



## Техническая диагностика подвижного состава

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

# Неразрушающий контроль

## Магнитный контроль

основан на регистрации магнитных полей рассеяния дефектов или на определении магнитных свойств контролируемого изделия, *но только у материалов, способных намагничиваться.*

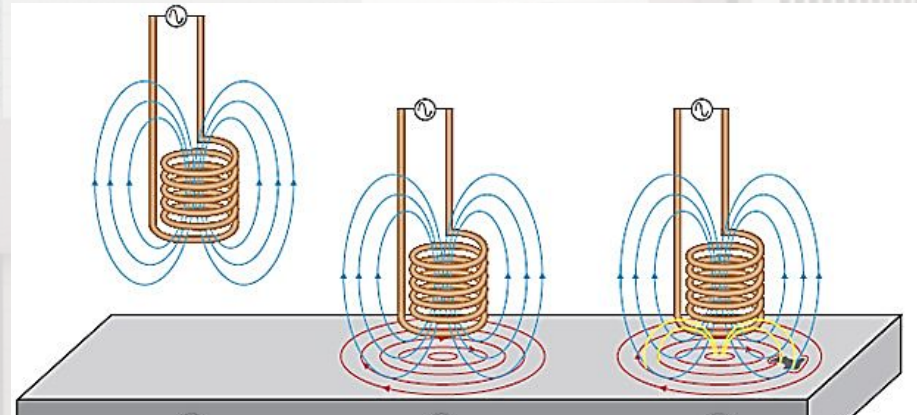
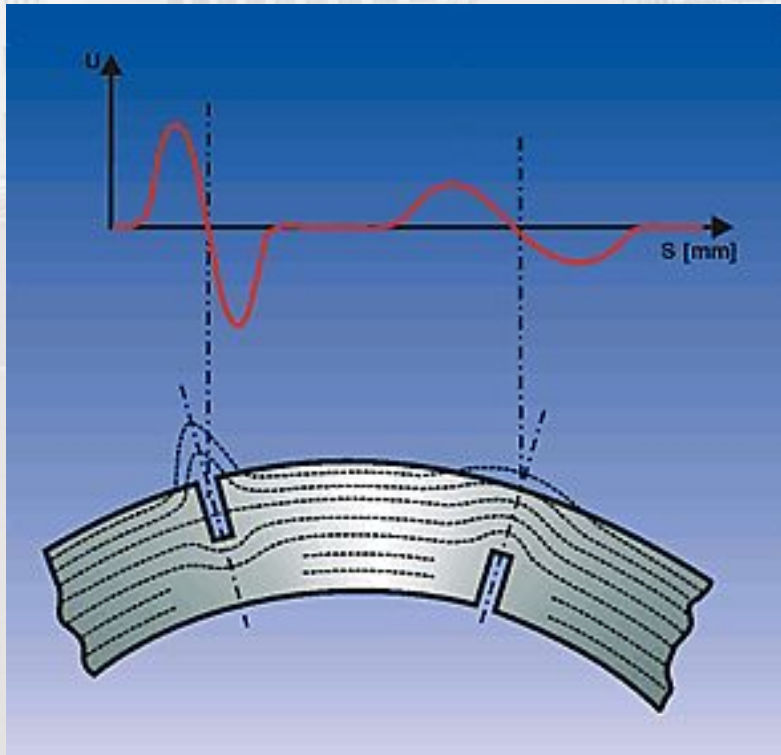




# Неразрушающий контроль

## Магнитный контроль

основан на регистрации магнитных полей рассеяния дефектов или на определении магнитных свойств контролируемого изделия, но только у материалов, способных намагничиваться (ферромагнетики).



# Магнитный контроль

## Понятие «силовое поле»

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}$$

это *векторное поле* в пространстве, в каждой точке которого на частицу действует определённая по величине и направлению *сила (вектор силы)*.

Векторная величина, которая характеризует поле в точке, где находится поле

**Напряженность**

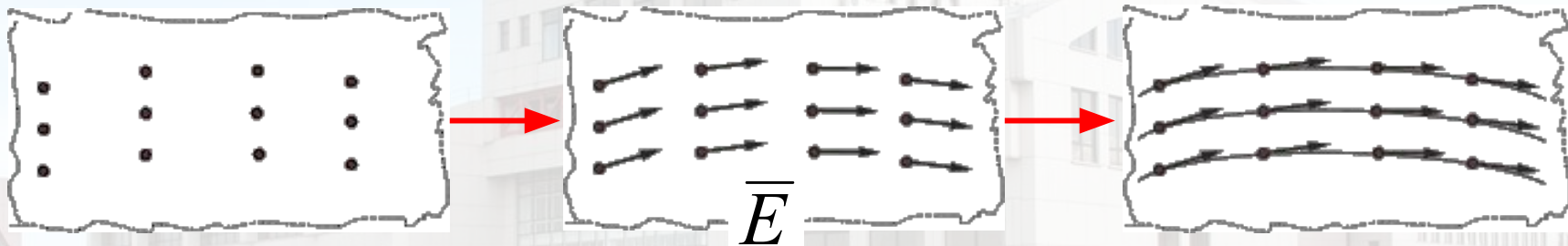
Величина характеризующая тело (масса, заряд, скорость и т.д.)

Каждое силовое поле создается теми и только теми телами, на которое оно может действовать

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

# Магнитный контроль

## Понятие «силовые линии»



- в любой точке *силовой линии* направление вектора напряженности совпадает с направлением касательной к ней в этой же точке

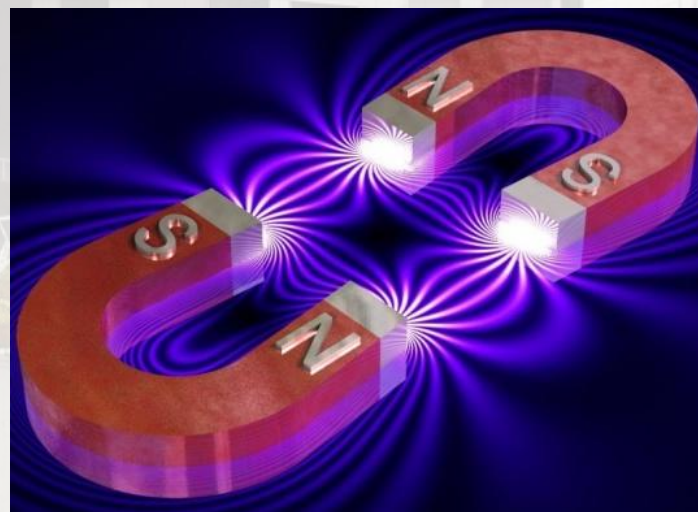
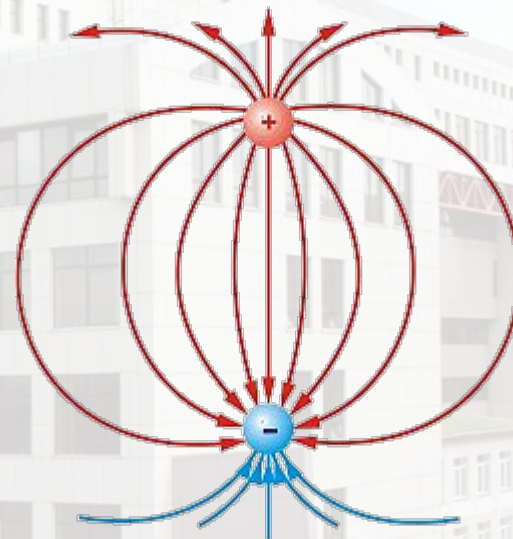
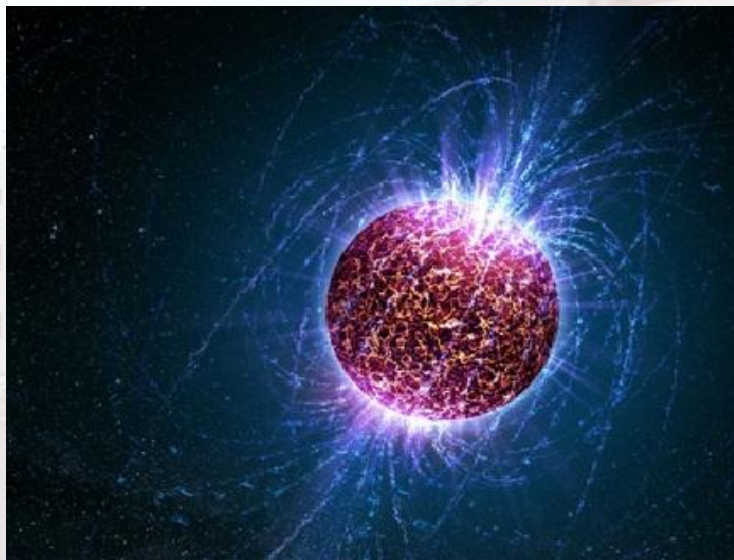
- длины векторов (значения напряжённостей) во всех точках силовой линии одинаковы (однородное)

- длины векторов (значения напряжённостей) во всех точках силовой линии неодинаковы (неоднородное)



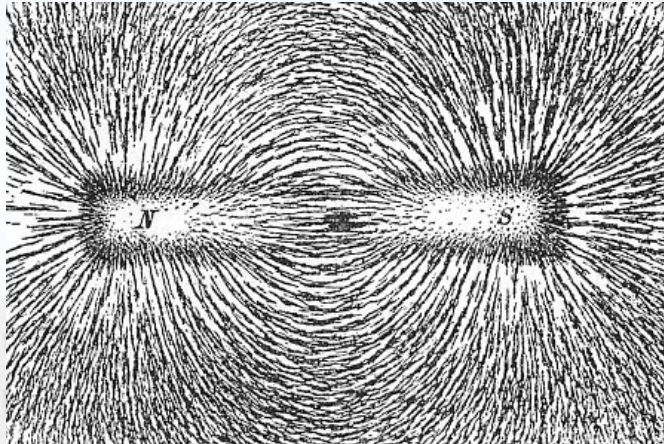
# Магнитный контроль

## Понятие «силовые линии»



# Магнитный контроль

## Понятие «магнитное поле»



*силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом, независимо от состояния их движения.*

## Сила Лоренца

$$\vec{F}_L = \mu_0 \cdot q \cdot \vec{H} \cdot \vec{v} \cdot \sin \alpha$$

$q$  – заряд тела;

$v$  – величина его скорости;

$\alpha$  – угол между направлением векторов скорости  $v$  и напряженности  $H$  м.п. в той точке, где тело находится;

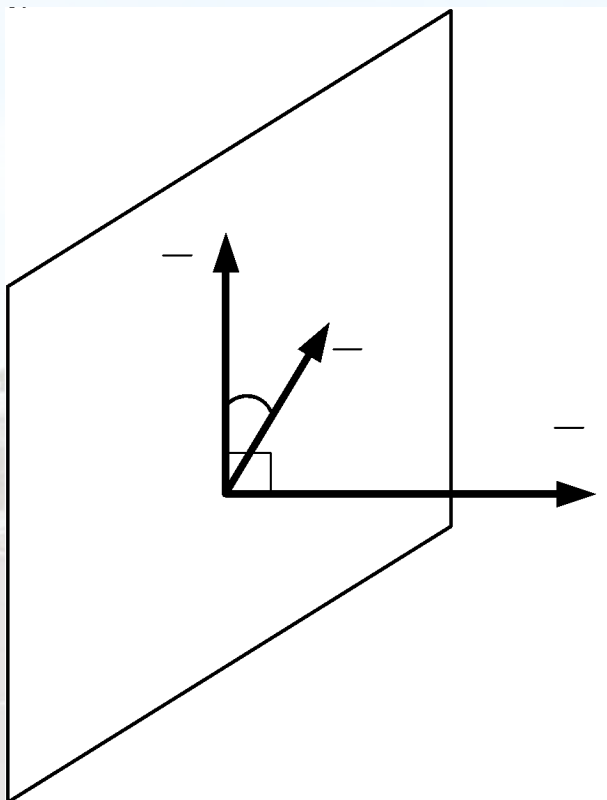
$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума, [Гн/м]



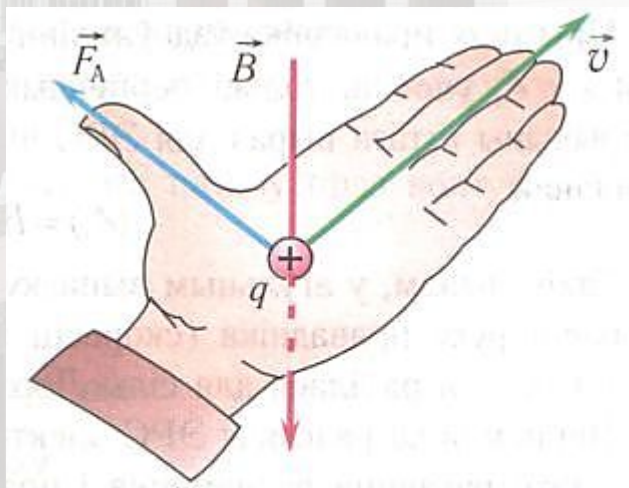
# Магнитный контроль

«Напряженность м.п.»

силовая характеристика м.п., векторная величина, которая служит для количественного описания поля [А/м].



*Правило левой руки*





# Магнитный контроль

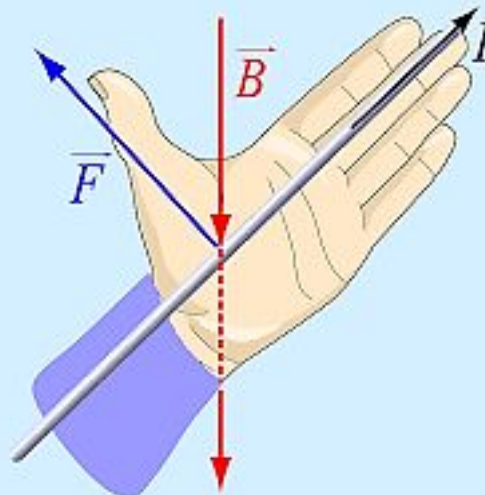
«Напряженность м.п.»

силовая характеристика м.п., векторная величина, которая служит для количественного описания поля [А/м].

