конструкций применяют цветные ферромагнитные порошки (красный, серебристый и др.), получаемые окрашиванием темных порошков или отжигом их по специальной технологии.

Для приготовления магнитных суспензий чаще всего используются масляно-керосиновые смеси (с соотношением масла и керосина 1 : 1), на 1 л которых приходится 50 ... 60 г ферромагнитного порошка. Могут применяться и водные суспензии, например мыльно-водная, в которой на 1 л воды приходится 5 ... 6 г мыла, 1 г жидкого стекла и 25 ... 30 г магнитного порошка.

Магнитная дефектоскопия

3. Магнитографический метод

Суть магнитографического метода контроля заключается в намагничивании проверяемого участка сварного шва и околошовной зоны с одновременной записью магнитного поля на магнитную пленку (рис. 35) и последующем считывании полученной информации с помощью специальных устройств де

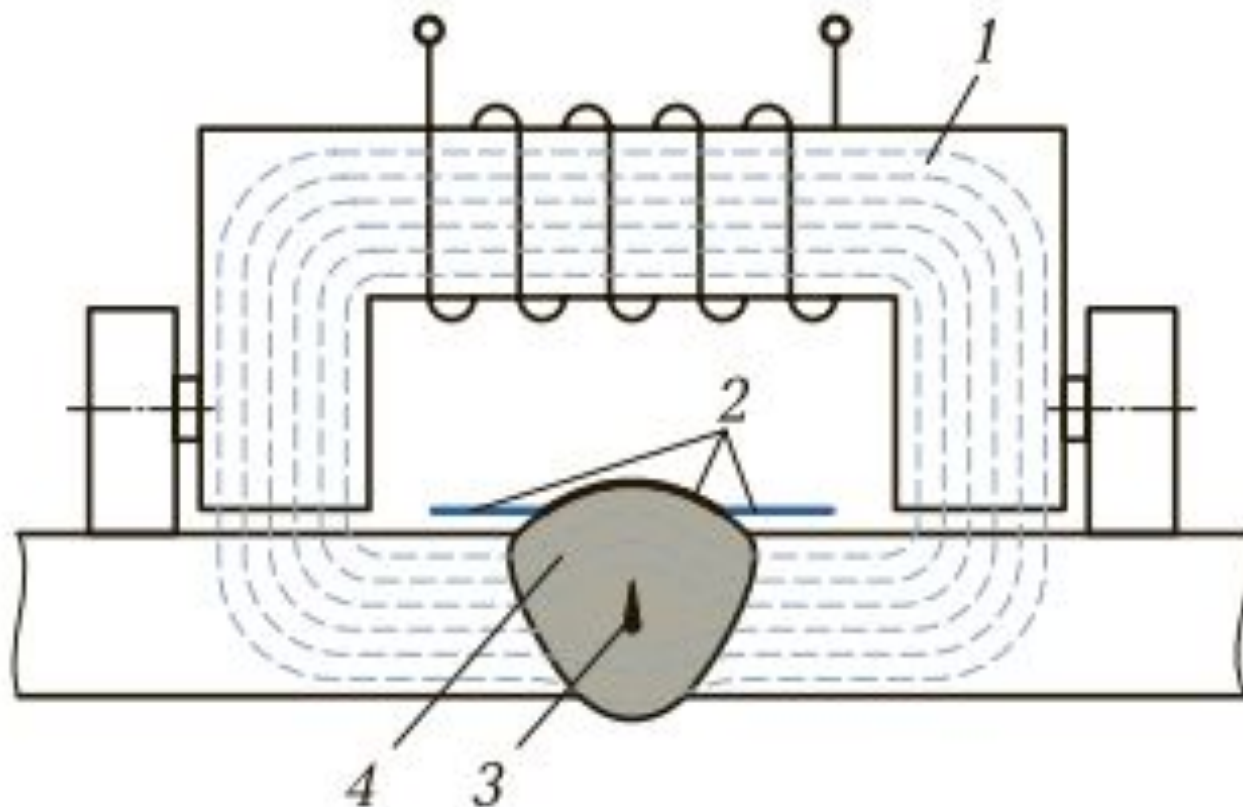


Рис. 35. Схема магнитографического контроля: 1 — намагничивающее устройство; 2 — магнитная пленка; 3 — дефект; 4 — сварной шов

