



# Техническая диагностика подвижного состава

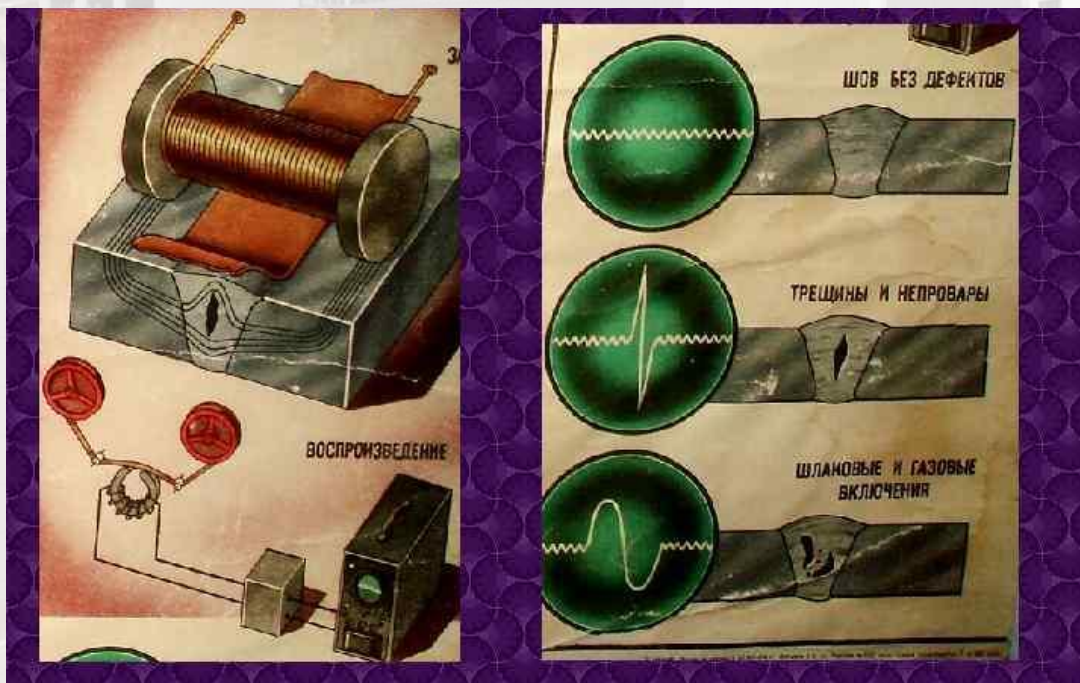
к.т.н., доцент кафедры «Вагоны и  
вагонное хозяйство» ИрГУПС  
Евгений Юрьевич Дульский

# Магнитный контроль

## Классификация МНК

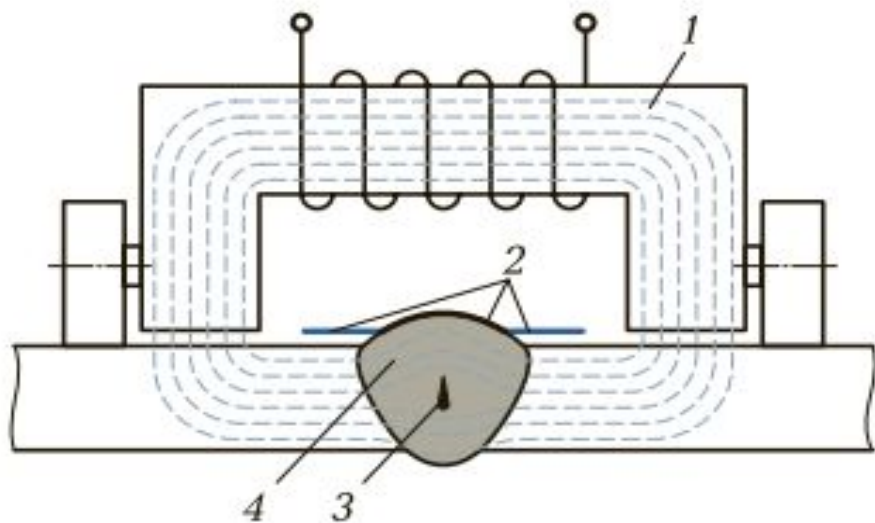
### 2) Магнитографический метод МНК

Сущность этого метода заключается в намагничивании контролируемого участка сварного шва и околошовной зоны с одновременной записью магнитного поля на магнитную пленку и с последующим считыванием полученной информации с магнитной ленты специальными устройствами магнитографических дефектоскопов

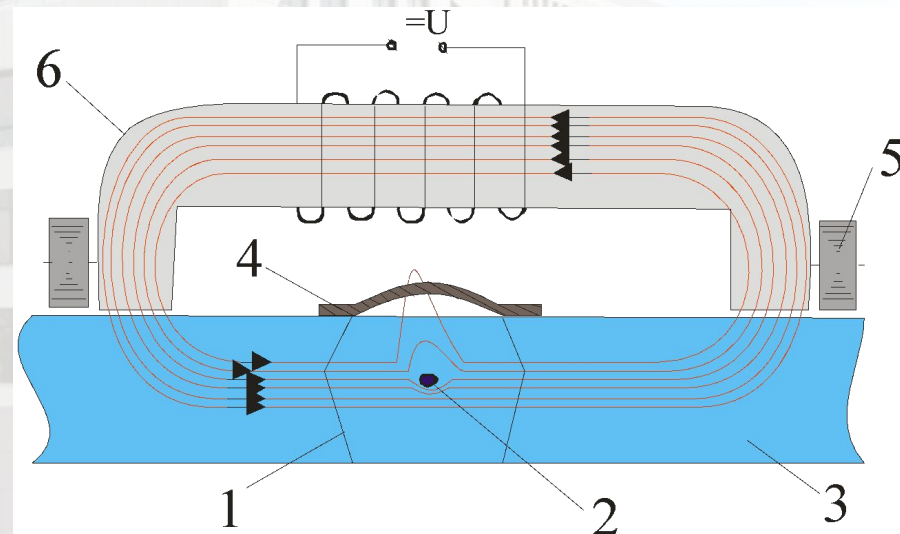


# Магнитный контроль

## Схема магнитографического контроля



1 – намагничивающее устройство; 2 – магнитная пленка; 3 – дефект; 4 – сварной шов



1 – сварной шов; 2 – дефект; 3 – объект контроля; 4 – магнитная лента; 5 – ролики; 6 – электромагнит.