Сила Ампера

$$\vec{F}_A = \mu_0 \cdot \vec{H} \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

*Правило левой руки*



# Магнитный контроль

## Магнитный момент контура

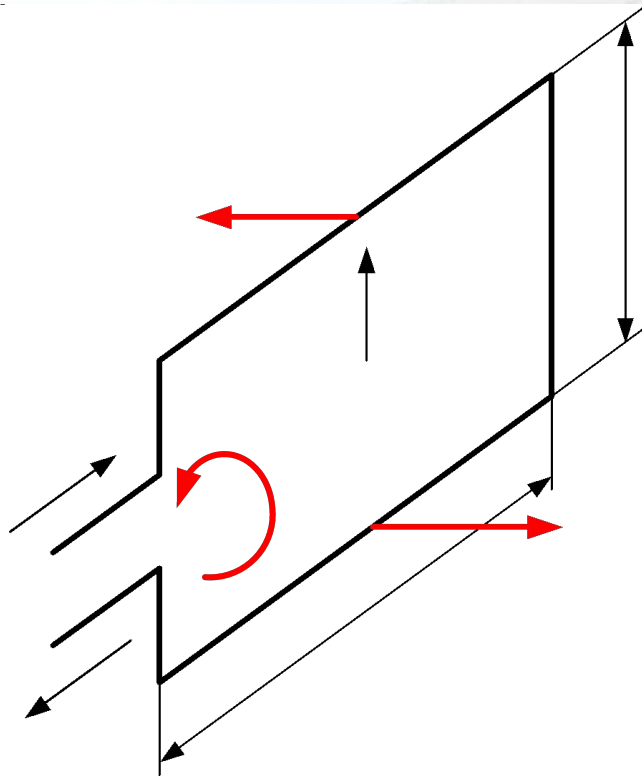
силовая характеристика м.п., векторная величина, которая служит для количественного описания поля [А/м].

$$M = 2 \cdot \mu_0 \cdot H \cdot I \cdot a \cdot \frac{b}{2} = \mu_0 \cdot H \cdot I \cdot S$$

Магнитный момент контура

$$P_T = I \cdot S [A \cdot m^2]$$

$$M = \mu_0 \cdot H \cdot P_T$$



# Магнитный контроль

## Магнитная индукция

$$B = \mu_0 \cdot H$$

$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума, [Гн/м]

силовая характеристика м.п., векторная величина, которая служит для количественного описания поля [Тл].

## Магнитный вращательный момент сил контура

$$M = P_T \cdot \bar{B}$$

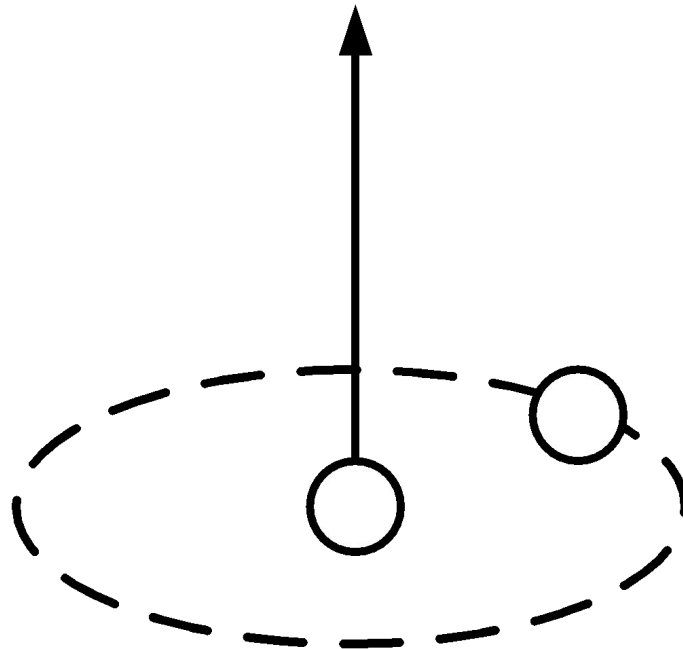


# Магнитный контроль

**Магнетизм и  
намагничивание**

**Носители магнетизма в металле:**

1) Элементарные электрические токи в атома, создаваемые вращением электронов вокруг ядра

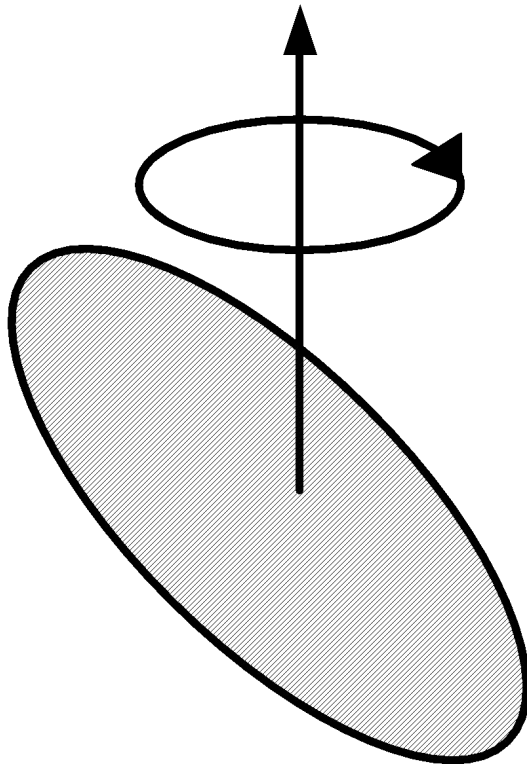


# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

2) Прецессионное движение (качение) электронных орбит

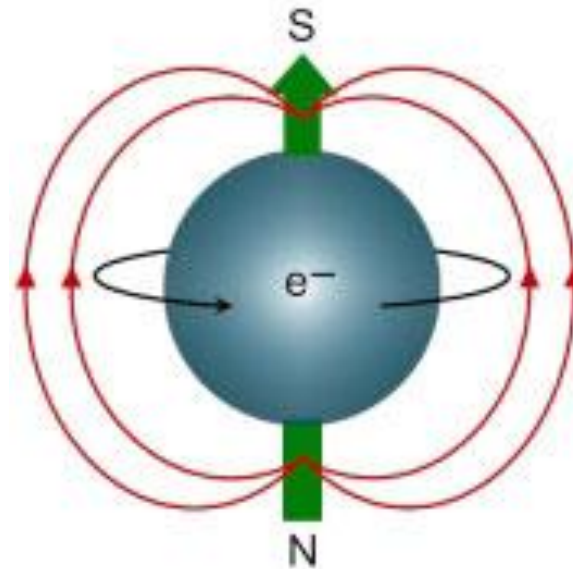
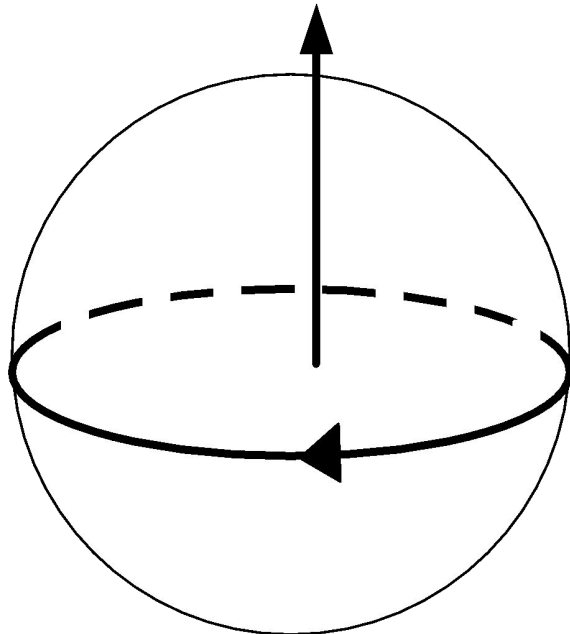


# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

3) Вращение электронов вокруг своей оси (спин электрона)





# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

$P_{ТВ}$

$P_{ТП}$

$P_{ТС}$



Суммарное магнитное поле

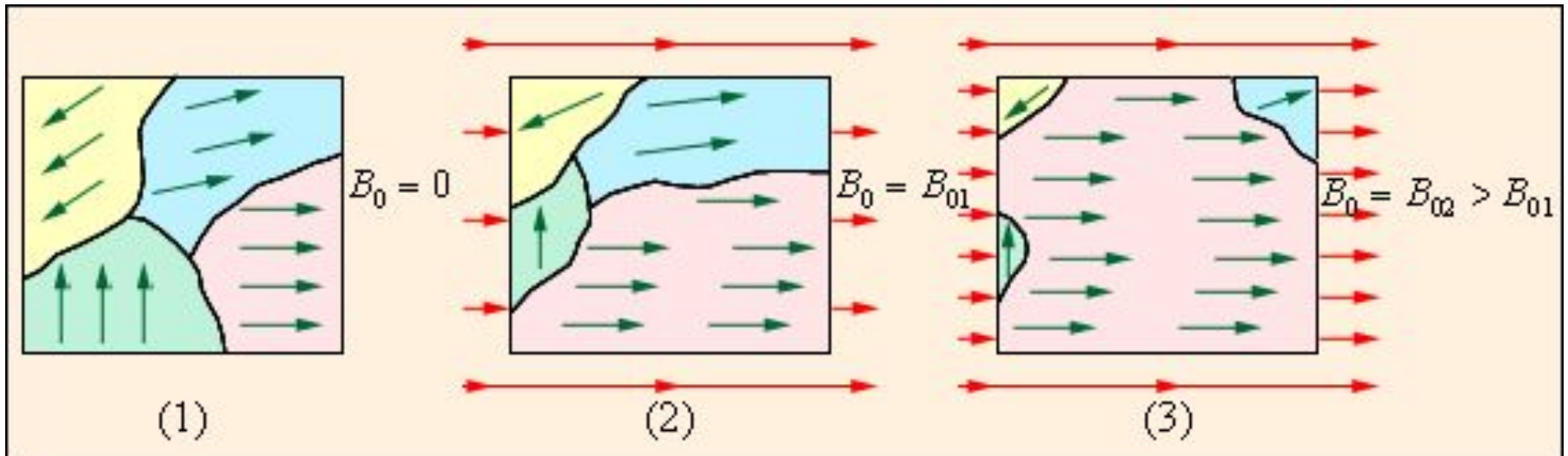
# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

Ферромагнетики

**Ферромагнетик** - вещество, которое при температуре ниже точки Кюри, способно обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля.

**Домен** – микроскопические области образованные соседними атомами, моменты которых самопроизвольно выстроены параллельно друг другу.

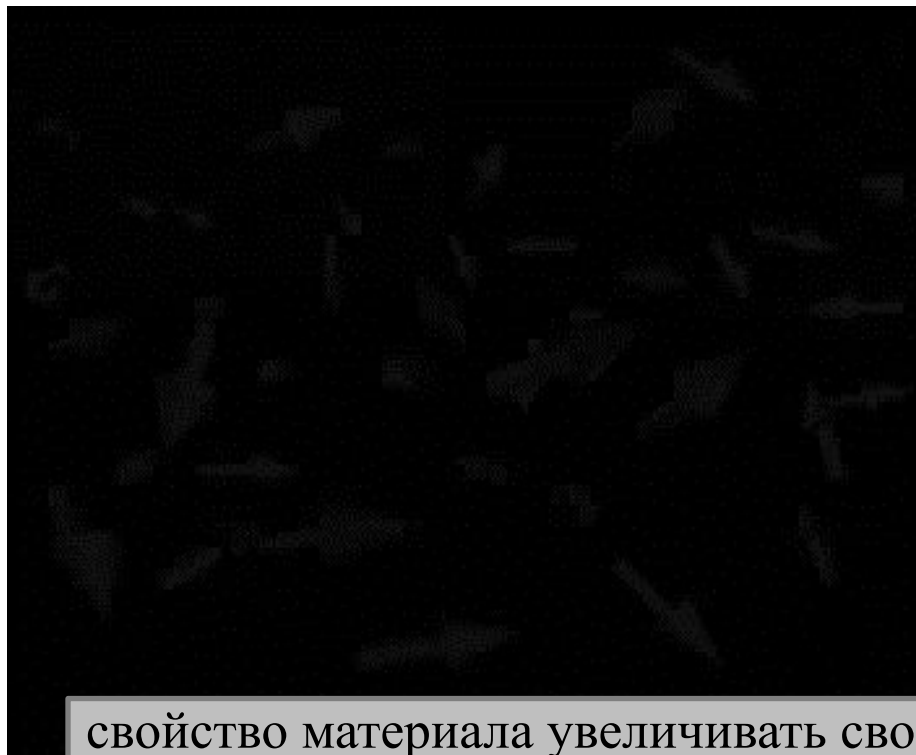


# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

*Ферромагнетики*

*Домен* – микроскопические области образованные соседними атомами, моменты которых самопроизвольно выстроены параллельно друг другу.



$P_{MD}$

магнитный момент  
домена

Намагниченность:

$$M = \frac{P_{MD}}{V}$$

свойство материала увеличивать свой магнитный момент под действием внешнего магнитного поля



# Магнитный контроль

*Ферромагнетики*

Намагниченность

$$M = 4\pi\chi H$$

$\chi$  - магнитная восприимчивость среды (характеризует способность вещества намагничиваться)

$$B = \mu_0(M+H)$$

$H$  - характеризует внешнее М.п.

$M$  - характеризует внутреннее М.п.

$B$  - характеризует суммарное М.п.