Магнитная дефектоскопия

- Методика контроля.** Магнитографический контроль включает в себя следующие операции (ГОСТ 25225 — 82):
- осмотр и подготовка поверхности контролируемого сварного соединения. При этом с поверхности швов должны быть удалены остатки шлака, брызги расплавленного металла, загрязнения и т. д.;
 - наложение на шов отрезка предварительно размагниченной магнитной пленки. Прижим пленки к шву сварного соединения производится специальной эластичной «подушкой». При контроле кольцевых швов труб, сосудов и других сварных конструкций магнитную пленку прижимают к поверхности шва (по всему периметру) эластичным резиновым поясом;
 - намагничивание контролируемого соединения при оптимальных режимах в соответствии с типом намагничивающего устройства, толщиной сварного шва и его магнитными свойствами;
 - расшифровка результатов контроля (установка магнитной пленки в считывающее устройство дефектоскопа и выявление по сигналам на его экране дефектов).
- Магнитографический метод применяется в основном для контроля стыковых швов, выполненных сваркой плавлением (главным образом, швов магистральных трубопроводов). С помощью этого метода можно контролировать сварные узлы и конструкции толщиной до 25 мм.

Магнитная дефектоскопия

Чувствительность метода. Относительная чувствительность W магнитографического метода контроля определяется как отношение минимального вертикального размера (глубины) ΔS обнаруживаемого дефекта к толщине S основного металла контролируемого соединения и выражается в процентах.

Чувствительность данного метода контроля зависит от размеров, формы, глубины и ориентации дефектов сварных швов, геометрических параметров их поверхности, технических характеристик считывающей головки дефектоскопа и типа магнитной пленки. Магнитографией наиболее уверенно выявляются плоскостные дефекты (трещины, непровары и несплавления), а также протяженные дефекты в виде цепочек шлаковых включений, преимущественно ориентированных перпендикулярно направлению магнитного потока. Значительно хуже обнаруживаются округлые дефекты (поры и отдельные шлаковые включения).

Практикой установлено, что магнитографическим методом уверенно выявляются внутренние плоскостные дефекты, когда их вертикальный размер составляет 8 ... 10 % от толщины сварного шва. Максимальная чувствительность контроля по отношению к указанным видам дефектов достигает 5 %. Округлые внутренние дефекты обнаруживаются, когда их размер по высоте составляет не менее 20 % от толщины металла.

Магнитная дефектоскопия

Чувствительность магнитографического метода к поверхностным дефектам примерно такая же или несколько ниже, чем магнитопорошкового метода. При этом чем глубже расположен дефект от поверхности сварного соединения, на которую помещают магнитную пленку, тем хуже он выявляется. Современная аппаратура позволяет обнаруживать дефекты с вертикальными размерами, составляющими 10 ... 15 % от толщины металла, при глубине залегания до 25 мм.

На чувствительность магнитографического метода существенно влияют высота и форма сварного шва, а также состояние его поверхности. Для лучшей выявляемости дефектов сварку следует выполнять таким образом, чтобы выпуклость шва не превышала 25 % от толщины основного металла, а переход от наплавленного металла к плоскости был плавным. При этом необходимо, чтобы высота неровностей на поверхности шва составляла не более 30 % от его выпуклости и в то же время не превышала 1 мм. При контроле швов с шероховатой поверхностью следует производить их зачистку. Не допускается контроль данным методом сварных швов со смещением кромок стыкуемых деталей, а наилучшие результаты этот метод обеспечивает при контроле сварных швов, выполненных автоматической сваркой.

Чувствительность метода можно повысить за счет увеличения чувствительности магнитных лент и избирательности аппаратуры считывания результатов контроля с магнитной пленки.

Магнитная дефектоскопия

Схемы намагничивания. При магнитографическом контроле сварные узлы и конструкции намагничивают с помощью специальных электромагнитов, реже применяют циркулярное намагничивание. Для обнаружения внутренних дефектов намагничивание производят постоянным током, а для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов — переменным.

Аппаратура и материалы. Считывание результатов контроля с магнитной пленки осуществляется магнитографическими дефектоскопами. Дефектоскоп имеет электродвигатель, приводящий во вращение барабан с несколькими магнитными головками. Головки перемещаются поперек магнитной пленки. Электрические сигналы с головки поступают в усилитель, а затем подаются на ЭЛТ.