# Магнитный контроль

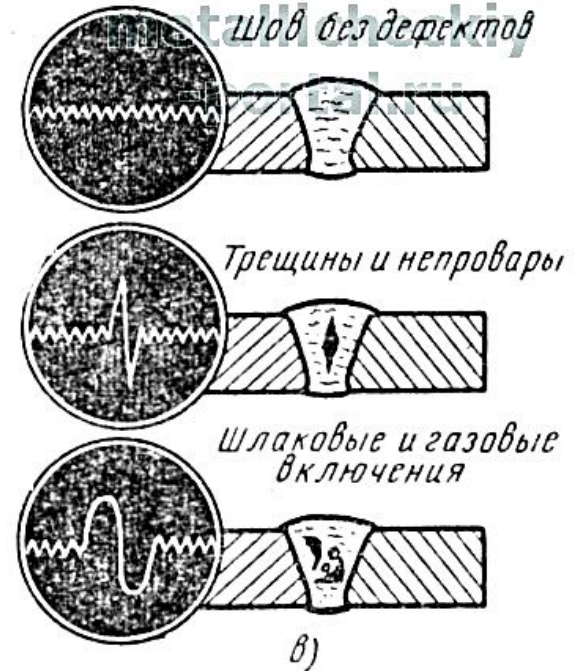
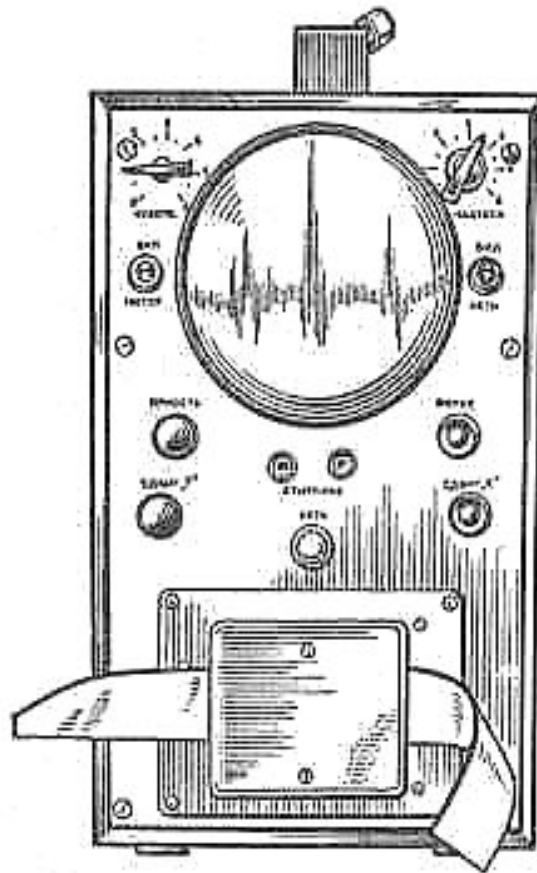
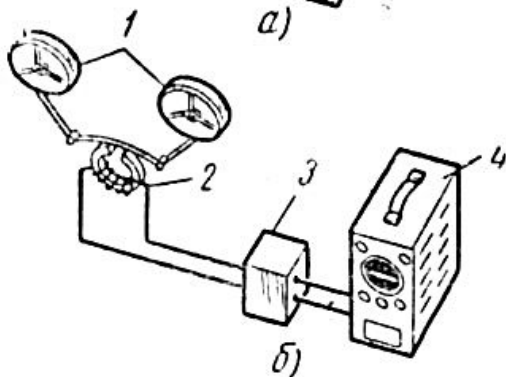
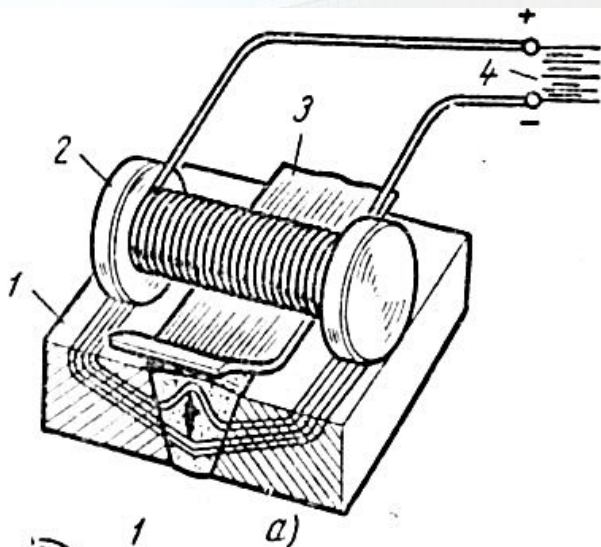
Магнитографический метод в основном применяют для контроля стыковых швов, выполненных сваркой плавлением, и, в первую очередь, при дефектоскопии швов магистральных трубопроводов. Этим методом можно контролировать сварные изделия и конструкции толщиной до 20-25 мм. Наиболее хорошо выявляются продольные микротрещины, непровары, цепочки и скопления шлаковых включений и газовых пор

Магнитографический метод состоит из двух последовательно осуществляемых операций:

- 1) намагничивания изделий специальным устройством, при котором поля дефектов «записываются» на магнитную ленту;
- 2) воспроизведения или считывания «записи» с ленты, осуществляемого с помощью магнитографических дефектоскопов.

# Магнитный контроль

## Схема магнитографического контроля



Магнитографический метод контроля:

*a* — запись: 1 — испытуемый образец, 2 — электромагнит, 3 — ферромагнитная лента, 4 — источник постоянного тока; *б* — воспроизведение: 1 — катушка с лентой, 2 — приемная головка, 3 — усилитель, 4 — осциллограф; *в* — характер кривых на экране осциллографа

# Магнитный контроль

Процесс намагничивания контролируемых стыков трубопроводов осуществляется с помощью специальных намагничивающих устройств, к которым относятся:

- подвижные устройства, перемещаемые снаружи по периметру намагничивающего стыка;
- неподвижно установленные устройства, охватывающие весь периметр контролируемого стыка снаружи и внутри трубы.



# Магнитный контроль

**Точность показаний** зависит от типа ленты, плотности напыления ферромагнитных частиц, их подвижности. Магнитоленты рассчитаны на эксплуатацию в различном температурном диапазоне. Дефектоскопы оборудованы считывающими устройствами двух типов:

- 1) импульсные (МД-9) выводят индикацию на экран электронно-лучевой трубки с разной амплитудой, частотой, по этим показателям судят о величине и залегании дефектных образований;
- 2) телевизионные (МД-11) выводят на экран расплывчатое изображение дефекта, по ней проще определить рельеф несплошности.