# Магнитный контроль

*Ферромагнетики*

Намагниченность

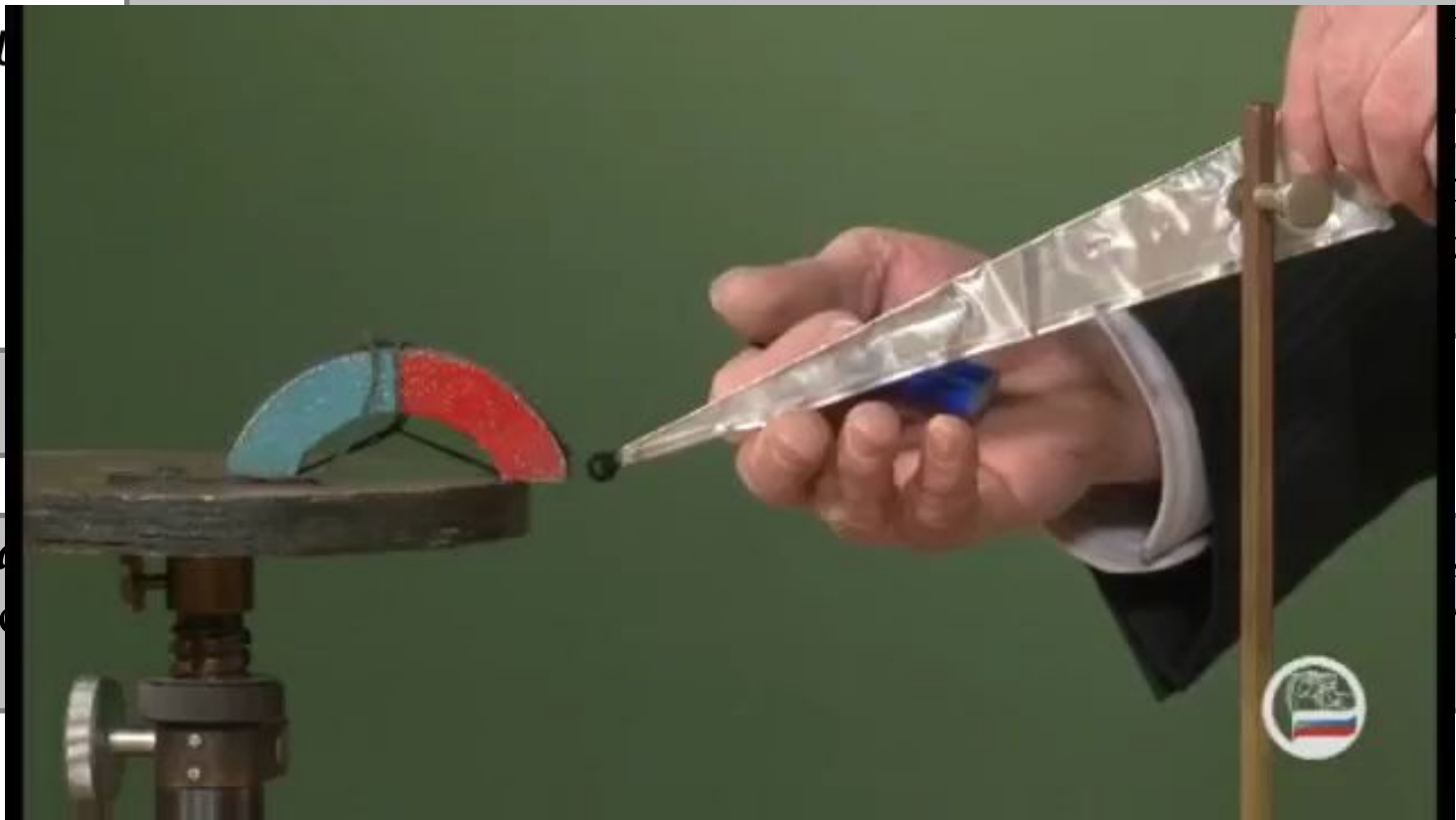
$$B = \mu_0(4\pi\chi H + H) = \mu_0(1 + 4\pi\chi)H = \mu_0\mu H = \mu_a H$$

$$\mu_a = \mu - \mu_0$$

$$\mu = 1 + 4\pi\chi$$

$$\mu \gg 1$$

Ферромагнетики обладают способностью концентрировать магнитное поле.



ГВА К

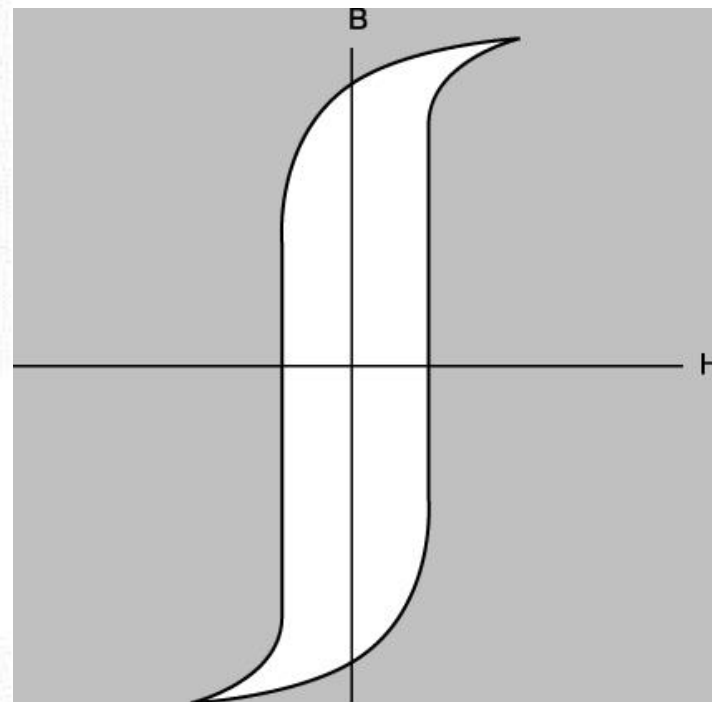
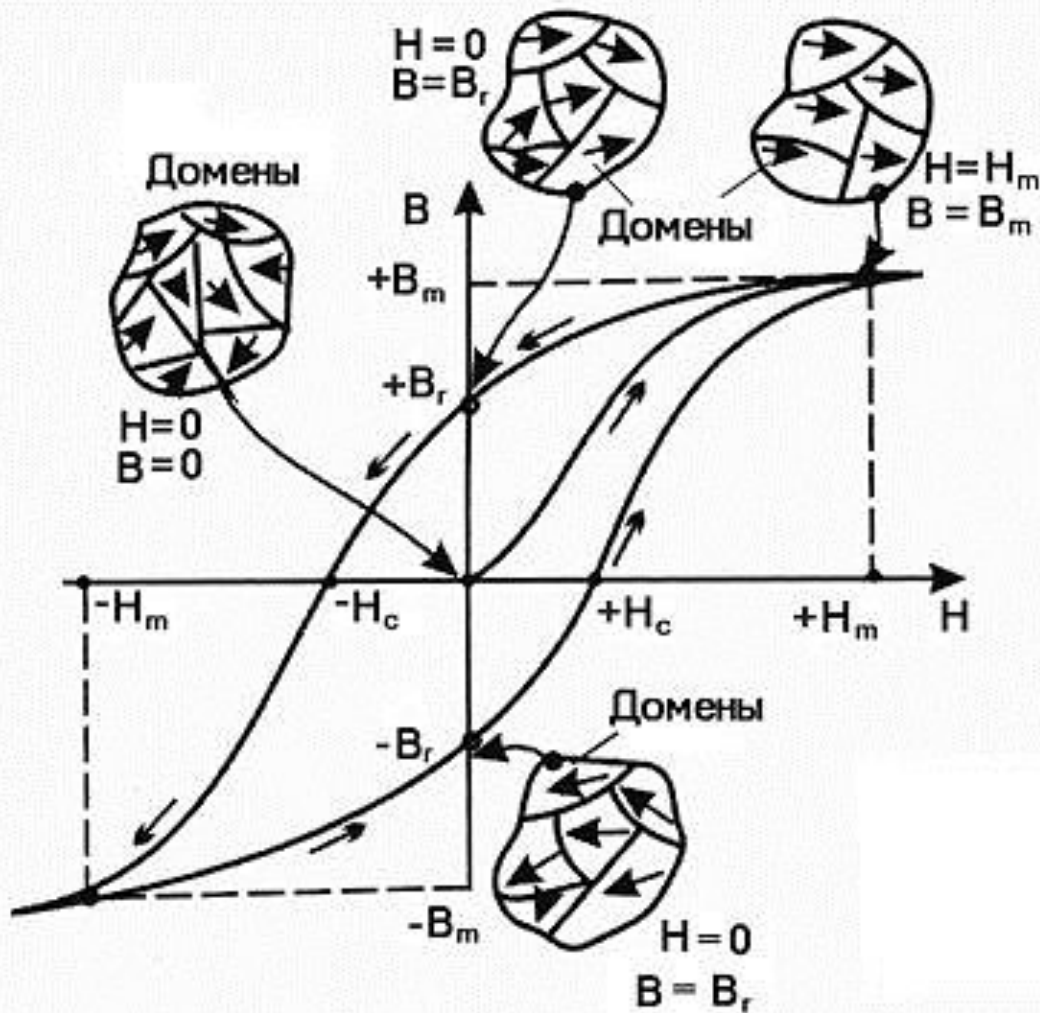
раз  
ойств

О

# Магнитный контроль

Ферромагнетики

Намагниченность





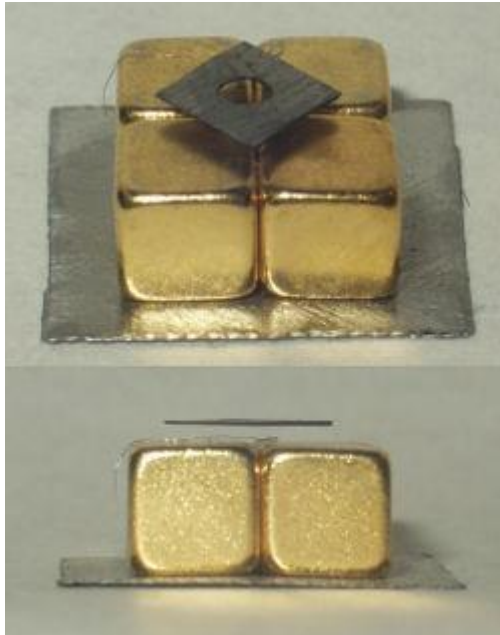
# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

*Диамагнетики*

*Диамагнетики* — вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля.

$$\mu < 1$$



# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

*Парамагнетики*

*Парамагнетики* — вещества, которые намагничиваются во

внешнем магнитном поле и  
имеют положительную

намагниченность (H) и

$$\mu \Rightarrow 1$$



# Магнитный контроль

Магнетизм и  
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

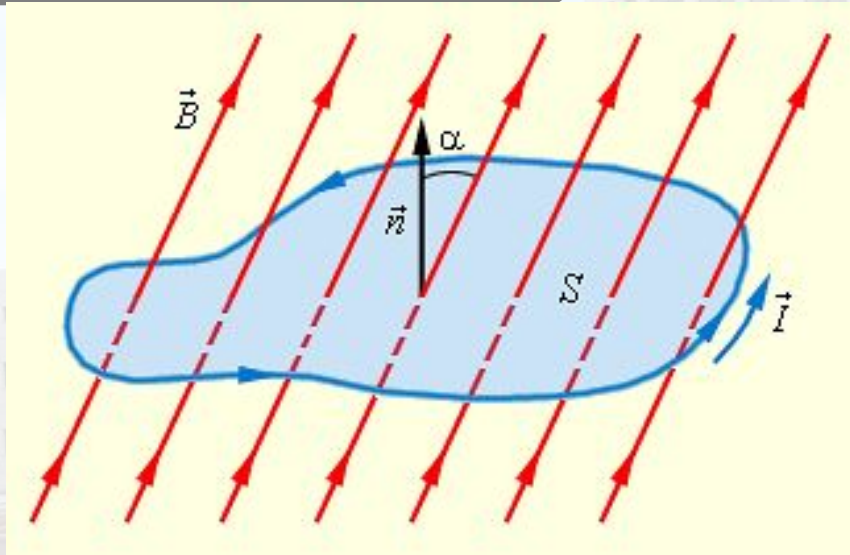


Согласно ГОСТ 21105-03 магнитный контроль применим только для деталей из ферромагнитных материалов с  $\mu \geq 40$ !



# Магнитный контроль

## Магнетизм и намагничивание



$$\Phi = BS \cos \alpha$$

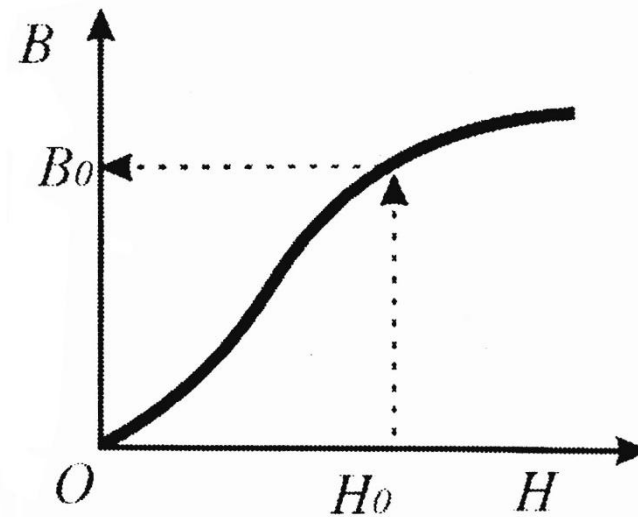
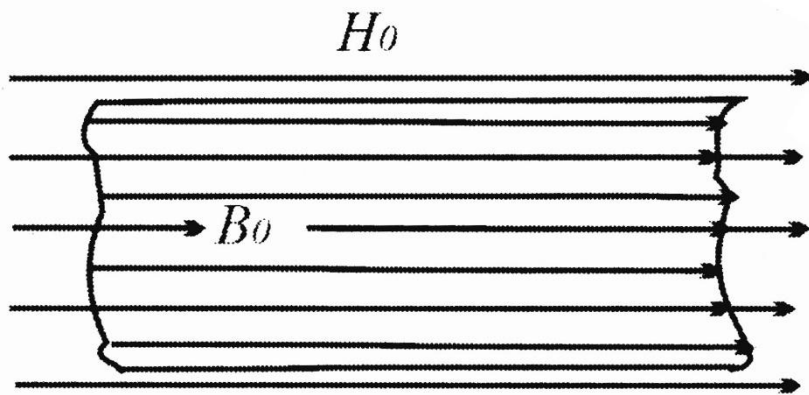
МАГНИТНЫЙ ПОТОК

поток вектора магнитной индукции  $B$  через некую поверхность.