Промышленность выпускает дефектоскопы с двумя видами индикации: импульсной и видеоиндикацией. При импульсной индикации на экране ЭЛТ возникают импульсы, амплитуда которых определяет размеры дефектов в вертикальном направлении, а при видеоиндикации магнитный рельеф полей рассеяния от дефектов переносится на экран ЭЛТ в виде телевизионных изображений магнитограмм отдельных участков шва.

Магнитная дефектоскопия

В комплект дефектоскопа входит намагничивающее устройство, состоящее из П-образного магнитомягкого сердечника (магнитопровода) и обмотки. Для обеспечения перемещения намагничивающего устройства вдоль шва его выполняют с удлиненными полюсами, опирающимися на четыре немагнитных ролика. Опорные ролики создают между поверхностью контролируемого сварного соединения и полюсами намагничивающего устройства постоянный воздушный зазор (2 ... 3 мм), позволяющий электромагниту свободно перемещаться вдоль шва.

Выпускается несколько типоразмеров передвижных намагничивающих устройств (ПНУ-М1, ПНУ-М2, УНУ), предназначенных для намагничивания сварных стыков труб диаметром 150 ... 1 200 мм и плоских сварных соединений толщиной до 16 мм. Для магнитографического контроля сварных швов труб большого диаметра (до 1 420 мм) и плоских конструкций толщиной до 20 мм применяют шаговые намагничивающие устройства (МНУ-1). Намагничивание кольцевых швов труб диаметром 57 ... 150 мм производят неподвижным намагничивающим устройством НВУ-1.

Все указанные намагничивающие устройства работают на постоянном токе. В заводских условиях источниками питания служат выпрямители, а в полевых — часто используют переносную автономную станцию СПГ1-1 или СПА-1.

Магнитная дефектоскопия

Для записи магнитных полей при магнитографическом контроле применяют магнитную пленку на триацетатной или лавсановой основе, изготовляемую посредством нанесения на нее мельчайших частиц ферромагнитного материала. В настоящее время серийно выпускают пленки МК-1 (на триацетатной основе) и МК-2 (на лавсановой основе) шириной 35 мм. Пленка МК-2 обладает лучшими физико-механическими свойствами, чем пленка МК-1, и может использоваться при температурах окружающего воздуха от -70 до +70 °С, тогда как пленка МК-1 при температурах ниже -30 °С теряет эластичность.

Магнитная дефектоскопия

Феррозондовый метод

Магнитоферрозондовый (феррозондовый) метод НК основан на считывании распределения параметров магнитного поля на поверхности намагниченной контролируемой детали с помощью феррозондовых преобразователей. Сравнение полученного распределения с эталонным (характерным для бездефектной детали) дает основание для выработки решения об обнаружении (или не обнаружении) дефекта. Реализация метода с помощью одного феррозондового преобразователя сводится к построчному сканированию преобразователем поверхности детали, а реализация с помощью феррозондовой матрицы - к последовательному опросу элементов матрицы, расположенной на поверхности детали.

Самый простой феррозондовый дефектоскоп имеет один феррозондовый преобразователь, который в процессе сканирования плоского участка поверхности контролируемой детали преобразует параметр магнитного поля (пространственную производную напряженности, именуемую градиентом) в сигнал постоянного тока. Этот сигнал сравнивается с опорным. Решение об обнаружении дефекта выдается, если сигнал превышает пороговое значение.

Магнитная дефектоскопия



Дефектоскопы- градиентометры ДФ-103, ДФ-105

К достоинствам метода следует отнести:

- использование статических магнитных полей, сравнительно глубоко проникающих в контролируемый объект, что позволяет обнаруживать как поверхностные, так и подповерхностные дефекты с глубиной залегания до 40 мм;
- измерение градиента не в материале детали, а над ее поверхностью. Это значительно снижает требования к качеству поверхности: ее шероховатость на литых деталях может превышать $R_z 320$, а при контроле сварных швов по валику усиления достигать $R_z 1500$. Зазор между преобразователем и контролируемой поверхностью, обусловленный наличием загрязнений, может достигать 4 мм;

Магнитная дефектоскопия

- высокую чувствительность, особенно к усталостным трещинам (выявляются усталостные трещины с шириной раскрытия от 1 мкм и глубиной от 50 мкм). По этому показателю феррозондовый метод приближается к магнитопорошковому.