# Магнитный контроль

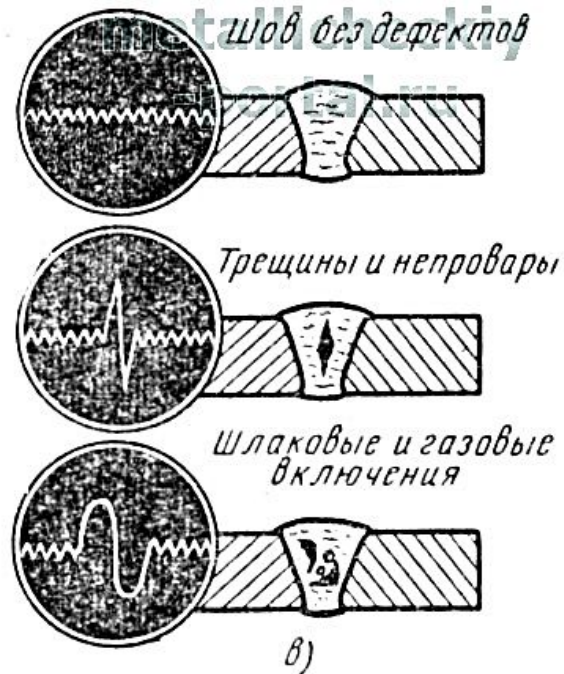
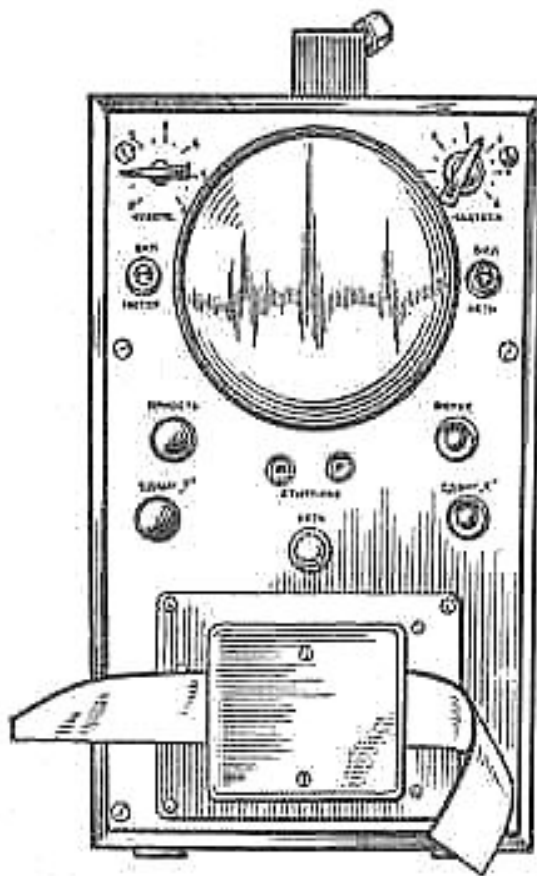
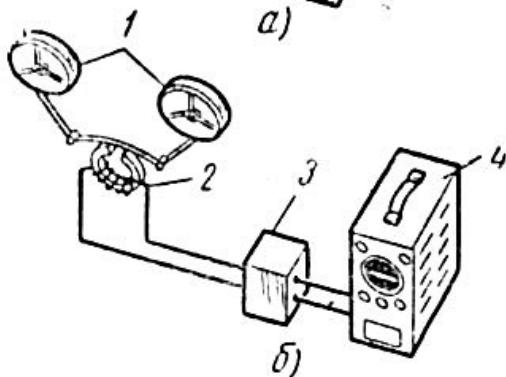
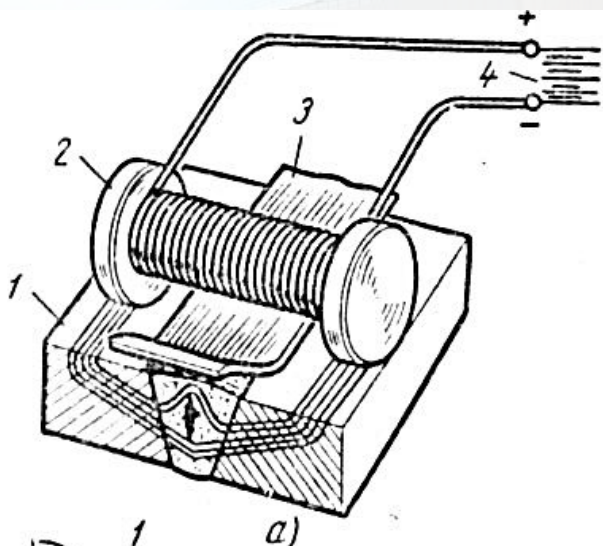
## Методика магнитографического контроля

1. Осмотр и подготовка поверхности контролируемого изделия. При этом с поверхности контролируемых швов должны быть удалены остатки шлака, брызги расплавленного металла, грязь и т. д.
2. Наложение на шов отрезка магнитной ленты. Прижим ленту ко шву плоских изделий производят специальной эластичной «подушкой». При контроле кольцевых швов труб, сосудов и других изделий магнитную ленту к поверхности шва прижимают по всему периметру эластичным резиновым поясом.
3. Намагничивание контролируемого изделия при оптимальных режимах в зависимости от типа намагничивающего устройства, толщины сварного шва и его магнитных свойств.
4. Расшифровка результатов контроля, для чего магнитную ленту устанавливают в считывающее устройство дефектоскопа и по сигналам на экранах дефектоскопа производят расшифровку результатов контроля и оценку качества изделия.



# Магнитный контроль

## Схема магнитографического контроля



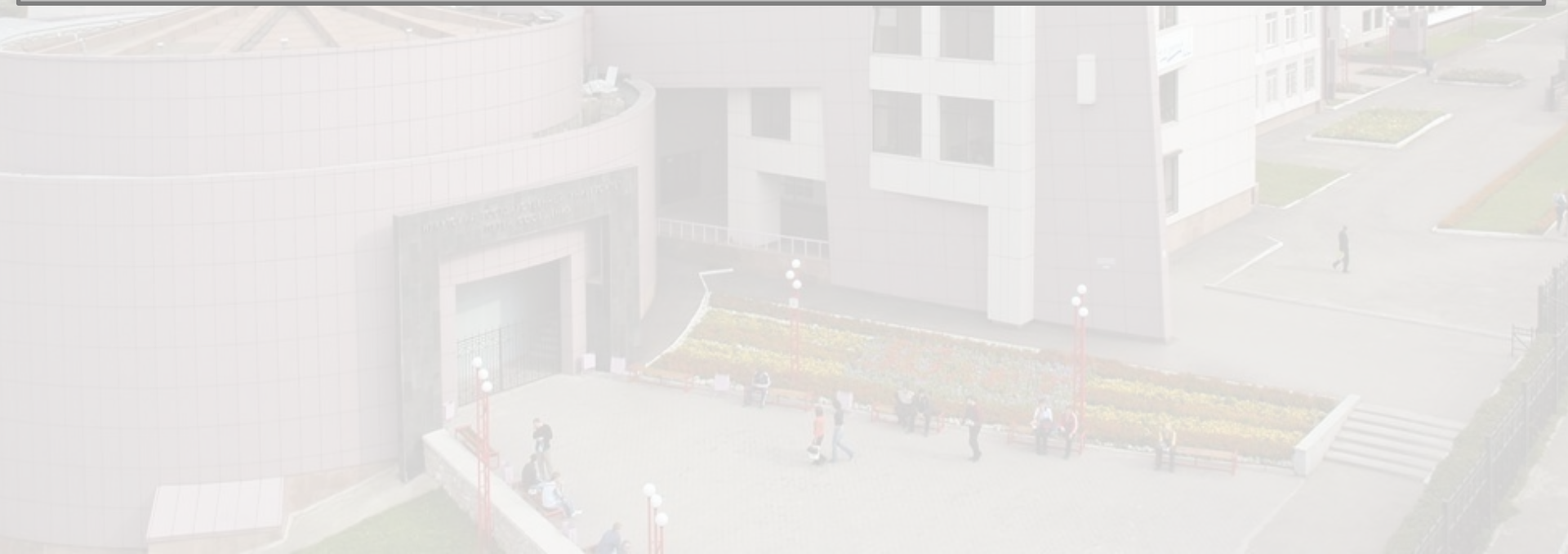
Магнитографический метод контроля:

*a* — запись: 1 — испытуемый образец, 2 — электромагнит, 3 — ферромагнитная лента, 4 — источник постоянного тока; *б* — воспроизведение: 1 — катушка с лентой, 2 — приемная головка, 3 — усилитель, 4 — осциллограф; *в* — характер кривых на экране осциллографа