# Магнитный контроль

## Физическая сущность МНК

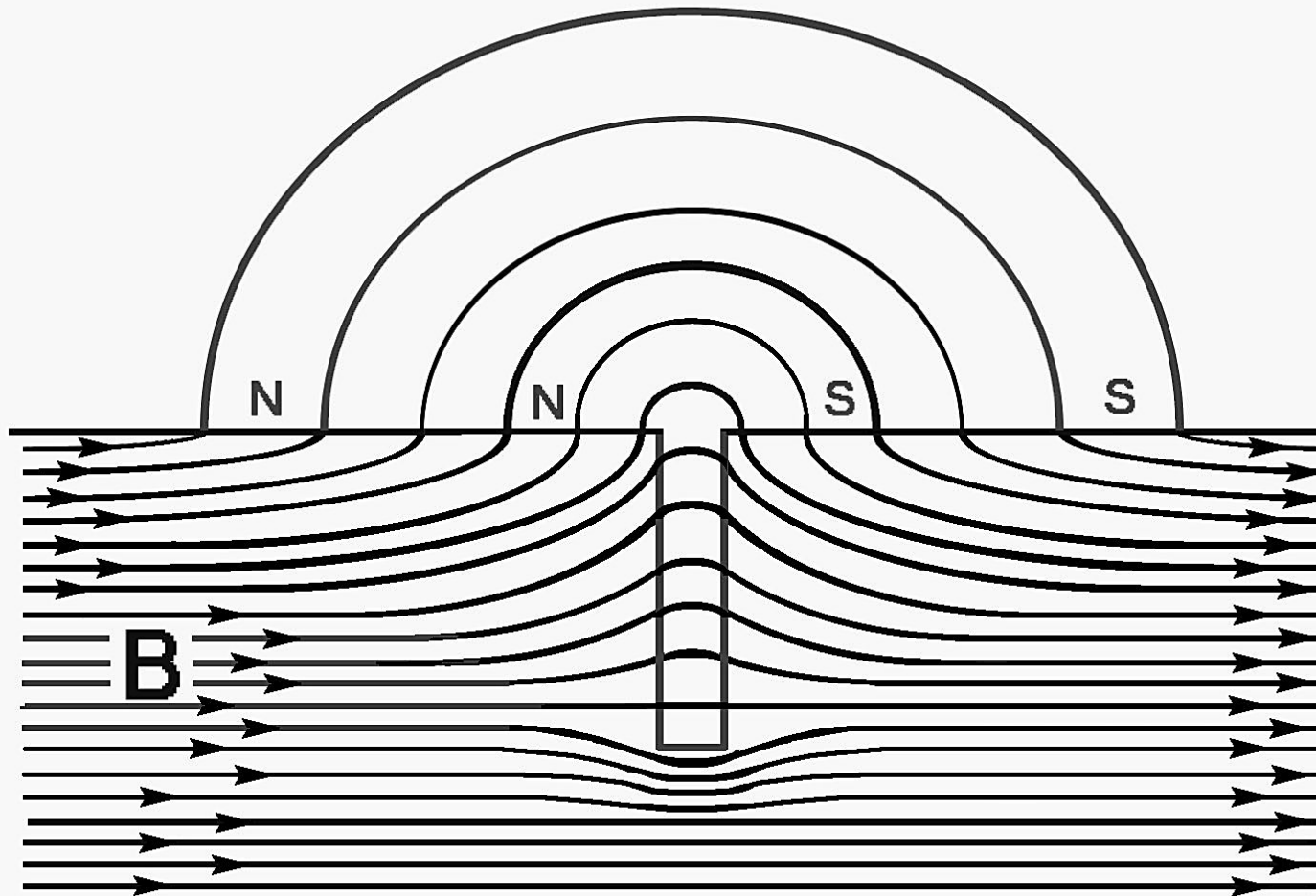
Бездефектный образец ферромагнетика и его кривая намагничивания



# Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Дефектный образец ферромагнетика



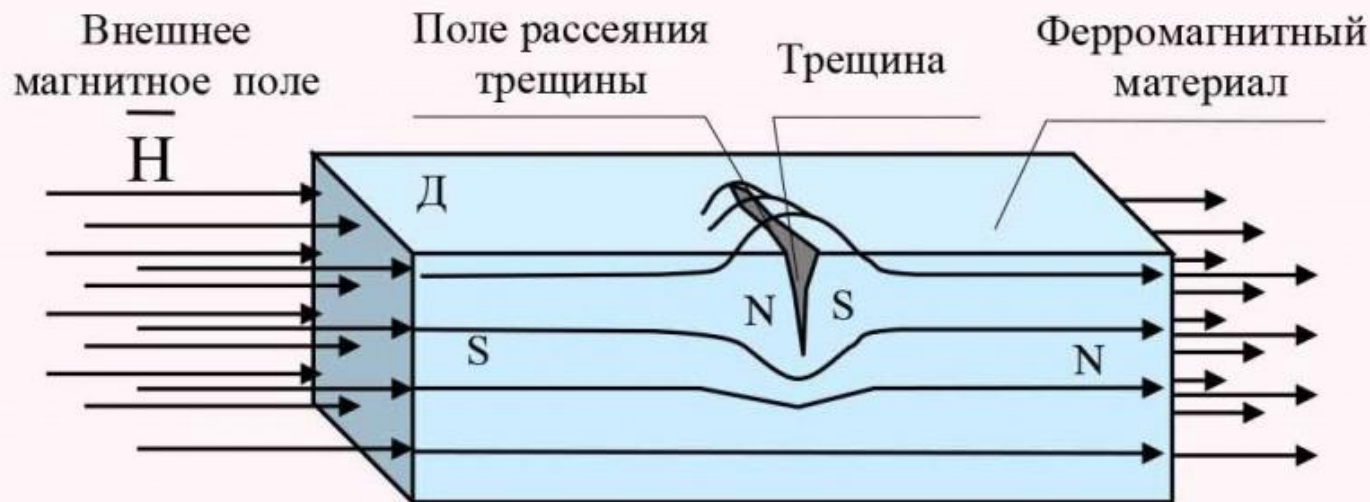


# Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Дефектный образец ферромагнетика

## Магнитное поле рассеяния над дефектом в виде трещины



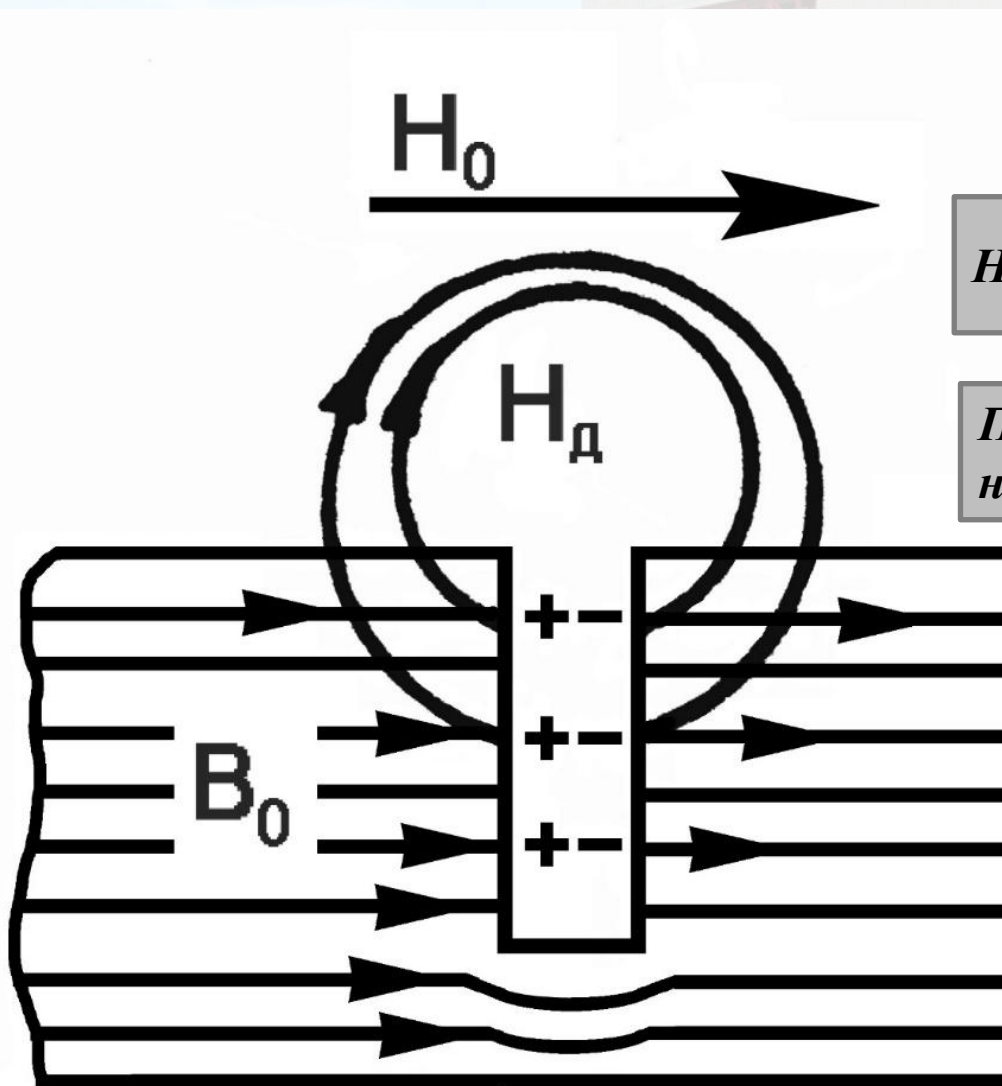
Полость трещины заполнена воздухом и немагнитными включениями, магнитная проницаемость которых ( $\mu \approx 1$ ) намного меньше, чем у ферромагнитного ( $\mu > 40$ ) материала. Вдоль стенок трещины образуются магнитные полюсы, в результате чего часть силовых линий выходит на поверхность металла, образуя поле рассеяния дефекта.



# Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Магнитная поляризация стенок дефекта



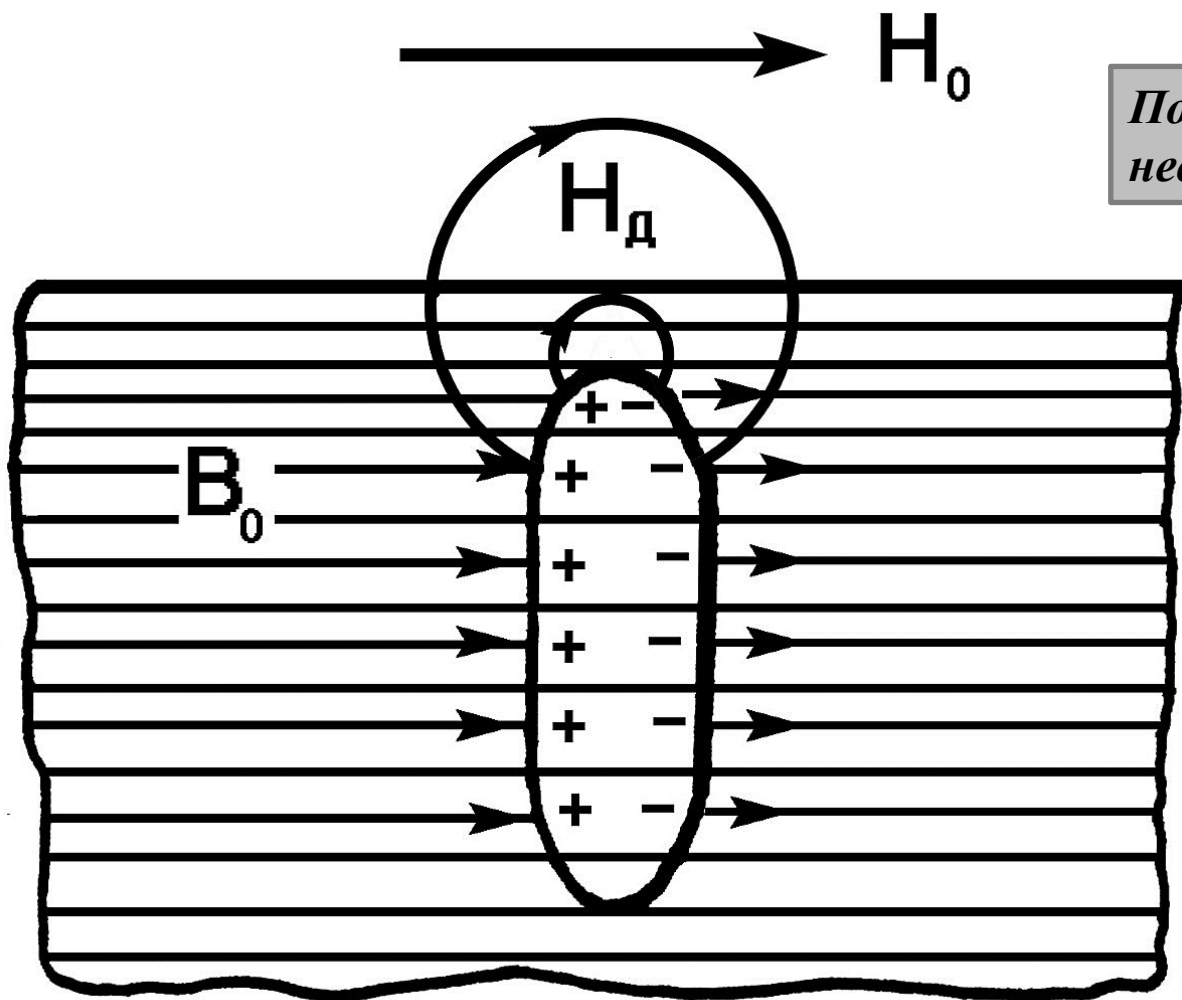
$H_d$  – суммарное поле рассеяния дефекта

*Поле с высокой степенью неоднородности!!!*

# Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Магнитное поле рассеяния над дефектом