В то же время методу присущи недостатки, обусловленные:

- жесткими требованиями к намагничиванию контролируемых деталей, что требует создания уникальных (для каждого типа деталей) намагничивающих устройств, приборов для измерения магнитных полей (полемеров) и соответствующего метрологического оборудования;
- спецификой настройки дефектоскопов. Настройка производится с помощью специальных настроечных образцов с моделями дефектов. Градиент над каждым дефектом должен находиться в пределах малого допуска. Для контроля градиента на настроечном образце требуется прибор для измерения градиента напряженности магнитного поля (градиентометр) и соответствующее метрологическое оборудование.

Магнитная дефектоскопия

Пондеромоторный метод - основан на регистрации силы отрыва постоянного магнита или сердечника электромагнита от поверхности изделия и на оценке толщины контролируемого покрытия по значению этой силы.

В первом случае сила определяется при помощи *пружинных динамометров*, во втором - по изменению *тока намагничивания*.

Магнитооптический метод - метод магнитного неразрушающего контроля, в котором преобразователем служит магнито-оптическая пленка. При освещении пленки видна доменная структура, которая искажается при наличии магнитного поля дефекта.

Магнитометрический метод - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на анализе остаточных магнитных полей в объекте контроля, образовавшихся в результате намагничивания ферромагнитных объектов при их переходе из жидкого состояния в твердое состояние. Намагничивание производится магнитным полем Земли. По остаточным магнитным полям (остаточной индукции) получают информацию о наличии дефектов и зон участков, имеющих механические напряжения, в которых могут развиваться дефекты.

Магнитная дефектоскопия

Контроль методом **магнитной памяти металла (ММП-контроль)** основан на измерении и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния (СМРР) металла сварных соединений, отображающих их структурную технологическую наследственность.

ММП-контроль служит для определения зон концентрации механических напряжений (ЗКН) в сварных соединениях сосудов, трубопроводов, оборудования и конструкций.

ММП контроль является первоочередным по отношению к известным методам неразрушающего дефектоскопического контроля (ультразвуковой, радиационный, магнитопорошковый, капиллярный, цветная дефектоскопия, измерение твердости и толщинометрия).

Позволяет контролировать сварные соединения любых размеров и форм (стыковые, тавровые, угловые, нахлестанные, торцевые, прерывистые и др.) без ограничения толщины свариваемого металла на всех видах ферромагнитных и аустенитных сталей и сплавов и на чугунах.

Магнитная дефектоскопия

Эффект Холла заключается в том, что если прямоугольную пластину из полупроводника (германия, антимонита, арсенида индия) поместить в магнитное поле перпендикулярно вектору напряженности и пропустить по ней ток в направлении от одной грани к другой противоположной, то на двух других гранях возникнет электродвижущая сила, пропорциональная напряженности магнитного поля. Размеры пластины 0,7х0,7 мм, толщина 1 мм. Местные магнитные поля над дефектами выискивают, перемещая прибор по конструкции после её размагничивания.

Индукционный метод. Выискивание местных магнитных полей над дефектами в сварных швах производится с помощью катушки с сердечником, которая питается переменным током и является элементом мостовой схемы. Возникающая над дефектом электродвижущая сила усиливается и преобразуется в звуковой сигнал или подаётся на самопишущий прибор или осциллограф.

