



Техническая диагностика подвижного состава

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

Неразрушающий контроль

Магнитный контроль

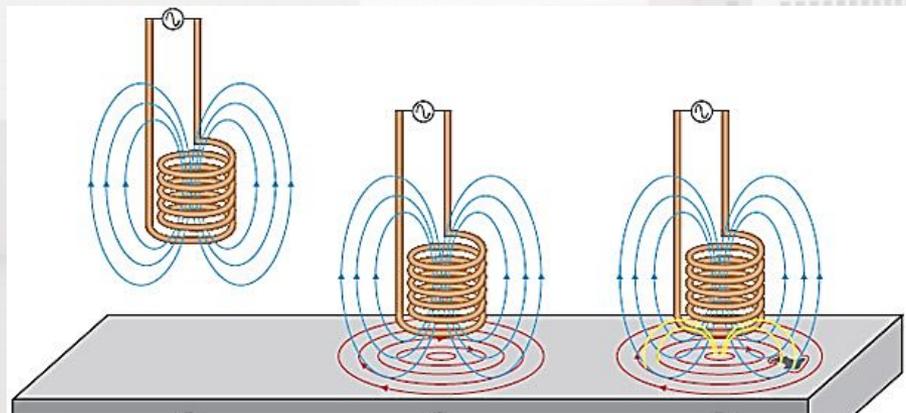
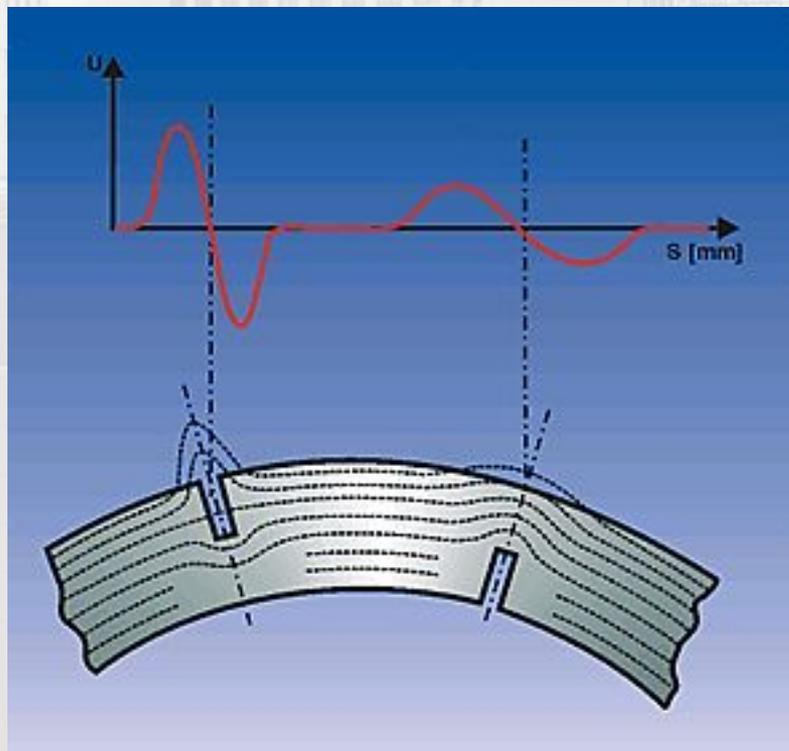
основан на регистрации магнитных полей рассеяния дефектов или на определении магнитных свойств контролируемого изделия, *но только у материалов, способных намагничиваться.*



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

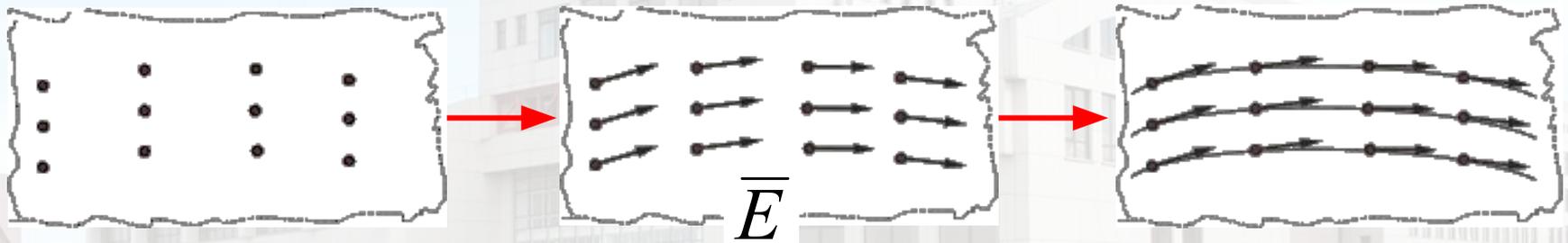
Величина характеризующая тело (масса, заряд, скорость и т.д.)