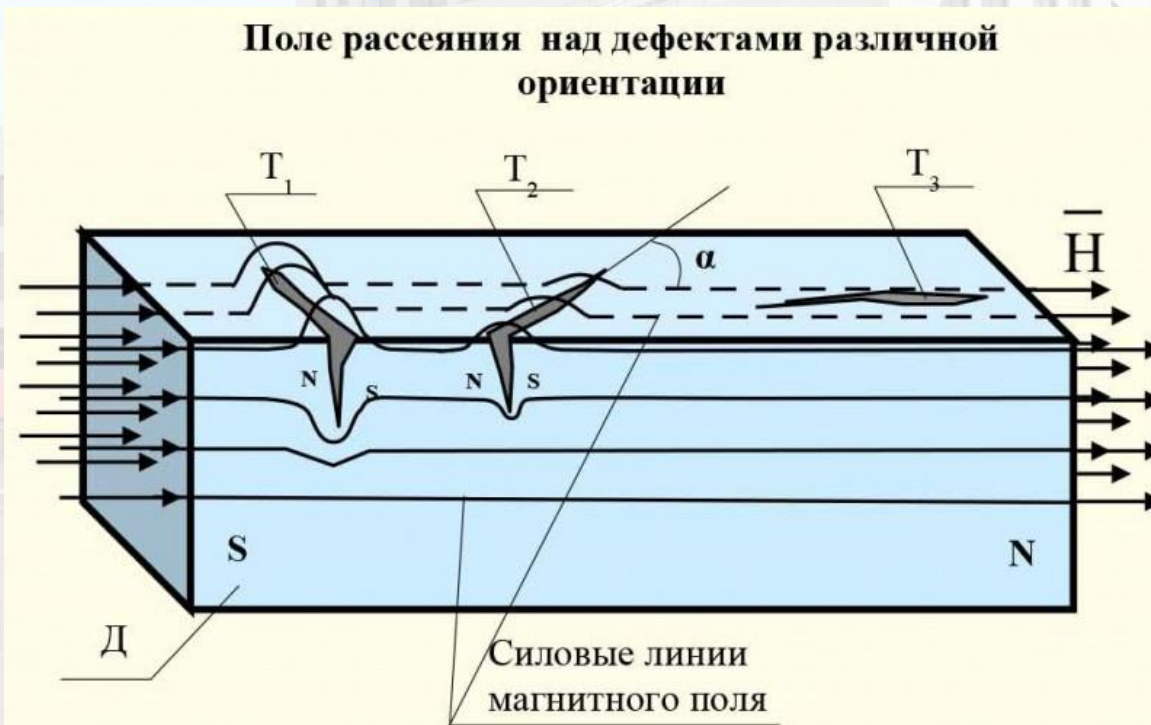


*Поле с низкой степенью неоднородности!!!*

# Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Магнитное поле рассеяния над дефектом



Поле рассеяния дефекта максимально, если трещина расположена перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

Если угол  $\alpha$  между силовыми линиями и трещиной меньше  $30^\circ$  (трещина  $T_2$ ), то поле дефекта может быть недостаточным для выявления дефекта, а при  $\alpha < 10^\circ$  (трещина 3) - дефекты не выявляются, так как поле дефекта практически отсутствует.



# Магнитный контроль

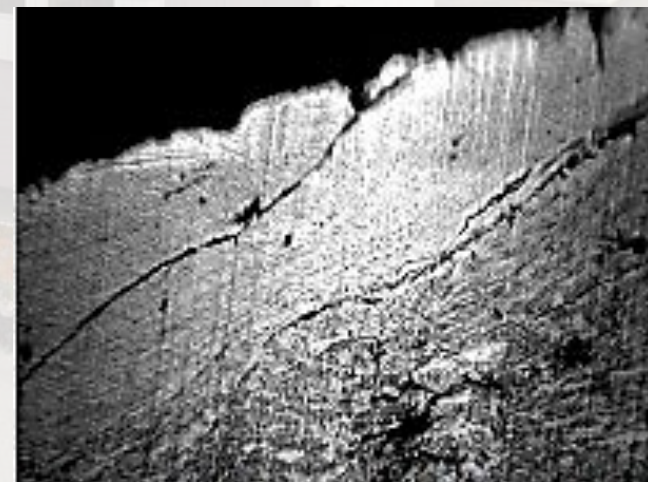
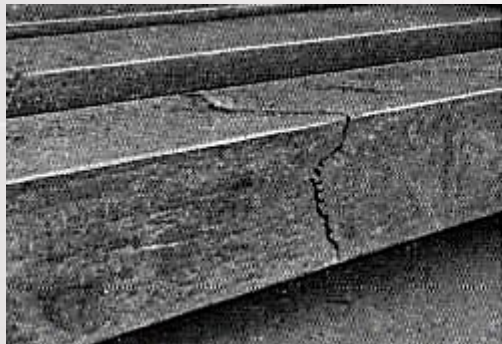
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Основные виды дефектов:

- Поверхностные трещины





# Магнитный контроль

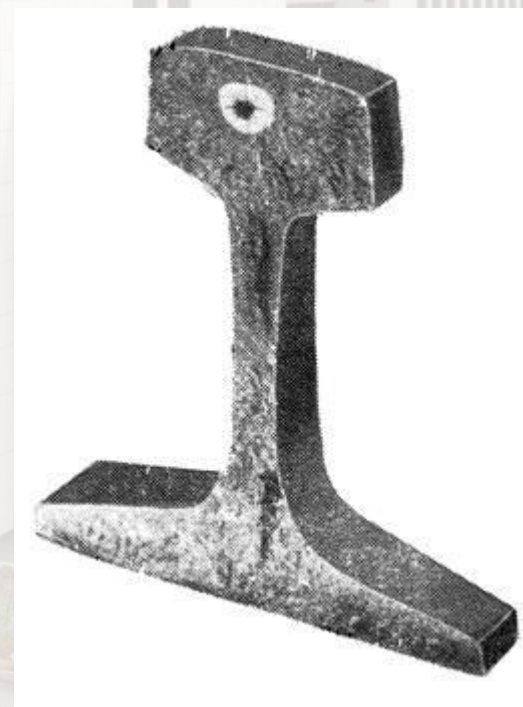
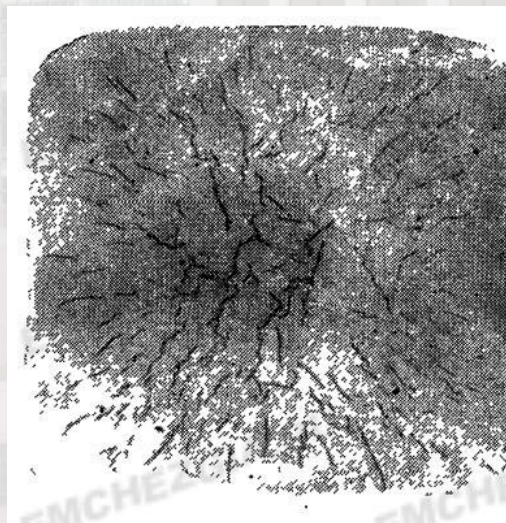
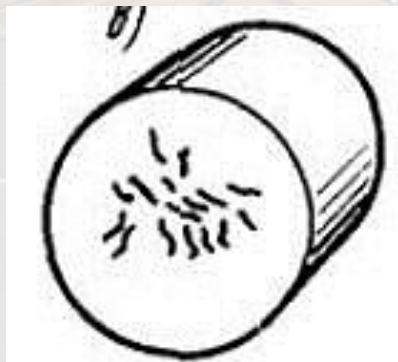
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Основные виды дефектов:

- Флокены



# Магнитный контроль

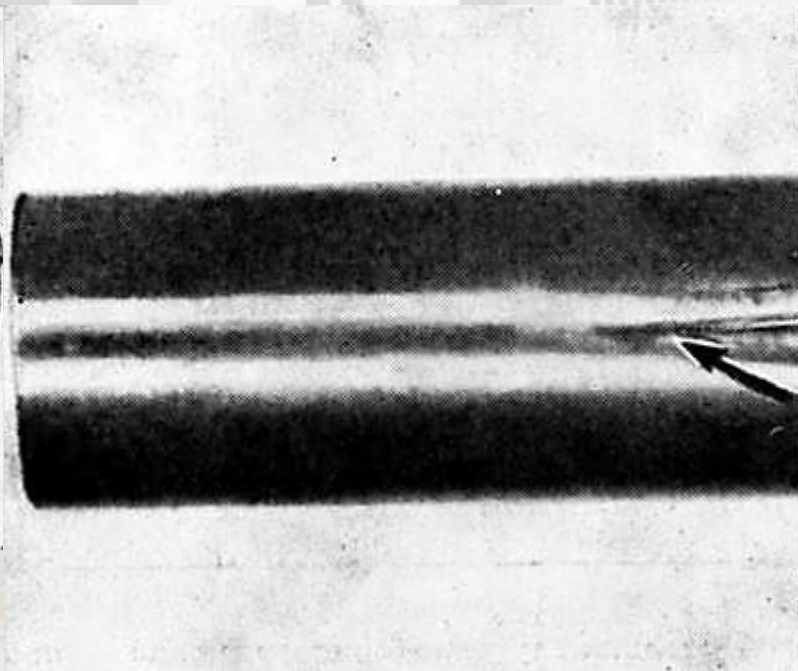
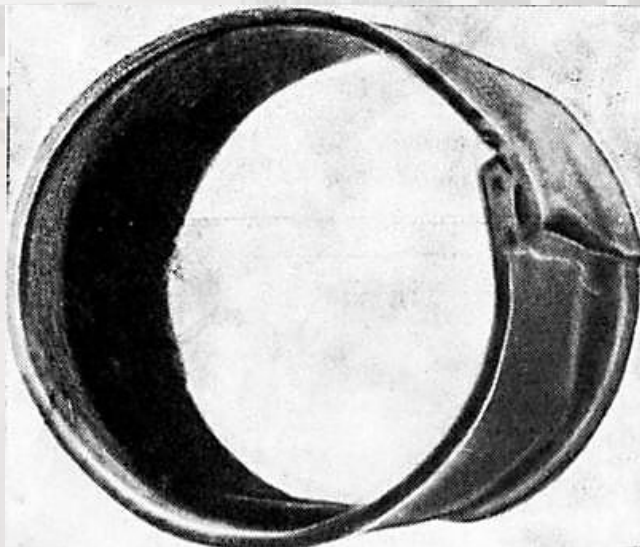
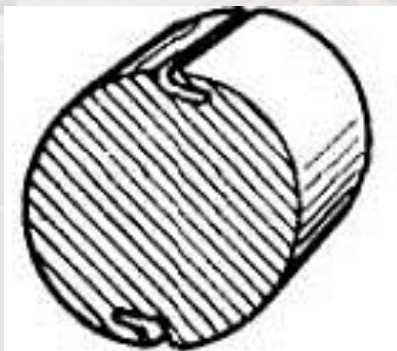
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Основные виды дефектов:

- Закаты





# Магнитный контроль

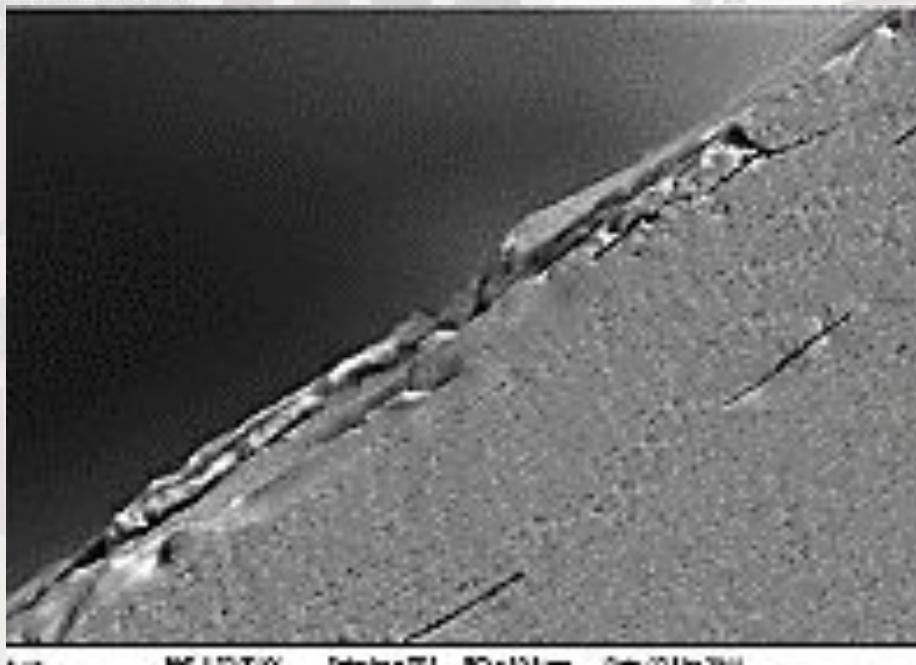
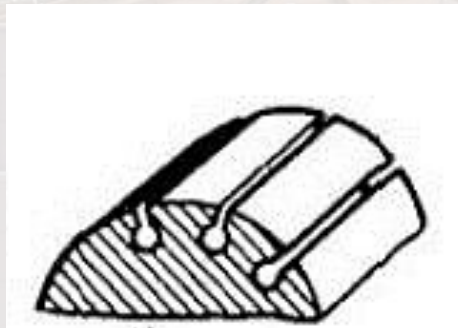
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Основные виды дефектов:

- Волосовины



# Магнитный контроль

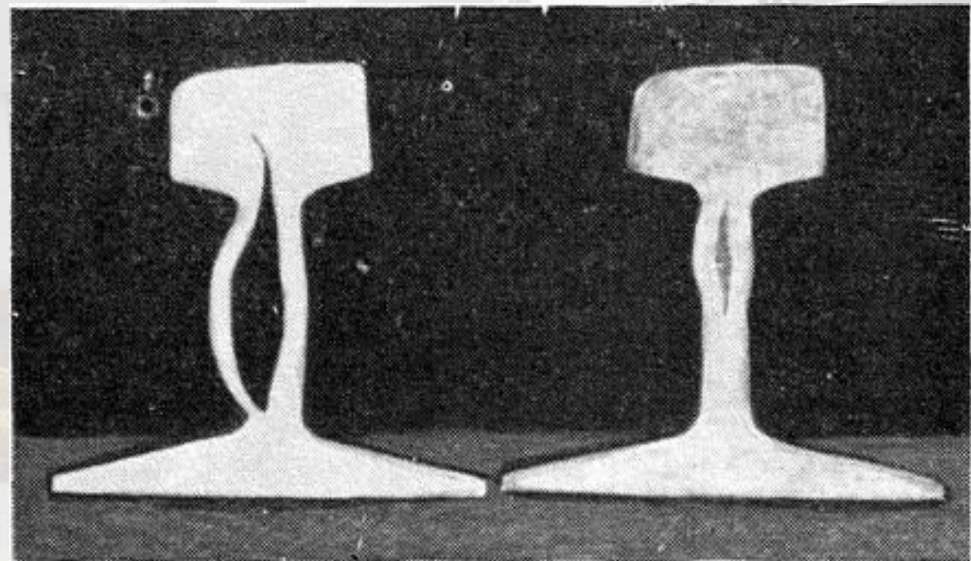
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