Методы ионизирующих излучений

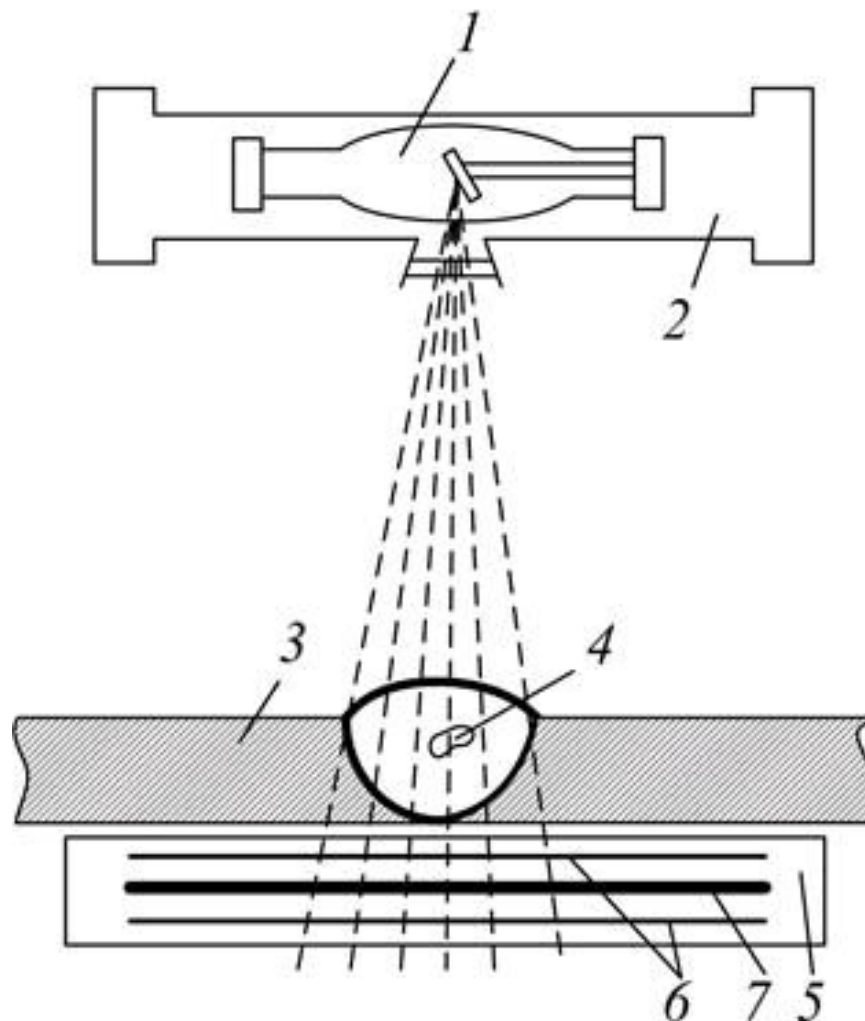
Радиационная дефектоскопия — рентгено- и гаммаграфический метод контроля. Рентгено- и гаммаграфия — это метод получения на рентгеновской пленке или экране изображения предмета (изделия), просвечиваемого рентгеновским или гамма-излучением. Он основан на способности рентгеновского и гамма-излучения проходить через непрозрачные предметы, в том числе через металлы, и действовать на рентгеновскую пленку и некоторые химические элементы, благодаря чему последние флуоресцируют (светятся).

При этом дефекты, встречающиеся при сварке в теле изделия и чаще всего имеющие характер пустот (непроваров, трещин, раковин, пор и т.д.), на рентгеновской пленке (на рентгенограммах) имеют вид пятен (раковины, поры) или полос (непроваров). Как правило; просвечивают 3 – 15% общей длины сварного шва. У особо ответственных конструкций просвечивают все швы.

Методы ионизирующих излучений

Рентгеновские аппараты, применяемые для контроля изделий, состоят из рентгеновской трубки, источника питания и пульта управления. В качестве источника питания применяют повышающий трансформатор, во вторичную цепь которого включают кенотроны для выпрямления анодного тока и высоковольтные конденсаторы, позволяющие удвоить или утроить напряжение вторичной обмотки трансформатора. Схема просвечивания рентгеновским излучением изделия показана на рисунке 69.

Методы ионизирующих излучений



1 – рентгеновская трубка, 2 – футляр со свинцовым экраном,
3 – просвечиваемое изделие, 4 – дефект, 5 – кассета, 6 – экран,
7 – рентгенопленка

Рисунок 4 – Схема просвечивания рентгеновским излучением

Методы ионизирующих излучений

В зависимости от режима просвечивания (при толщине металла до 50 мм), качества пленки и правильности дальнейшей ее обработки удастся выявить дефекты размером 1 – 3% от толщины контролируемых деталей.

В настоящее время широкое применение нашли рентгеновские аппараты РУП-120-5-1, РУП-200-5, РУП-400-5, Мира-2Д и Мира-3Д и др.