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»



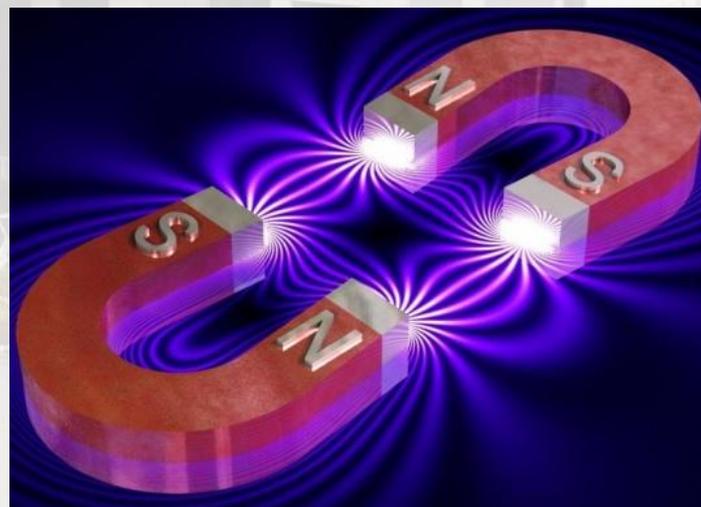
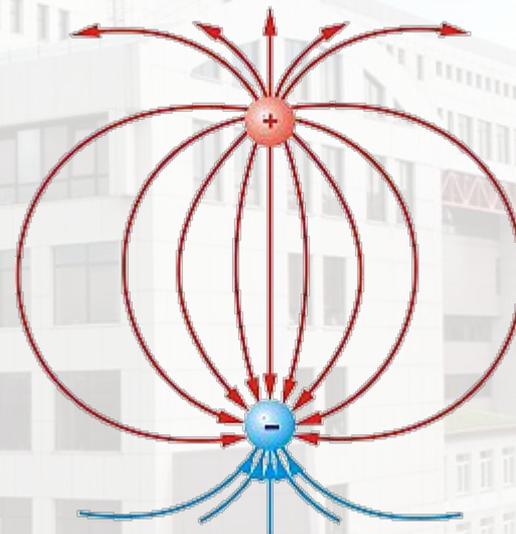
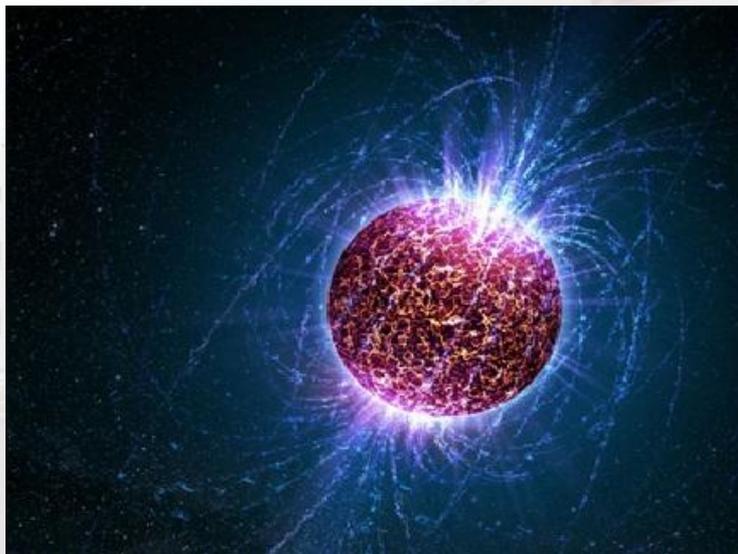
- в любой точке *силовой линии* направление вектора напряженности совпадает с направлением касательной к ней в этой же точке