# Магнитный контроль

**Преимущества** : 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.

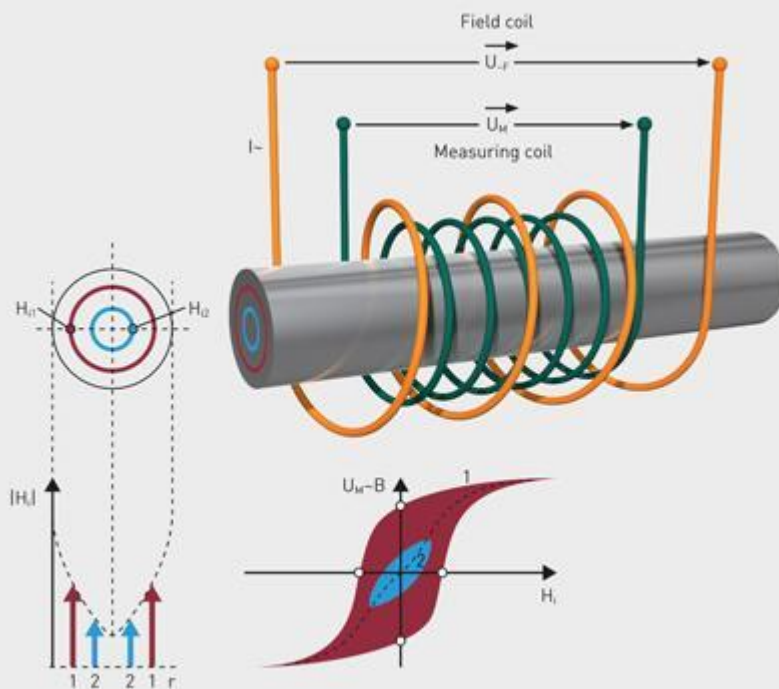


# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 3) Индукционный метод МНК

основан на том, что выявление полей рассеяния в намагниченном контролируемом металле осуществляется с помощью катушек с сердечником, которая питается переменным током.



# Магнитный контроль

Потоки рассеяния от обнаруженного дефекта возбуждают ЭДС, которая усиливается, преобразовывается в звуковые сигналы и подается на записывающее устройство. Индукционный метод используется для выявления трещин, непроваров, включений при контроле сварных швов.

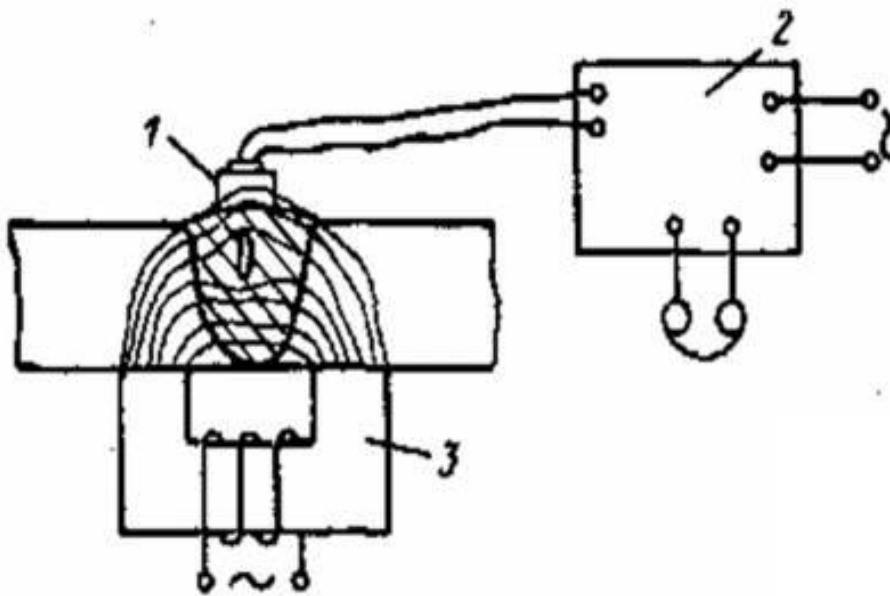


Схема индукционного метода контроля:  
1 - искатель; 2 - усилитель;  
3 - электромагнит

В катушке наводится (индуцируется) ЭДС, величина которой зависит от скорости относительного перемещения катушки и характеристик магнитных полей дефектов. Этот метод широко используется в вагонах-дефектоскопах для скоростного магнитного контроля рельсов

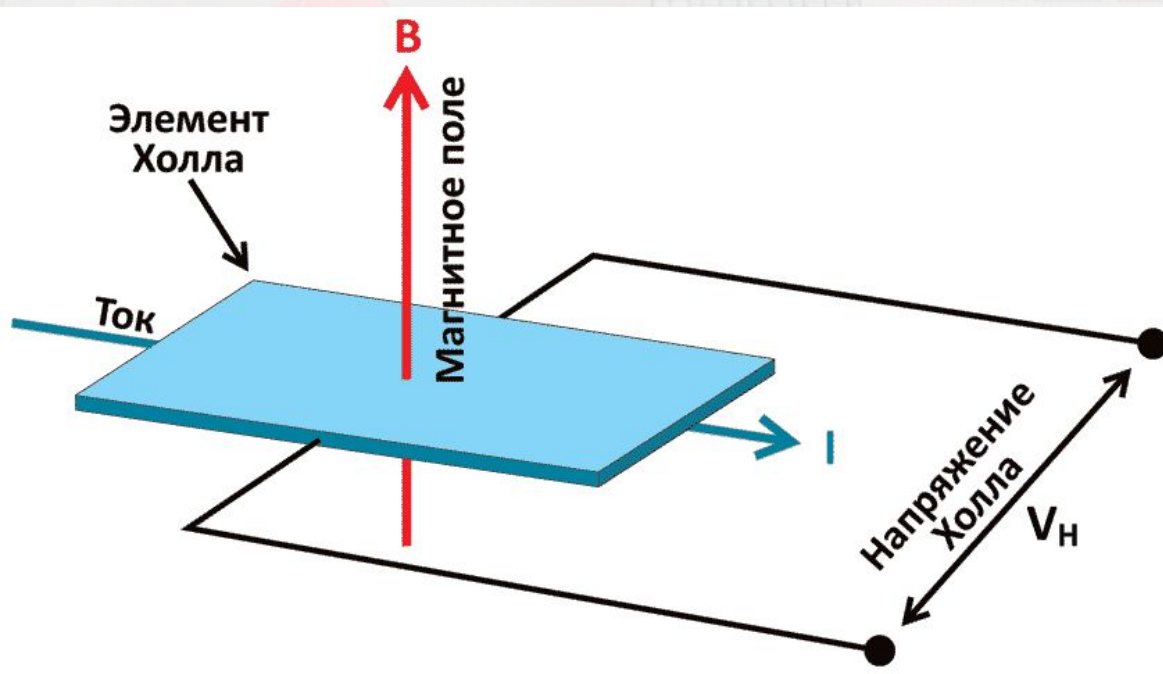
# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 4) Метод эффекта Холла МНК