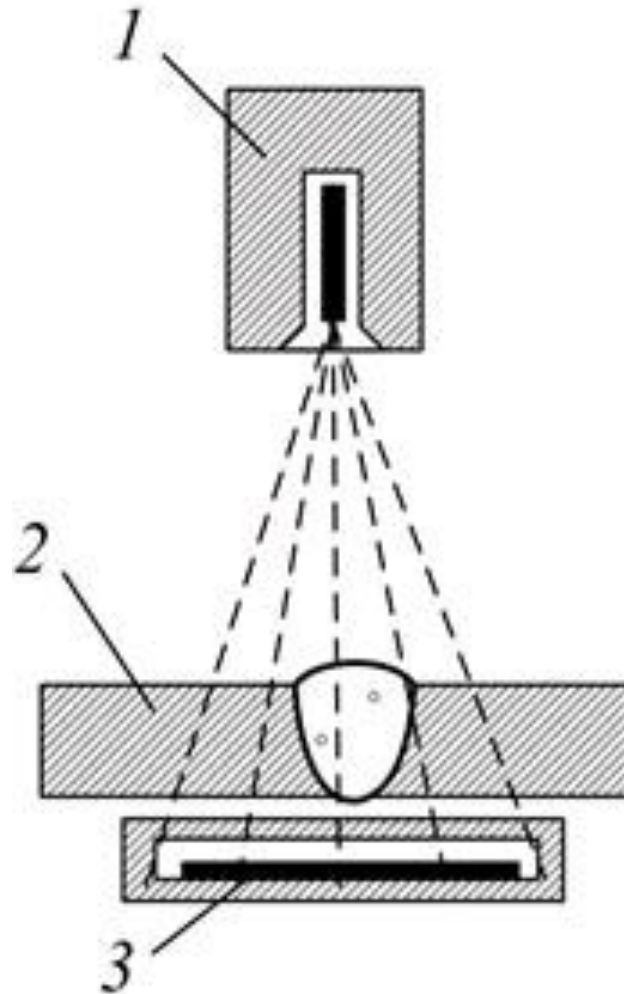
Гамма-излучение образуется в результате внутриатомного распада радиоактивных веществ. В качестве источников гамма-излучения применяют следующие радиоактивные вещества: тулий-170, иридий-192, цезий-137, кобальт-60 для просвечивания металла толщиной 1-60 мм.

Гамма-излучение, действуя на пленку так же, как и рентгеновское, фиксирует на ней дефекты сварки. Чувствительность гамма-контроля ниже чувствительности рентгеновских снимков; например, на гамма-снимках при просвечивании стали толщиной 10 – 15 мм кобальтом-60 выявляются дефекты глубиной 0,5 – 0,7 мм, тогда как на рентгеновских снимках видны дефекты глубиной 0,1 – 0,2 мм.

Чувствительность гамма-снимков, полученных при помощи радиоактивных изотопов — тулия-170, иридия-192 и других, приближается к чувствительности рентгеновских.

Гамма-излучение вредно для здоровья человека, поэтому ампулы с радиоактивным веществом помещают в специальные аппараты — гамма-установки, имеющие дистанционное управление (рисунок 5).