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

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

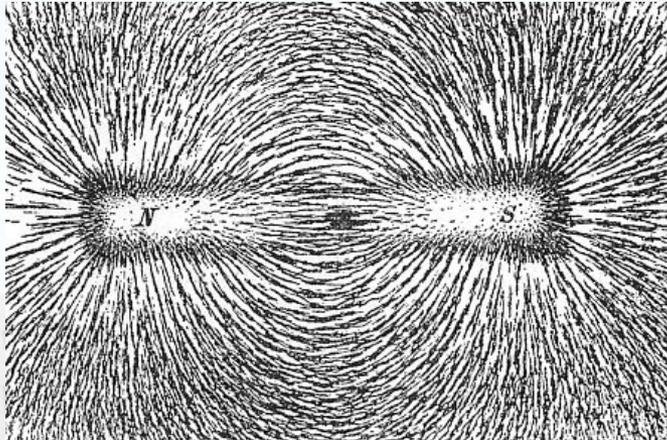
Магнитный контроль

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;

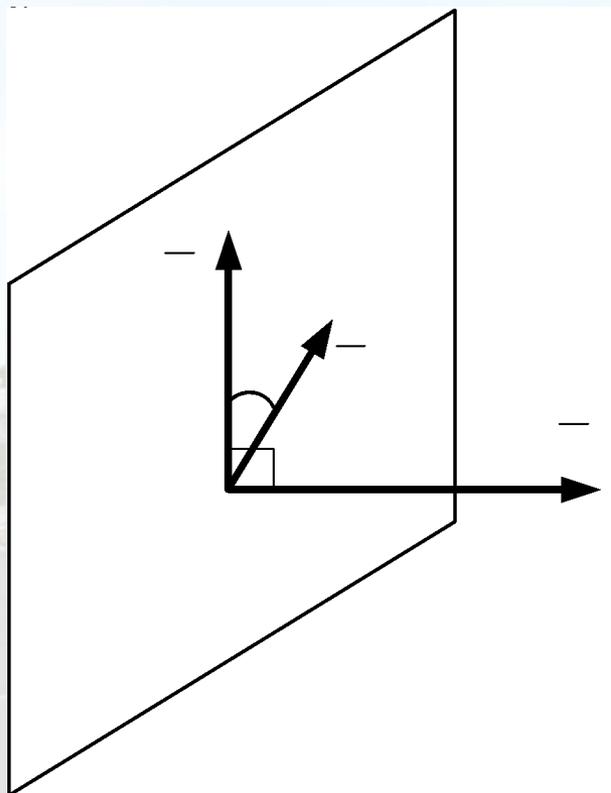
α – угол между направлением векторов скорости v и напряженности H м.п. в той точке, где тело находится;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, [Гн/м]

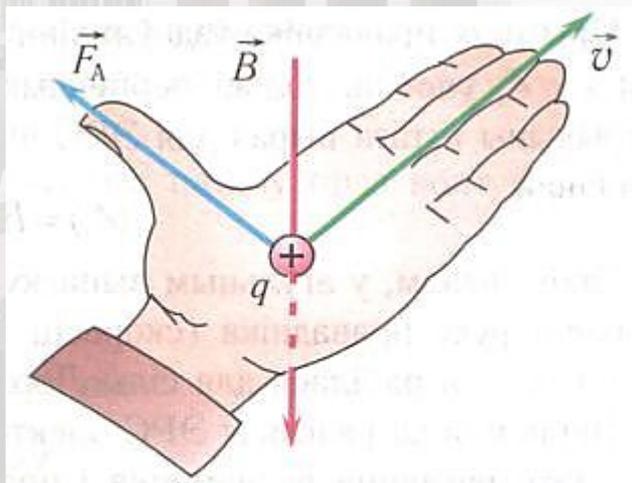
Магнитный контроль

«Напряженность м.п.»

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



Правило левой руки



Магнитный контроль

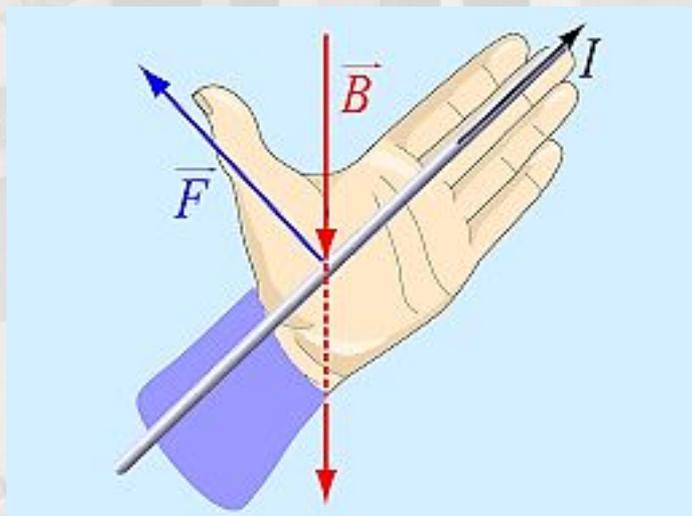
«Напряженность м.п.»