основан на регистрации магнитных полей объекта контроля преобразователями Холла

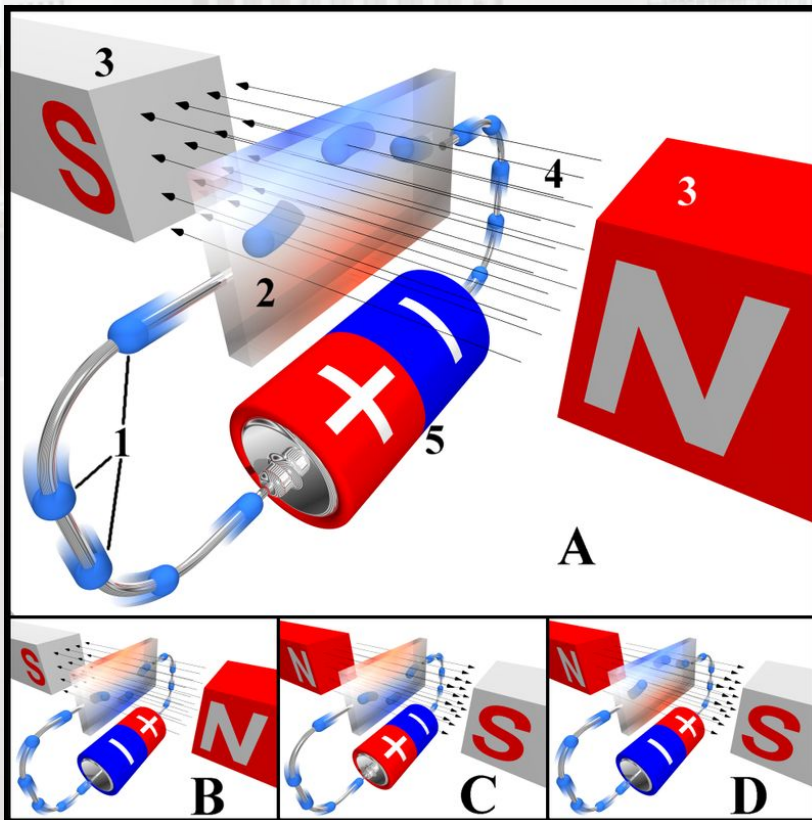
Метод, основанный на эффекте Холла, используют для обнаружения дефектов и в приборах для измерения толщины, контроля структуры и механических свойств.



# Магнитный контроль

## Эффект Холла МНК

заключается в том, что если прямоугольную пластинку из полупроводникового материала поместить в магнитное поле перпендикулярно вектору напряженности и пропускать по ней ток в направлении двух противоположных граней, то на двух других гранях возникнет ЭДС, пропорциональная напряженности магнитного поля

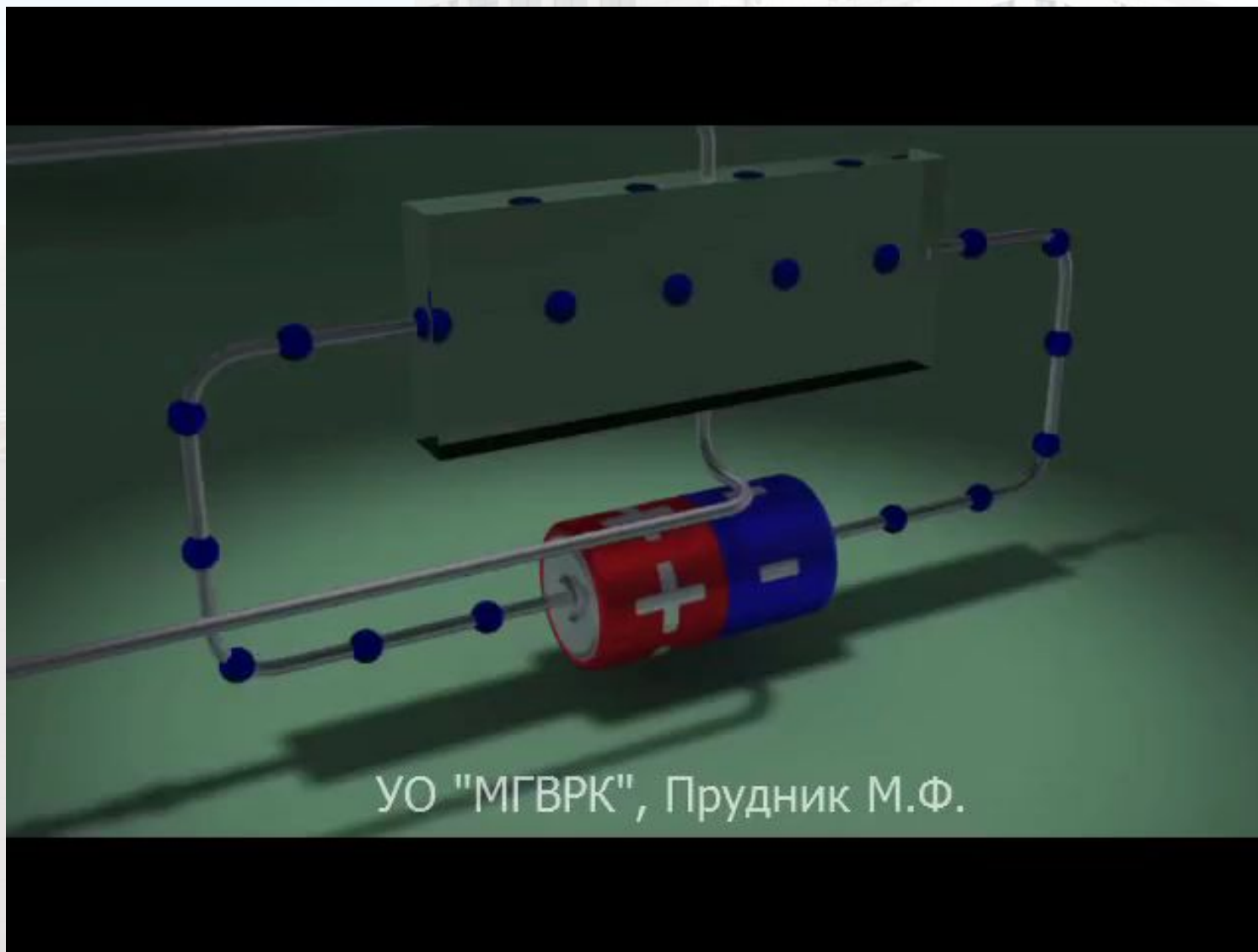


1. Электроны;
2. Зонд;
3. Магниты;
4. Магнитное поле;
5. Источник тока

**Эффéкт Хóлла** – явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также холловским напряжением) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле

# Магнитный контроль

*Эффект Холла МНК*



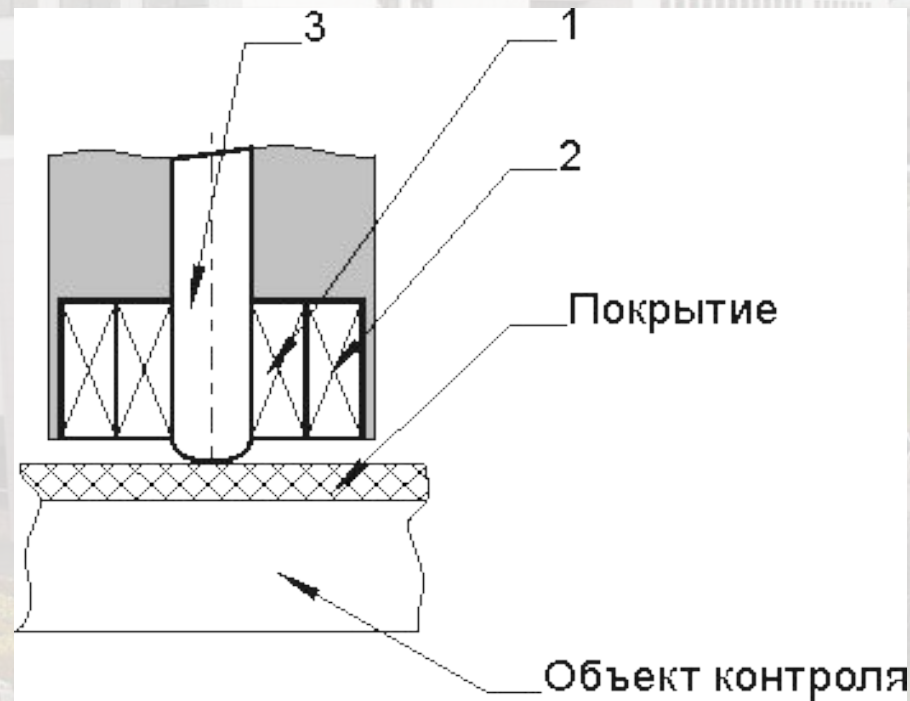
# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 5) Пондеромоторный метод МНК

основан на взаимодействии измеряемого магнитного поля и магнитного поля тока в рамке прибора или магнита. Этот метод применяется при дефектоскопии дорожных рельс

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



- 1 - возбуждающая катушка;
- 2 - измерительная катушка;
- 3 - сердечник



# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### *б) Магниторезисторный метод МНК*

основан на выявлении магнитных полей магниторезистивными преобразователями, представляющими собой гальваномагнитный элемент, принцип работы которого основан на магниторезистивном эффекте Гаусса

**Магниторезистивный эффект Гаусса** - увеличение сопротивления металлического образца, помещаемого в магнитное поле

# Магнитный контроль

## б) Магниторезисторный метод НК

Магниторезистивный эффект заключается в изменении электрического сопротивления материала под действием внешнего магнитного поля.