### Основные виды дефектов:

- Расслоения





# Магнитный контроль

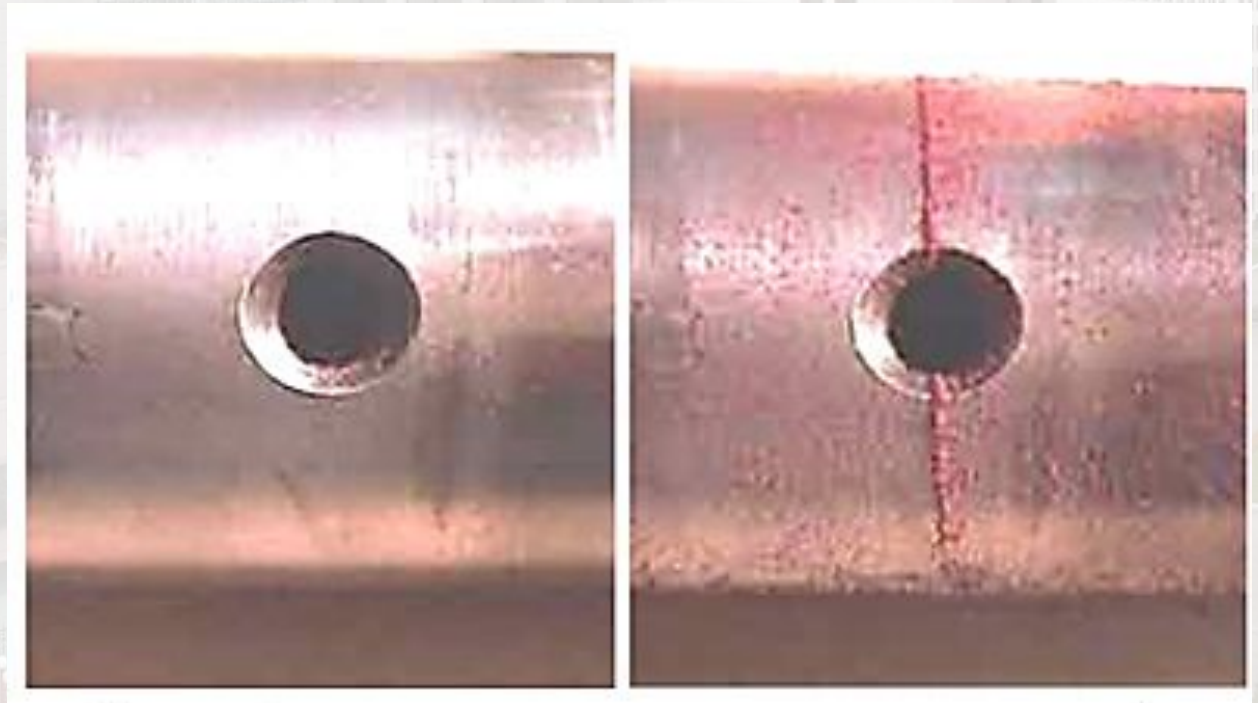
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Виды МПК:

- «Сухой»
- «Мокрый»
- «Флуоресцентный»





# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Виды МПК:

- «Сухой»
- «Мокрый»
- «Флуоресцентный»



# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

#### Виды МПК:

- «Сухой»
- «Мокрый»
- «Флуоресцентный»

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.





# Магнитный контроль

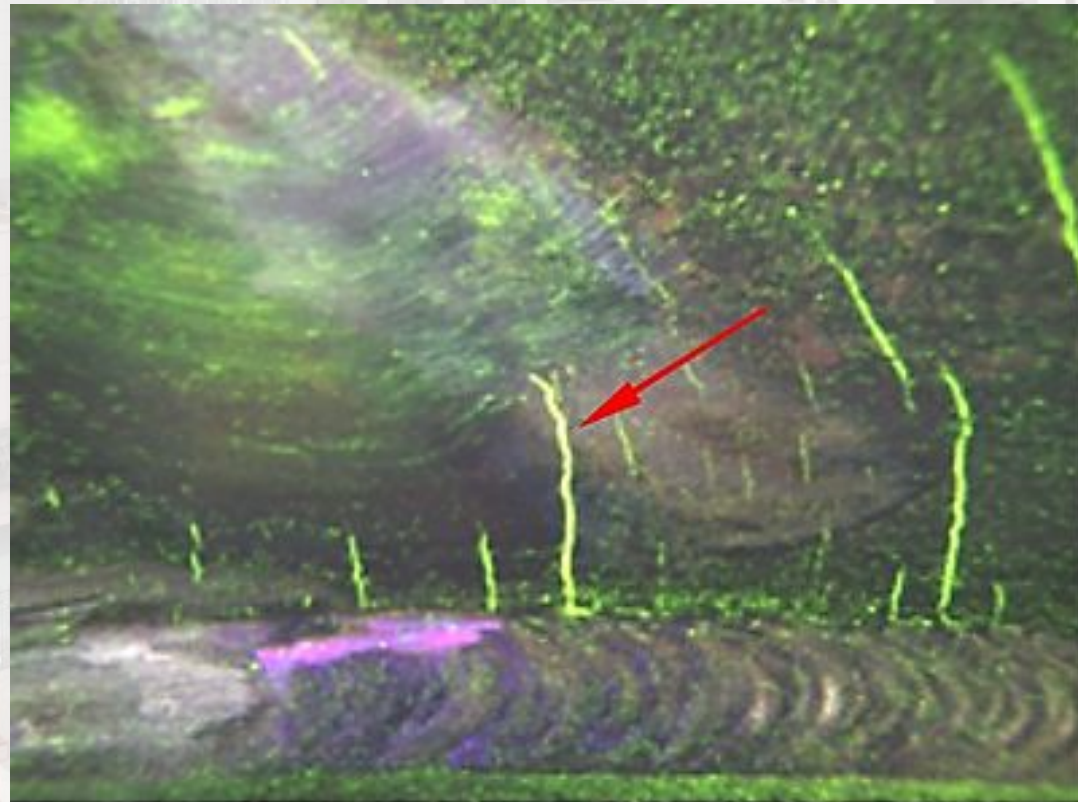
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Виды МПК:

- «Сухой»
- «Мокрый»
- «Флуоресцентный»



# Магнитный контроль

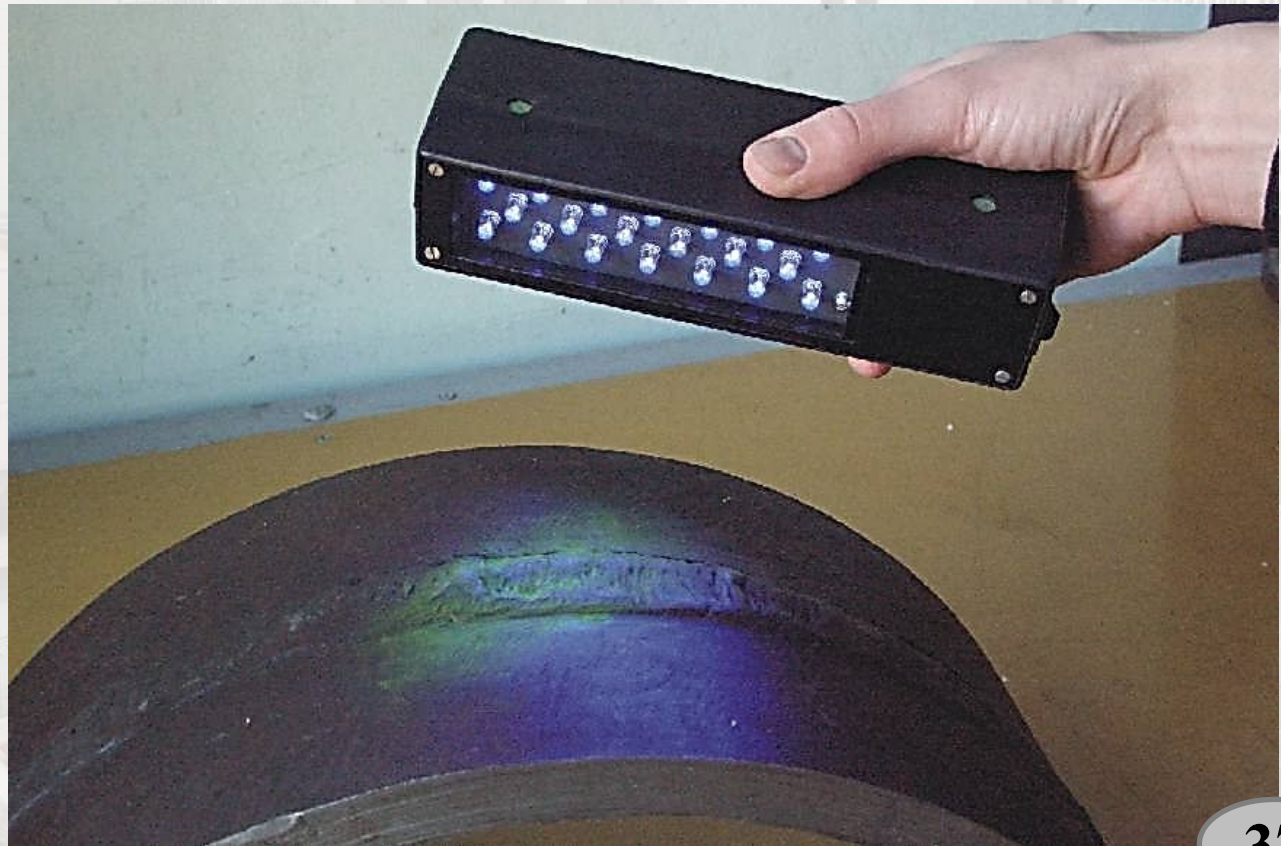
## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Виды МПК:

- «Сухой»
- «Мокрый»
- «Флуоресцентный»





# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

основан на притяжении магнитных частиц силами магнитных полей рассеяния, которые возникают над дефектами в намагниченных объектах.

#### Виды МПК:

- «Сухой»
- «Мокрый»
- «Флуоресцентный»





# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

1) Подготовка детали к контролю

- очистка детали до металла

Пор



# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

1) Подготовка детали к контролю

- очистка детали до металла

### Порядок проведения МПК





# Магнитный контроль

## Классификация МНК

### 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

#### 1) Подготовка детали к контролю

- очистка детали до металла

- машинная мойка

- сушка детали

### Порядок проведения МПК



# Магнитный контроль

## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

2) Намагничивание

Циркуляционное

Полюсное



# Магнитный контроль

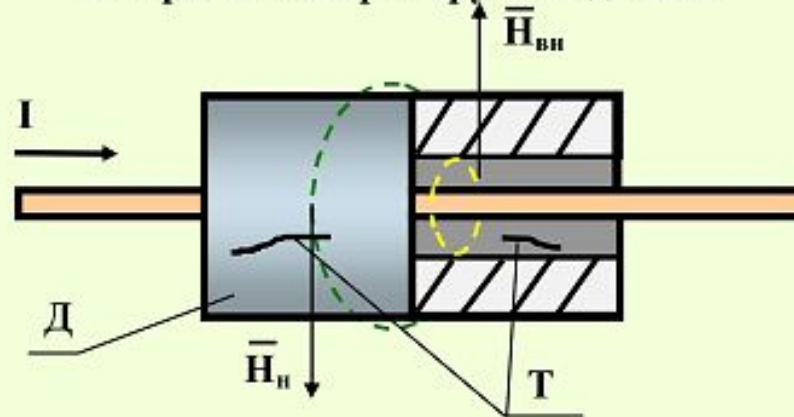
## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Циркуляционное намагничивание

## Порядок проведения МПК

основная часть силовых линий магнитной индукции замыкается внутри детали.

Пропускание тока по проводнику, помещенному в отверстие контролируемой детали



Выявляются продольные трещины на внутренней и на наружной поверхности детали, ориентированные параллельно проводнику с током

**Условные обозначения:** I – проводник с током;  $I_{\text{И}}$  – ток индукции; Д – деталь; Т – трещина; К – электроконтакты;  $\Phi$  – магнитный поток; Э – электромагнит; H – напряжённость магнитного поля;  $H_{\text{вн}}$  – вектор напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности детали;  $H_{\text{н}}$  – вектор напряжённости магнитного поля на наружной поверхности детали; - - - ► - - - силовые линии магнитного поля

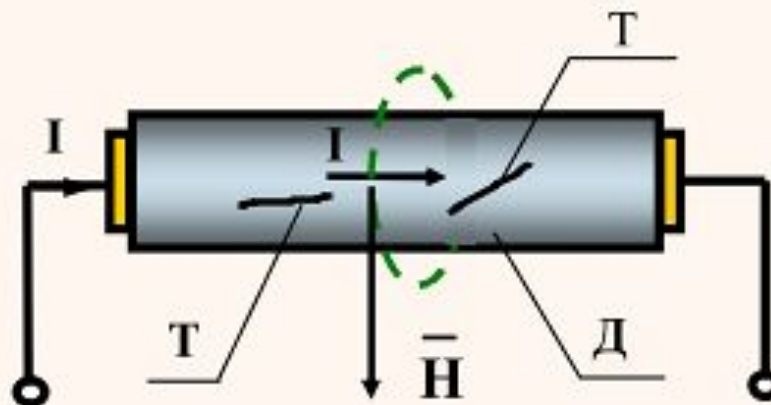
# Магнитный контроль

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

Циркуляционное намагничивание

Пропускание тока по всей длине контролируемой детали



Выявляются продольные и наклонные трещины на поверхности детали

**Условные обозначения:** I – проводник с током;  $I_{\text{И}}$  – ток индукции; Д – деталь; Т – трещина; К – электроконтакты;  $\Phi$  – магнитный поток; Э – электромагнит; H – напряжённость магнитного поля;  $H_{\text{ВН}}$  – вектор напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности детали;  $H_{\text{Н}}$  – вектор напряжённости магнитного поля на наружной поверхности детали; - - - ► - - - силовые линии магнитного поля