Методы ионизирующих излучений



1 – источник излучения, 2 – изделие, 3 – чувствительная пленка

Рисунок 5 – Схема панорамного просвечивания сварных стыков

Методы ионизирующих излучений

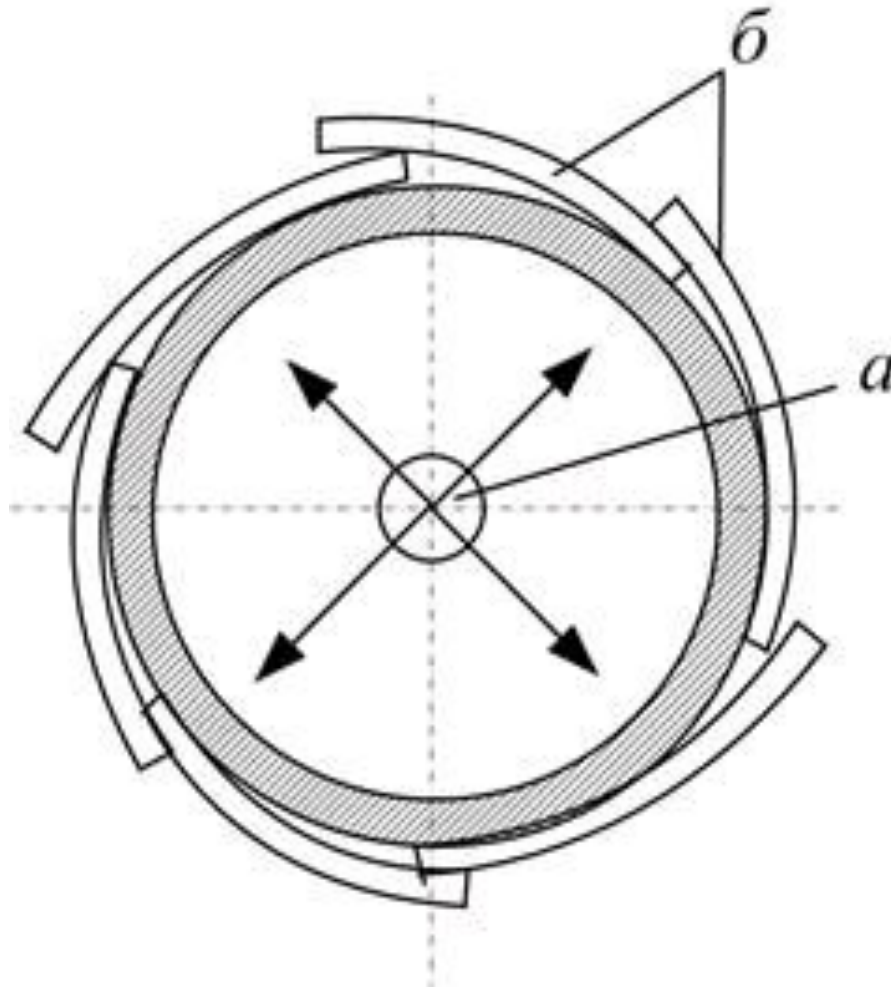


Рисунок 6 – Схема панорамного просвечивания сварочных стыков трубопроводов с расположенным в центре трубы источником

Методы ионизирующих излучений

Сварной шов при радиационной дефектоскопии бракуется, если на рентгеновском или гамма-снимке обнаружены следующие дефекты:

- шлаковые включения или раковины по группе А (отдельные дефекты) и В (скопление дефектов) размером по высоте шва более 10% толщины стенки, если она не превышает 20 мм, а также более 3 мм при толщине стенки более 20 мм;
- шлаковые включения, расположенные цепочкой или сплошной линией вдоль шва (группа Б), при суммарной их длине, превышающей 200 мм на 1 м шва;
- поры, расположенные в виде сплошной сетки;
- скопление на отдельных участках шва свыше пяти пор на 1 см² площади шва.

Дефекты распределяют по группам А, Б, В по следующим признакам:

А – отдельные дефекты, которые по своему расположению не образуют цепочки или скопления;

Б – цепочка дефектов, расположенных на одной линии в количестве более трех с расстоянием между ними, равным трехкратной величине дефектов и менее;

В – скопление дефектов в одном месте с расположением их в количестве более трех с расстоянием между ними, равным трехкратной величине дефектов и менее.

Методы ионизирующих излучений

Рентгено-телевизионный контроль. Сущность способа контроля заключается в том, что дефект сварного шва изображается в момент просвечивания на телевизионном экране.

Схема рентгено-телевизионной установки показана на рисунке. Сварное соединение 2 просвечивается с помощью рентгеновского аппарата 1. Рентгеновское излучение проходит через электронно-оптический преобразователь 3, состоящий из вакуумированной трубки, внутри которой со стороны, обращенной к источнику излучения (рентгеновскому аппарату) и просвечиваемому изделию, укреплен тонкий алюминиевый экран, покрытый флуоресцирующим слоем. На этот слой нанесен светочувствительный слой — фотокатод (такой же, как в обычных телевизионных трубках). С другой стороны электронно-оптический преобразователь имеет диафрагму и усиливающий экран. С такого преобразователя через переходную оптику 4 сигналы поступают на передающую телекамеру 5 и на телевизор 7. Такой метод контроля позволяет резко увеличить производительность труда оператора. При этом можно не только визуально наблюдать внутреннее состояние просвечиваемого изделия, но и фотографировать его при помощи фото- или киноаппарата. Управление такой установкой осуществляется с пульта управления 6.