Одна из разновидностей магниторезистивного эффекта – анизотропный МР-эффект (АМР) проявляется в зависимости значения сопротивления ферромагнитной пленки от угла между вектором её намагниченности и направлением тока через неё. Направление же вектора намагниченности пленки определяется, в том числе, и направлением внешнего магнитного поля.



$$R = R_0 + \Delta R \cos^2 \alpha$$

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow R_{\max}$$

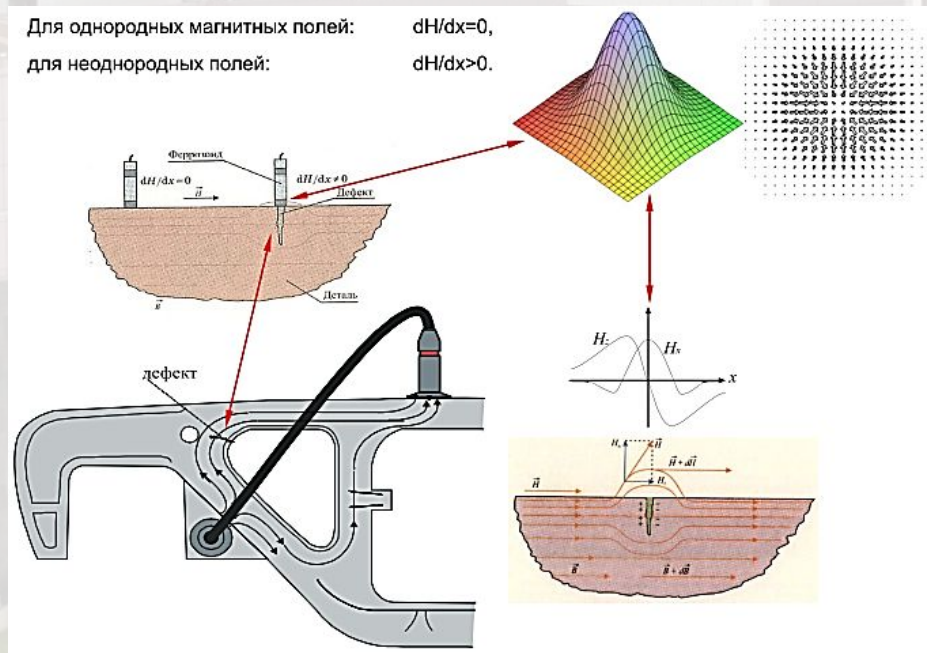
$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow R_{\min}$$

# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 7) Феррозондовый метод МНК

основан на обнаружении феррозондовым преобразователем магнитного поля рассеяния дефекта типа нарушений сплошности: волосовин, плен, трещин, ужимов, закатов, раковин и т.д. на намагниченных изделиях и преобразовании его в электрический сигнал



Поиск дефектов основан на измерении феррозондовым прибором градиента напряженности магнитного поля рассеяния, созданного дефектом в намагниченном изделии, и сравнении результата измерения с порогом срабатывания дефектоскопа.

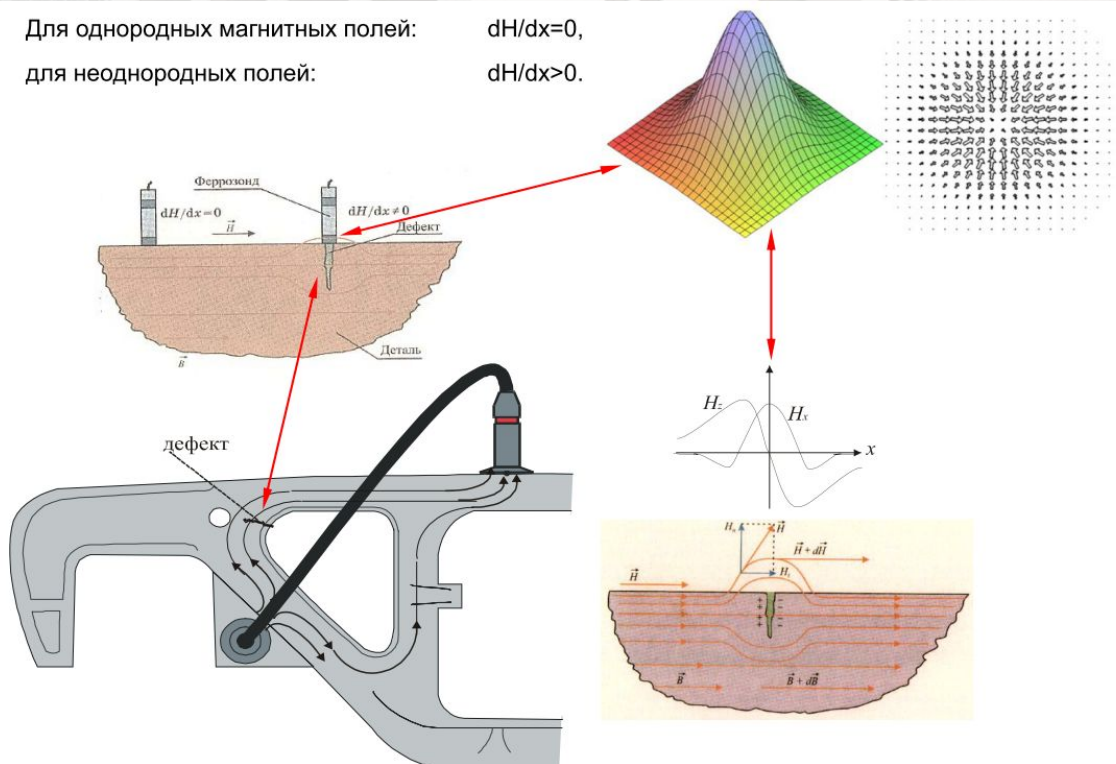
Дефекты обнаруживаются за счет выявления пространственных искажений магнитного поля над дефектом. Искаженное поле над дефектом именуется полем рассеяния дефекта или полем дефекта.