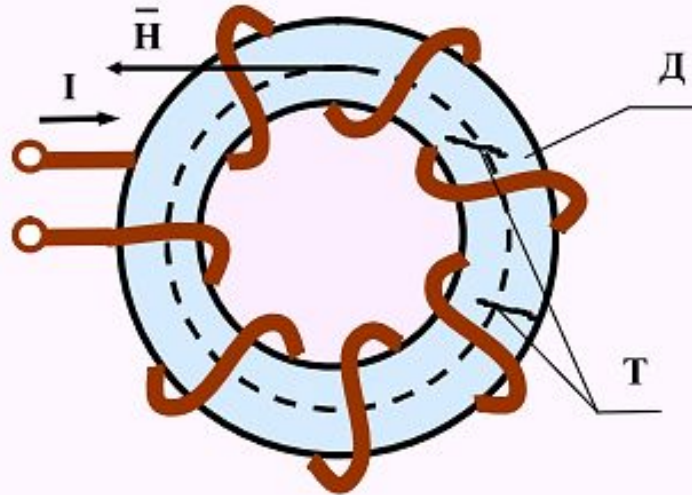
# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Циркуляционное намагничивание

#### Пропускание тока по тороидальной обмотке



Выявляются трещины на внутренней и на наружной поверхности детали, ориентированные параллельно проводнику с током

**Условные обозначения:** I – проводник с током;  $I_H$  – ток индукции; Д – деталь; Т – трещина; К – электроконтакты;  $\Phi$  – магнитный поток; Э – электромагнит; H – напряжённость магнитного поля;  $H_{вн}$  – вектор напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности детали;  $H_H$  – вектор напряжённости магнитного поля на наружной поверхности детали; - - - ► - - - силовые линии магнитного поля



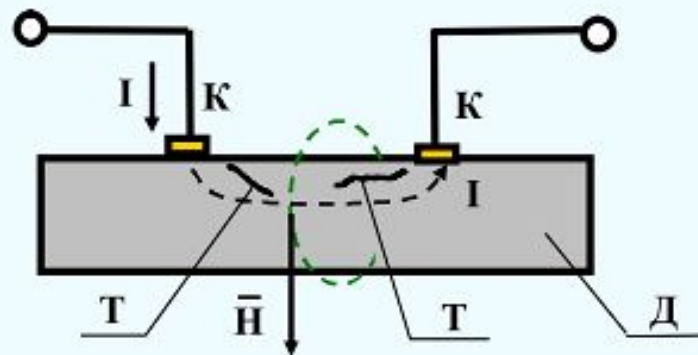
# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Циркуляционное намагничивание

Пропускание тока по части контролируемой детали



Выявляются продольные трещины на поверхности детали между электроконтактами

**Условные обозначения:**  $I$  – проводник с током;  $I_{\text{и}}$  – ток индукции;  $Д$  – деталь;  $Т$  – трещина;  $К$  – электроконтакты;  $\Phi$  – магнитный поток;  $\mathcal{E}$  – электромагнит;  $H$  – напряжённость магнитного поля;  $H_{\text{вн}}$  – вектор напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности детали;  $H_{\text{н}}$  – вектор напряжённости магнитного поля на наружной поверхности детали;  $--- \blacktriangleright ---$  силовые линии магнитного поля

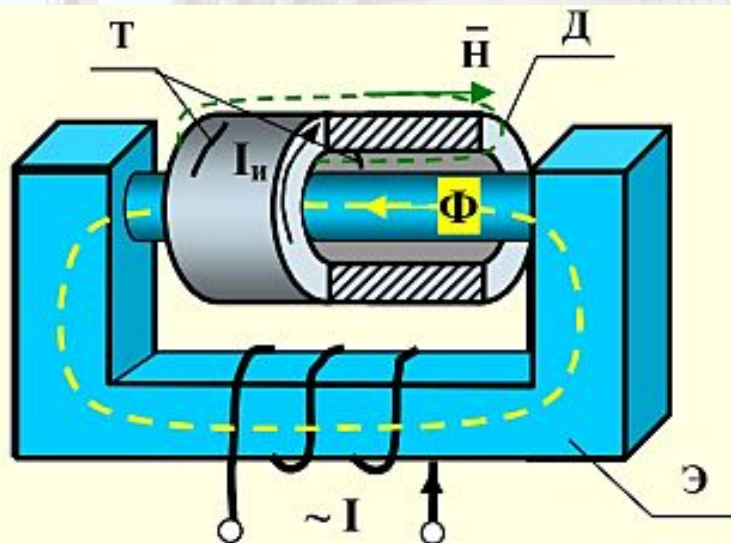


# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Циркуляционное намагничивание



#### Возбуждение индукционного тока

Переменный магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый электромагнитом  $\mathcal{E}$ , индуцирует в детали ток  $I_{и}$ , который создает магнитное поле напряженностью  $H$ .

Такое намагничивание обеспечивает выявление поперечных трещин как на наружной, так и на внутренней поверхности детали в виде полого цилиндра или кольца

**Условные обозначения:**  $I$  – проводник с током;  $I_{и}$  – ток индукции;  $Д$  – деталь;  $Т$  – трещина;  $К$  – электроконтакты;  $\Phi$  – магнитный поток;  $\mathcal{E}$  – электромагнит;  $H$  – напряжённость магнитного поля;  $H_{вн}$  – вектор напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности детали;  $H_{н}$  – вектор напряжённости магнитного поля на наружной поверхности детали;  $--- \blacktriangleright ---$  – силовые линии магнитного поля

# Магнитный контроль

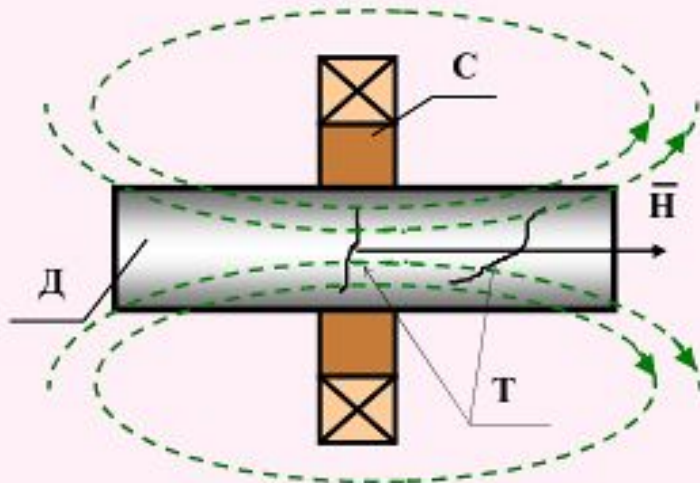
## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Полюсное намагничивание

## Порядок проведения МПК


силовые линии магнитной индукции проходят по части намагниченной детали, пересекают границу «металл – воздух», образуя на поверхности детали полюса.

Соленоидом



Намагничивается часть детали, входящая в отверстие соленоида, и с обеих сторон от него в пределах от 20 до 200 мм, в зависимости от типа дефектоскопа и материала детали. Выявляются поперечные и наклонные трещины



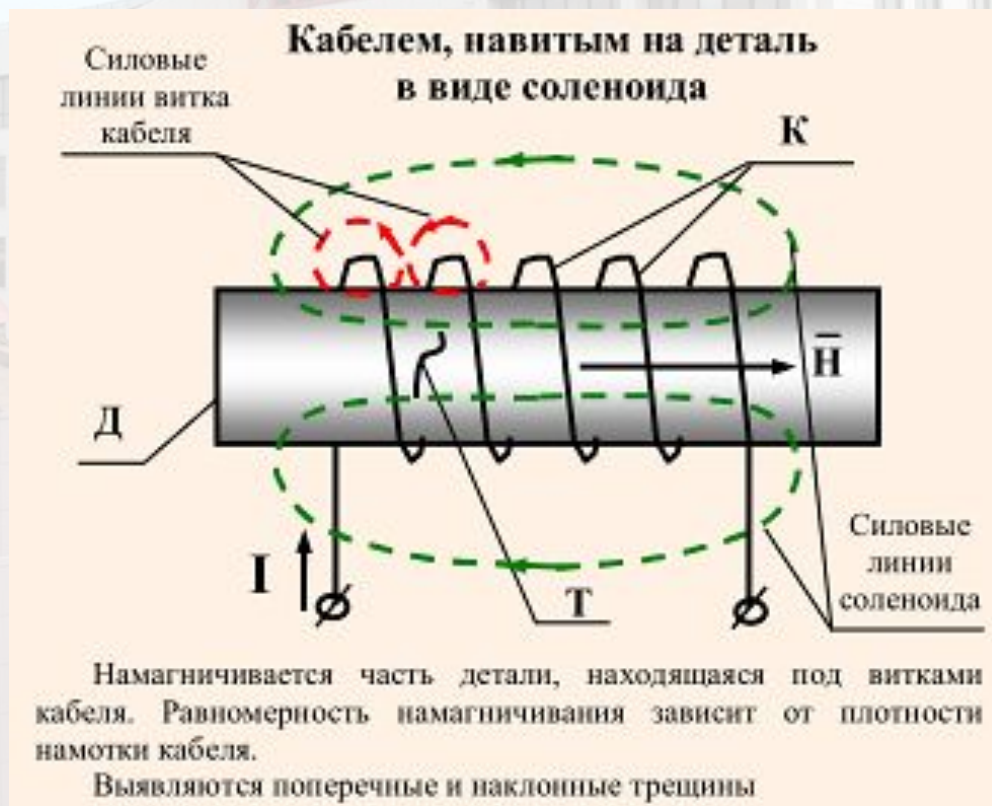
**Условные обозначения:** Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство; К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит; Н – вектор напряжённости магнитного поля; I – электрический ток;  – силовые линии магнитного поля

# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Полюсное намагничивание



**Условные обозначения:** Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство; К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит;  $\vec{H}$  – вектор напряжённости магнитного поля; I – электрический ток;  $\text{---} \blacktriangleright \text{---}$  силовые линии магнитного поля



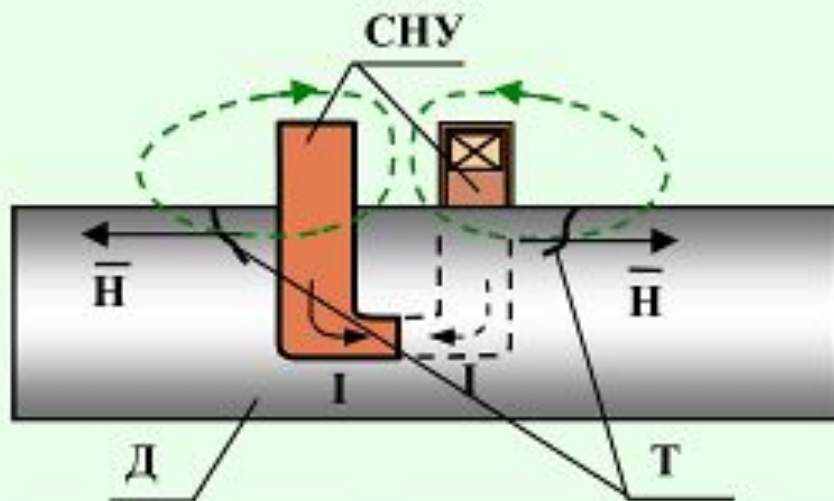
# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Полюсное намагничивание

Седлообразным намагничивающим устройством



Намагничиваются части детали, находящиеся под дугами и с наружных сторон от них. Между дугами находится зона, в которой дефекты не выявляются. Нижняя часть детали не намагничивается.

Выявляются поперечные и наклонные трещины



**Условные обозначения:** Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство; К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит;  $\vec{H}$  – вектор напряжённости магнитного поля; I – электрический ток;  $\dashrightarrow$  – силовые линии магнитного поля



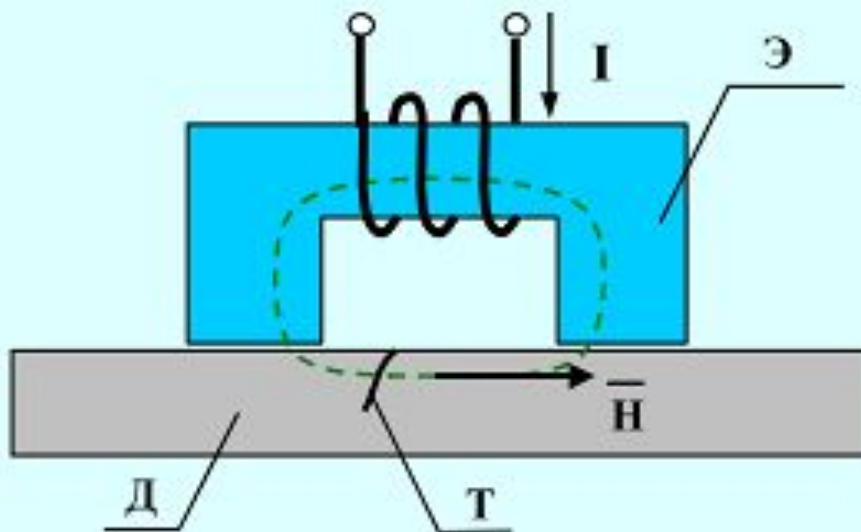
# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК


#### Полюсное намагничивание

#### Переносным электромагнитом



Намагничивается часть детали под полюсами и между ними.  
Выявляются трещины, расположенные между полюсами магнита перпендикулярно к вектору напряженности магнитного поля



**Условные обозначения:** Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство;  
К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит; Н – вектор напряжённости магнитного поля;  
I – электрический ток;  – силовые линии магнитного поля

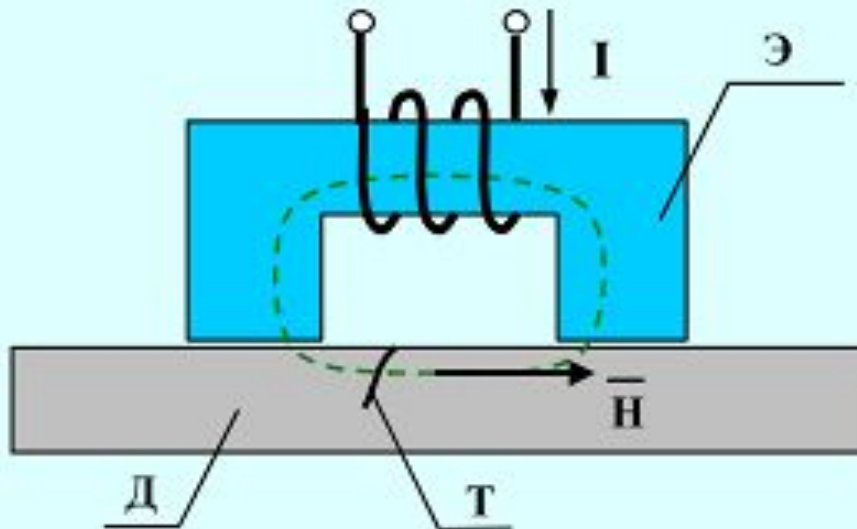
# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Полюсное намагничивание