Методы ионизирующих излучений

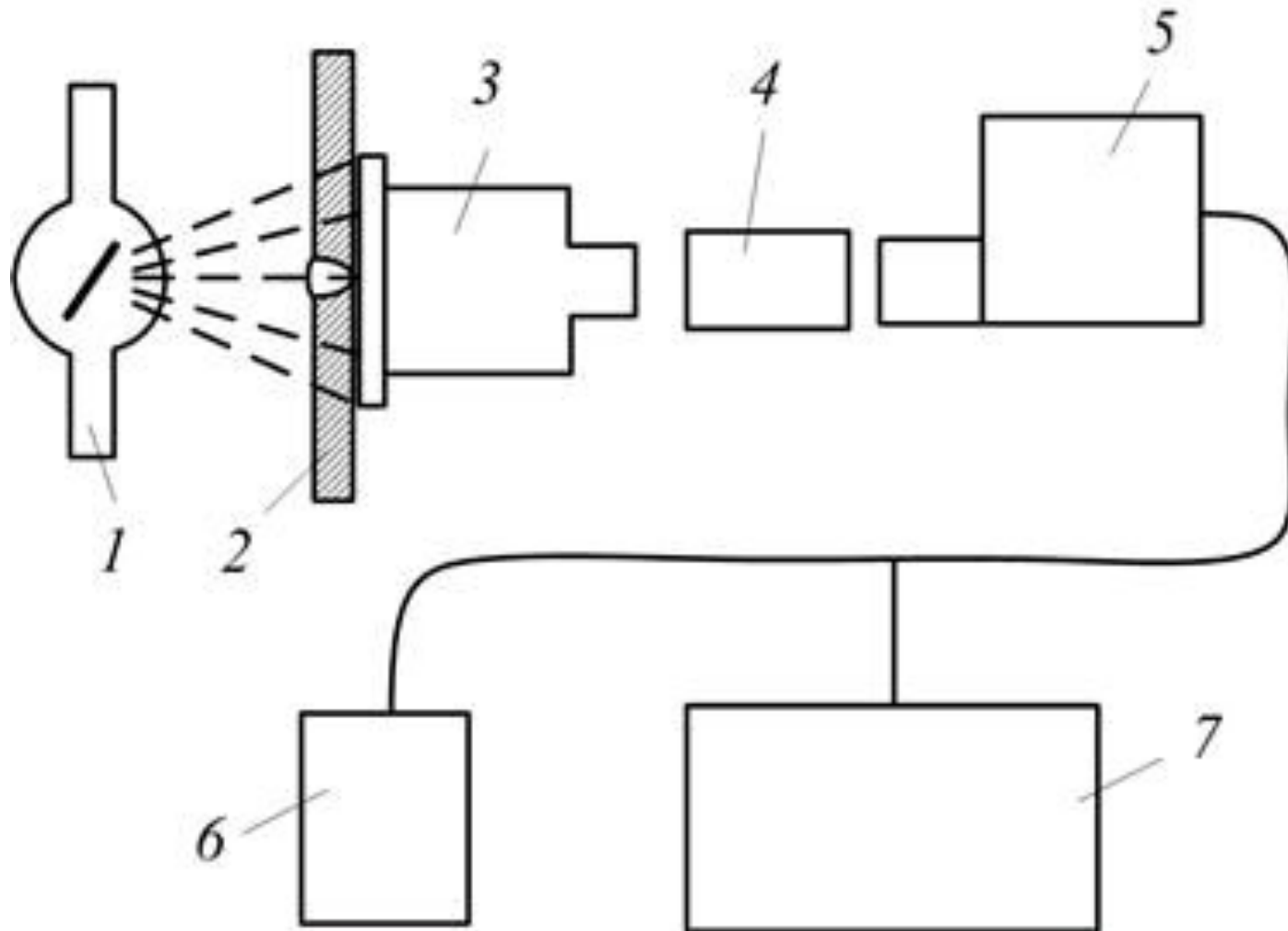


Рисунок 7 – Схема рентгено-телевизионной установки