Неоднородность магнитного поля в конкретной его точке характеризуется градиентом напряженности ( $grad H$ )\*:

$$grad H = \frac{dH}{dx}$$

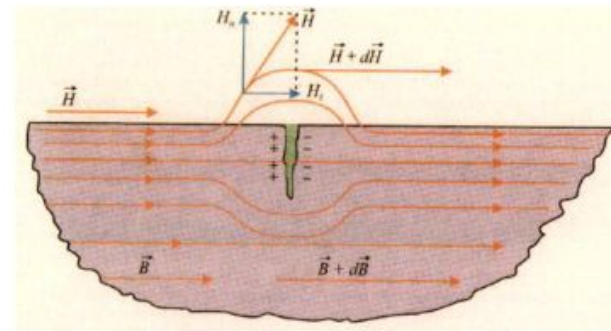
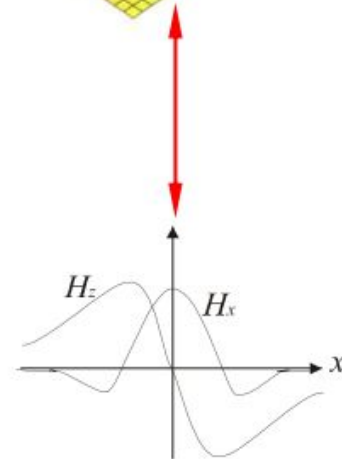
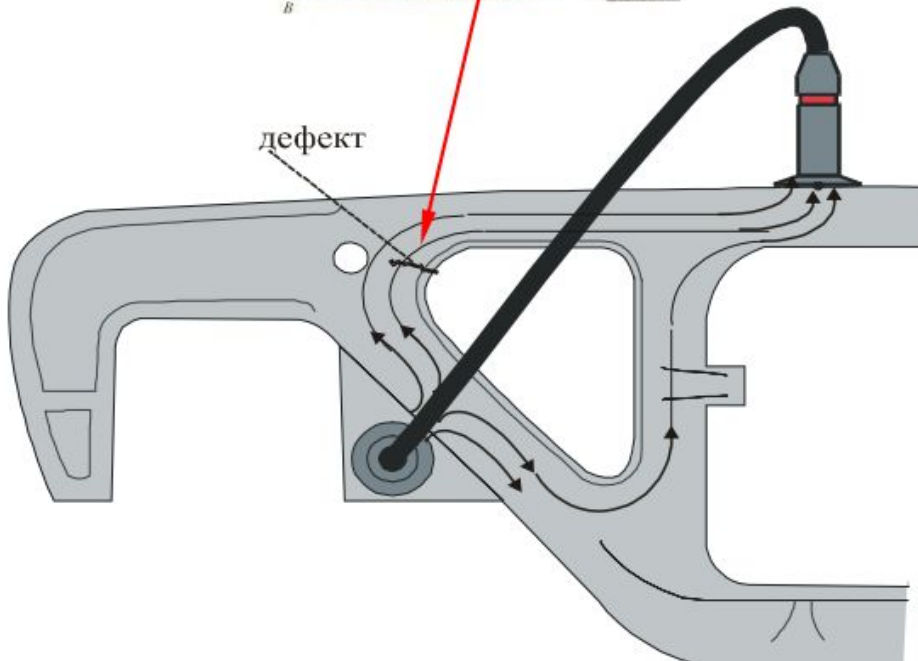
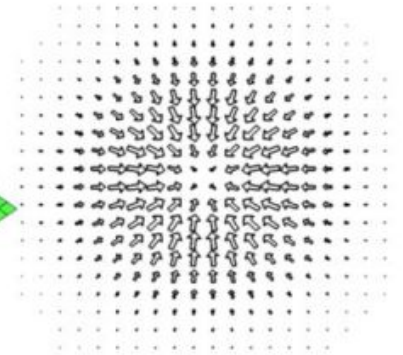
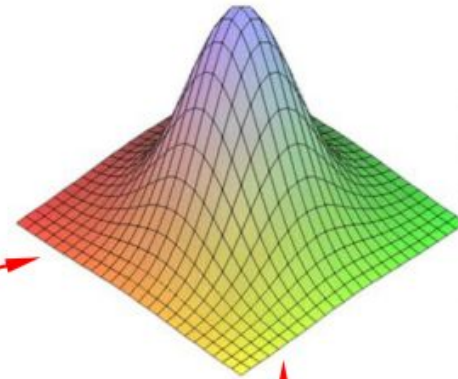
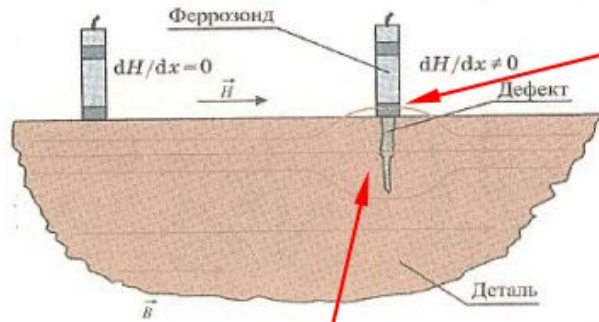
\* Градиент - вектор, показывающий направление наискорейшего возрастания некоторой величины  $H$ , значение которой меняется от одной точки пространства к другой (скалярного поля). Например, если взять в качестве  $H$  высоту поверхности Земли над уровнем моря, то её градиент в каждой точке поверхности будет показывать «направление самого крутого подъёма». Величина (модуль) вектора градиента равна скорости роста  $H$  в этом направлении.

Для однородных магнитных полей:  $dH/dx=0$ ,  
для неоднородных полей:  $dH/dx > 0$ .



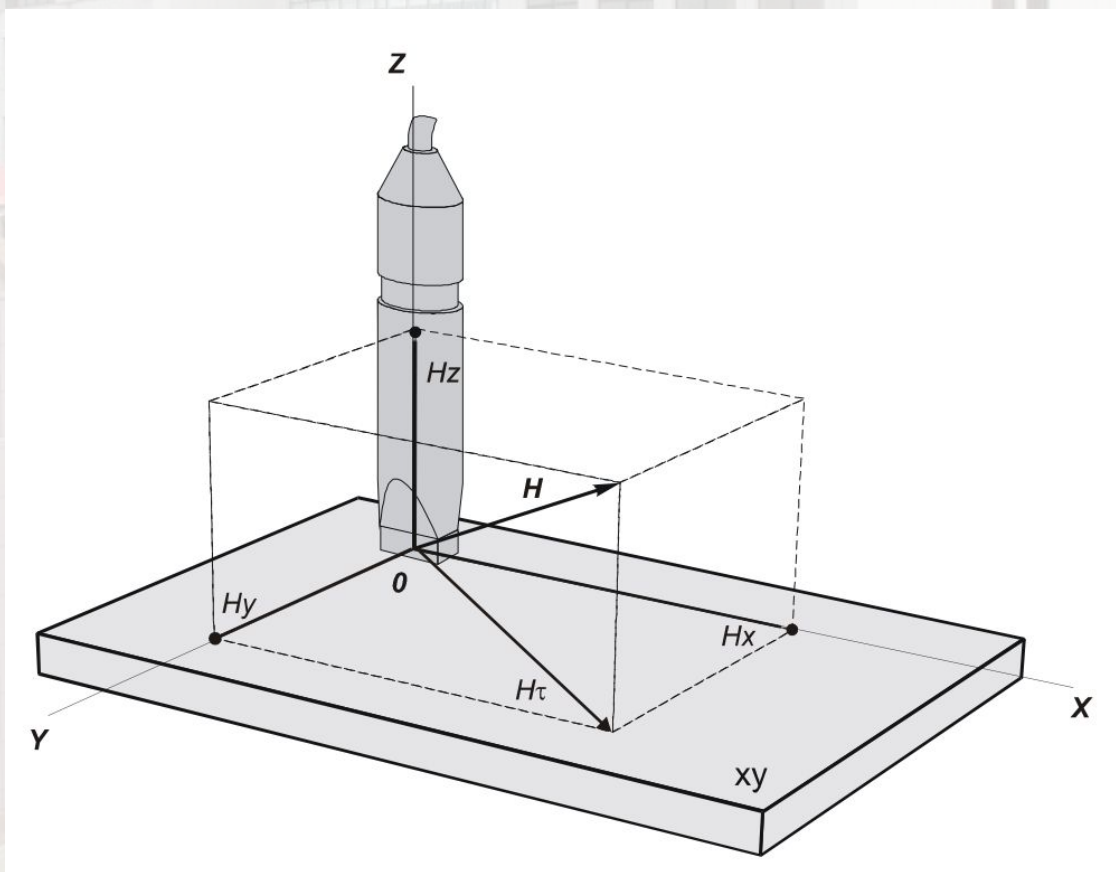
Для однородных магнитных полей:  
для неоднородных полей:

$$dH/dx=0,$$
$$dH/dx>0.$$



При феррозондовом методе дефектоскопии в качестве преобразователей магнитного поля используются индукционные преобразователи, в которых рабочим элементом являются ферромагнитные сердечники – **феррозонды**.

Феррозонды являются преобразователями активного типа, преобразующим действующую на него напряженность внешнего постоянного поля в ЭДС, кратную по частоте питающему его переменному току. Преобразование оказывается возможным благодаря нелинейности магнитных характеристик его сердечников.

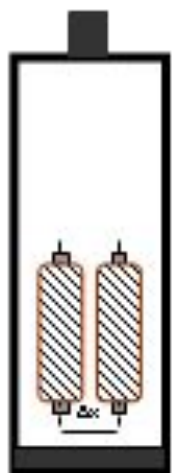


Преобразователь дефектоскопа содержит два параллельно расположенных стержня из специального магнитомягкого сплава. При контроле стержни перпендикулярны поверхности детали, т.е. параллельны нормальной составляющей напряженности магнитного поля.

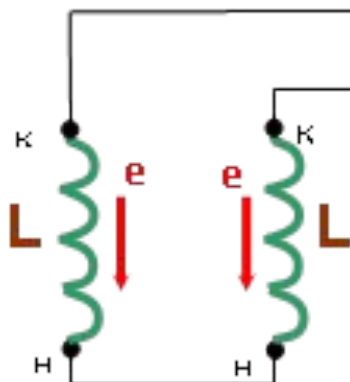
Стержни имеют одинаковые обмотки, по которым протекает переменный ток. Эти обмотки соединены последовательно.

Переменный ток создает в стержнях переменные составляющие напряженности магнитного поля. Эти составляющие совпадают по величине и направлению.

Кроме того, имеется постоянная составляющая напряженности магнитного поля детали в месте размещения каждого стержня. Выходное напряжение преобразователя определяется разностью переменных напряжений на обмотках.



ФП градиентометр



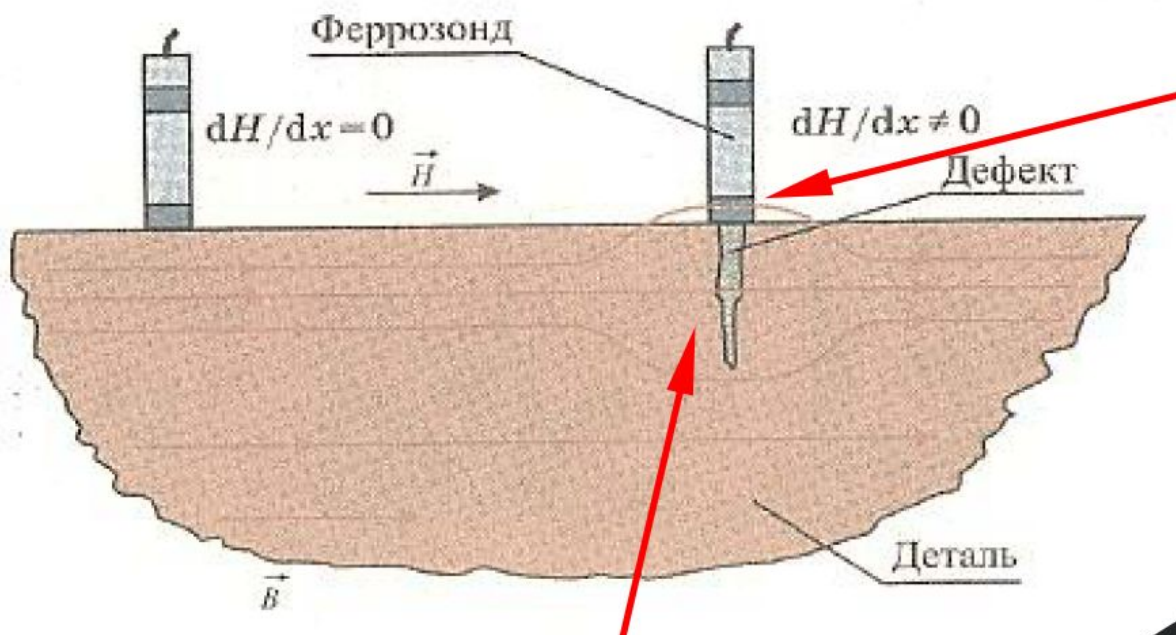
Последовательно-встречное

Электронный блок  
дефектоскопа

При размещении преобразователя дефектоскопа на участке детали без дефекта, где значения напряженности магнитного поля в разных точках одинаковы, градиент напряженности магнитного поля будет равен нулю.

Тогда на каждый стержень преобразователя будут действовать одинаковые постоянная и переменная составляющие напряженности магнитного поля. Эти составляющие будут одинаково перемагничивать стержни, поэтому напряжения на обмотках равны между собой.

Разность напряжений, определяющая выходной сигнал, равна нулю. Таким образом, преобразователь дефектоскопа не реагирует на магнитное поле, если нет градиента (дефекта).





### 3) Феррозондовый метод МНК



Феррозондовый метод контроля предусматривает следующие технологические операции:

1. Подготовку изделия к контролю;
2. Намагничивание контролируемого изделия;
3. Сканирование и получение сигнала от дефекта;
4. Разбраковку;
5. Размагничивание.

1. Обладает очень высокой чувствительностью к магнитному полю (до  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  А/м или 0,01-0,001 А/см),
2. Малочувствителен к загрязнению деталей и к нанесённым лакокрасочным покрытиям.
3. Эффективен для контроля литых и штампованных деталей с высокой шероховатостью до  $R_z$  320мкм.
4. Обнаруживаются поверхностные и подповерхностные дефекты в стальных изделиях на глубине до  $5 \div 10$ мм.
5. Можно применять на изделиях любых размеров и форм, если отношение их длины к наибольшему размеру в поперечном направлении и их магнитные свойства дают возможность намагничивания до степени, достаточной для создания магнитного поля рассеяния дефекта, обнаруживаемого с помощью преобразователя\*.

1. зависимость результатов контроля от величины намагниченности контролируемого объекта;
2. невозможность контроля деталей с малыми геометрическими размерами, соизмеримыми с размерами феррозондового преобразователя;
3. жёсткие технические требования к направлению и шагу сканирования детали феррозондовым преобразователем;
4. ложные срабатывания при наличии локальных градиентов магнитного поля вызванных:
  - магнитными пятнами;
  - приближением к краю;
  - наличием выступов (буртов, рёбер);
  - наклёп;
  - резкое изменение сечения.