#### Переносным электромагнитом



Намагничивается часть детали под полюсами и между ними.  
Выявляются трещины, расположенные между полюсами магнита перпендикулярно к вектору напряженности магнитного поля



**Условные обозначения:** Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство;  
К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит; Н – вектор напряжённости магнитного поля;  
I – электрический ток; – силовые линии магнитного поля





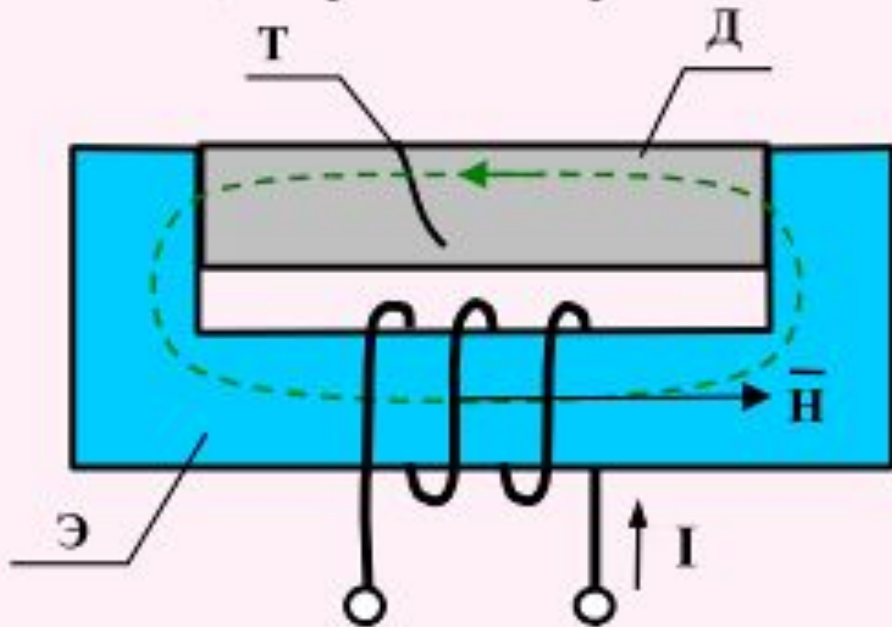
# Магнитный контроль

## 1) Магнитопорошковый метод (МПК)

### Порядок проведения МПК

#### Полюсное намагничивание

#### Стационарным электромагнитом



Намагничивается деталь по всей длине.  
Выявляются поперечные и наклонные трещины



**Условные обозначения:** Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство;  
К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит;  $\vec{H}$  – вектор напряжённости магнитного поля;  
I – электрический ток;  $\dashrightarrow$  – силовые линии магнитного поля

# Магнитный контроль

## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

3) Нанесение магнитного индикатора

Порядок проведения МПК





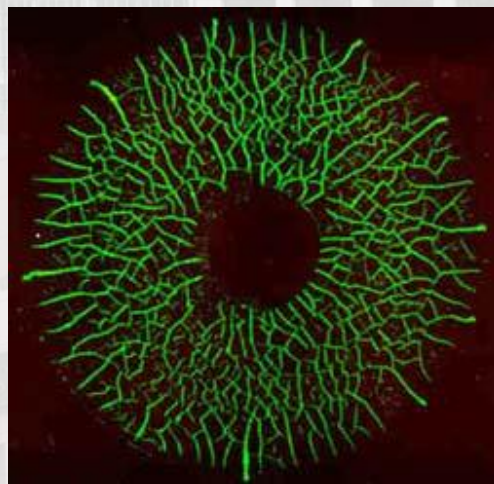
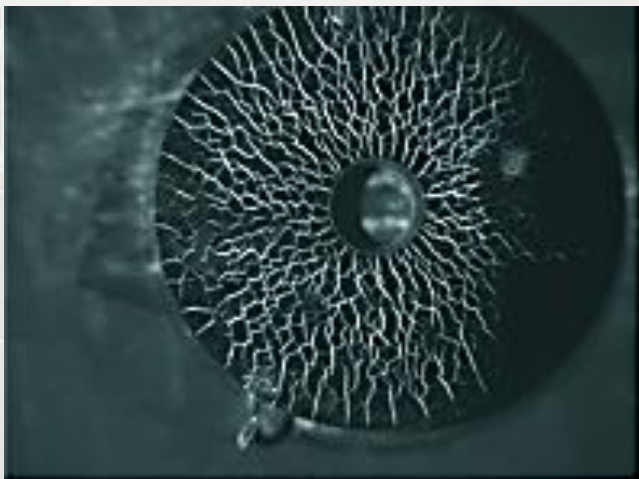
# Магнитный контроль

## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

3) Нанесение магнитного индикатора





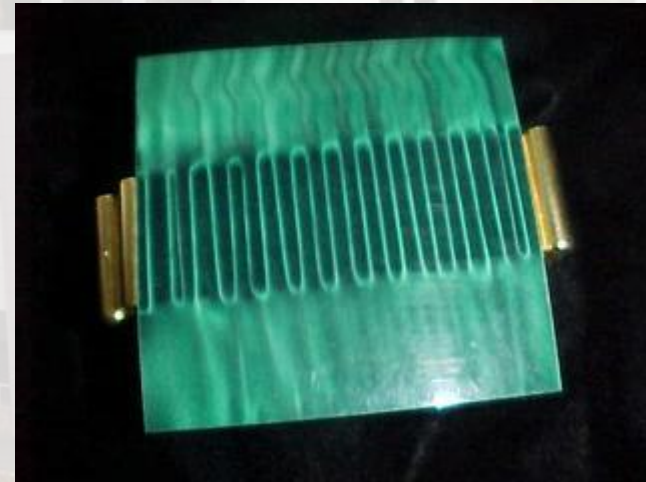
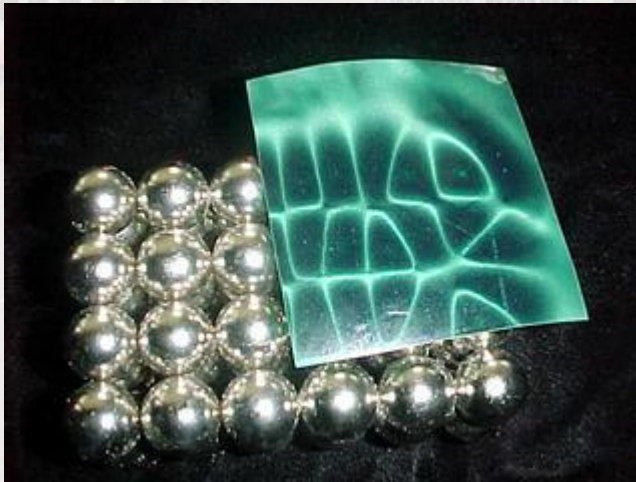
# Магнитный контроль

## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

3) Нанесение магнитного индикатора



# Магнитный контроль

## Классификация МНК

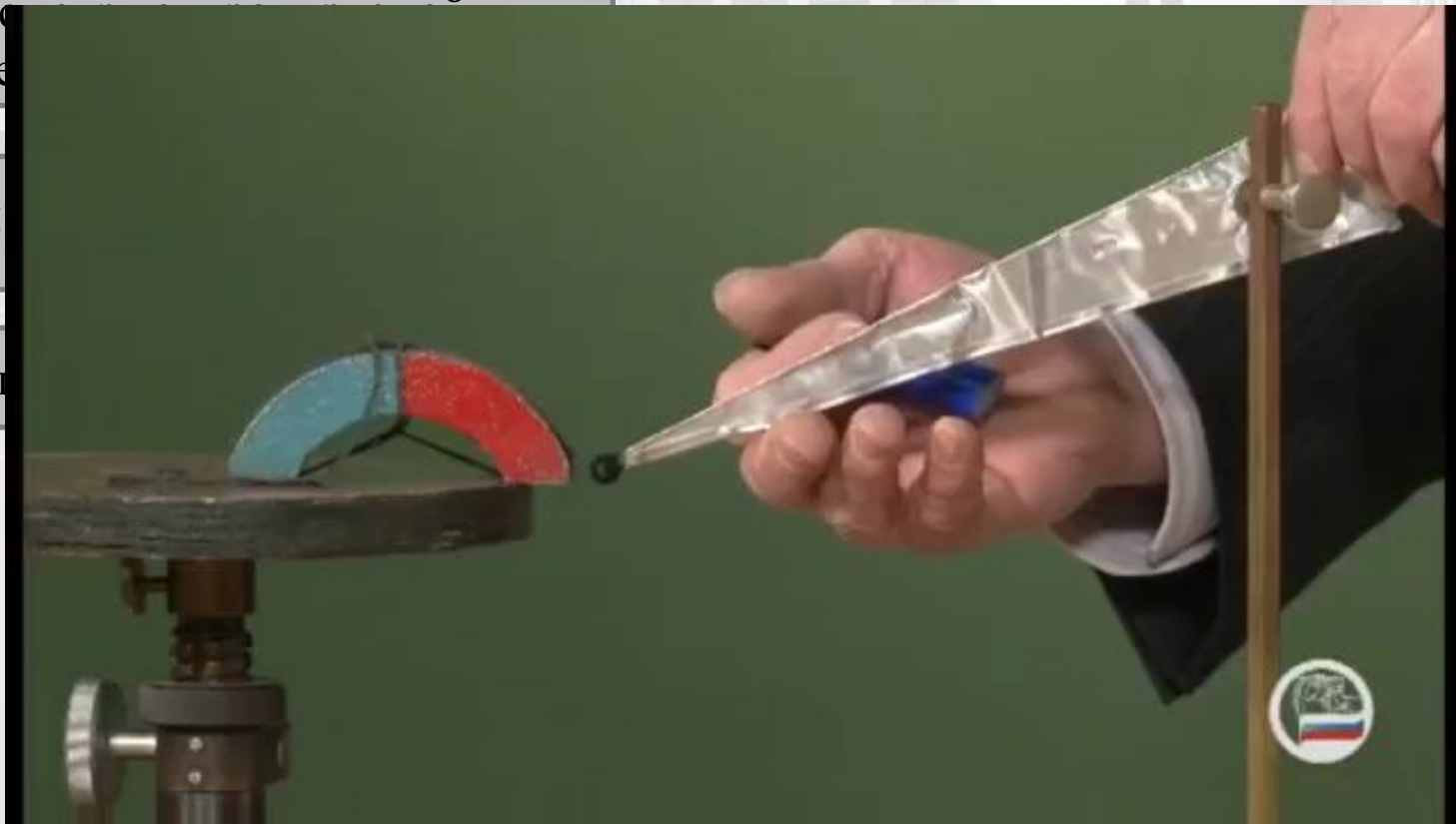
1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

4) Ос  
пове

5

- нагреван



# Магнитный контроль

## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

4) Осмотр контролируемой поверхности и отбраковка

5) Размагничивание:

- нагревание ОД до точки Кюри (для железа 768 °С);

- однократное приложение встречного поля «большой силы»;

- воздействие знакопеременным полем с уменьшением его амплитуды по времени.



# Магнитный контроль

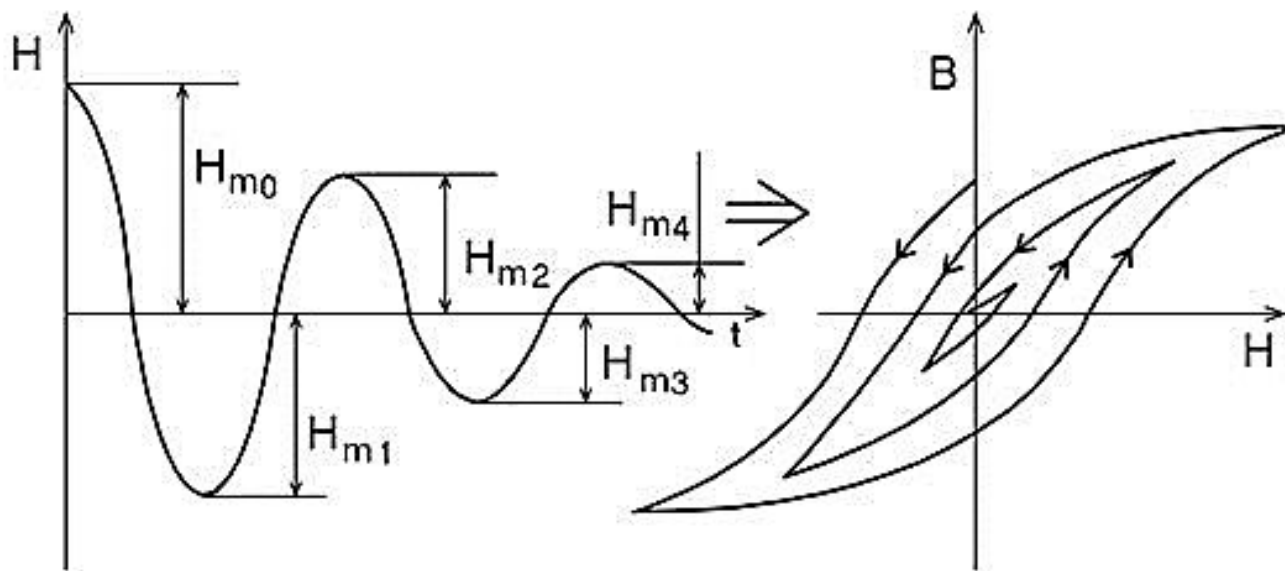
## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

5) Размагничивание:

- воздействие знакопеременным полем с уменьшением его амплитуды по времени.



$$H_{m0} > H_{m1} > H_{m2} > \dots > 0$$

# Магнитный контроль

## Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

б) Контроль размагниченности

Порядок проведения МПК

Миллитесламетр ТП2-2У-03