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

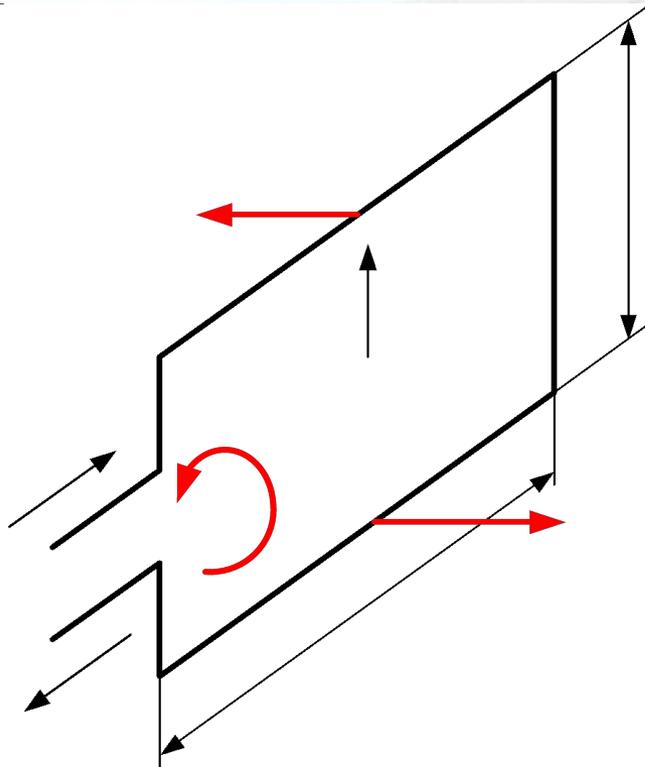
силовая характеристика м.п., векторная величина, которая служит для количественного описания поля [А/м].

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

Магнитный момент контура

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

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



Магнитный контроль

Магнитная индукция

$$B = \mu_0 \cdot H$$

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, [Гн/м]

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

Магнитный вращательный момент сил контура

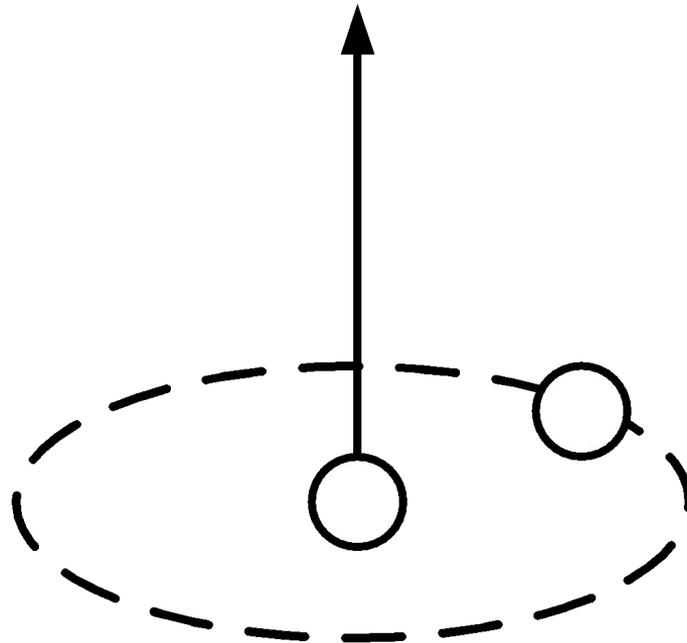
$$M = P_T \cdot \bar{B}$$

Магнитный контроль

**Магнетизм и
намагничивание**

Носители магнетизма в металле:

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

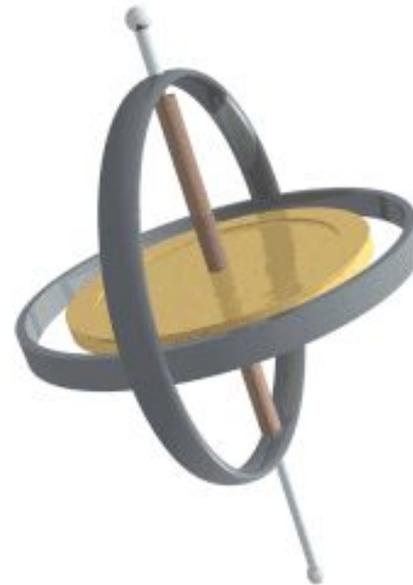
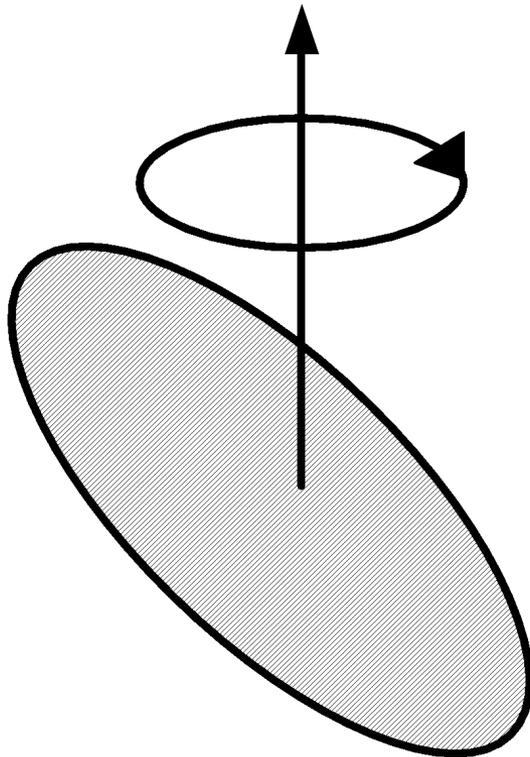


Магнитный контроль

Магнетизм и
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

2) Прецессионное движение (качение) электронных орбит

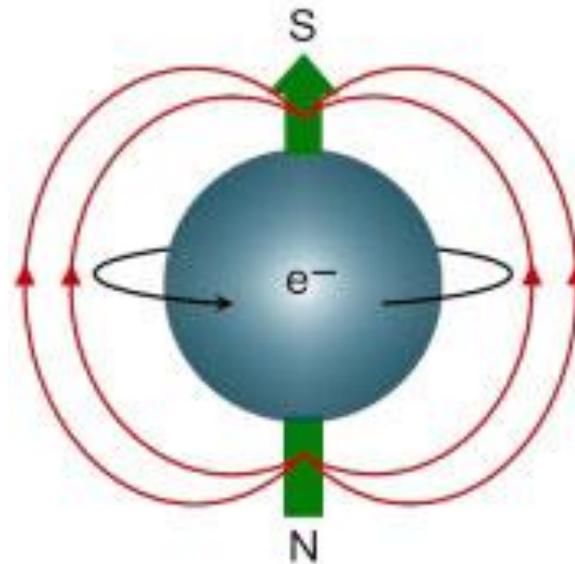
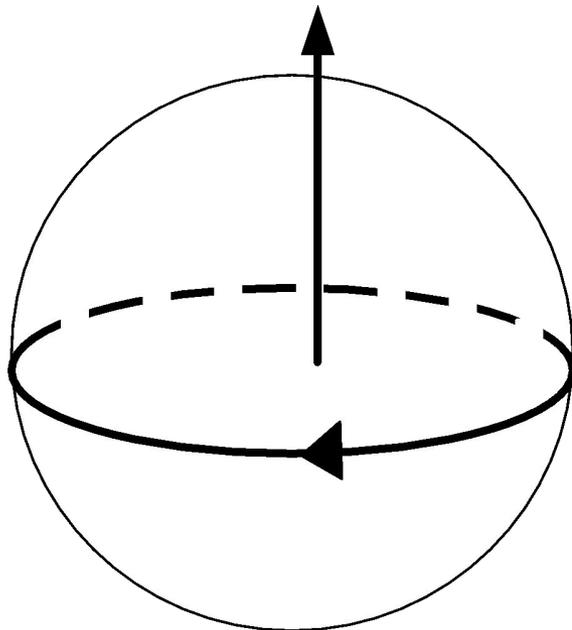


Магнитный контроль

Магнетизм и
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

3) Вращение электронов вокруг своей оси (спин электрона)



Магнитный контроль

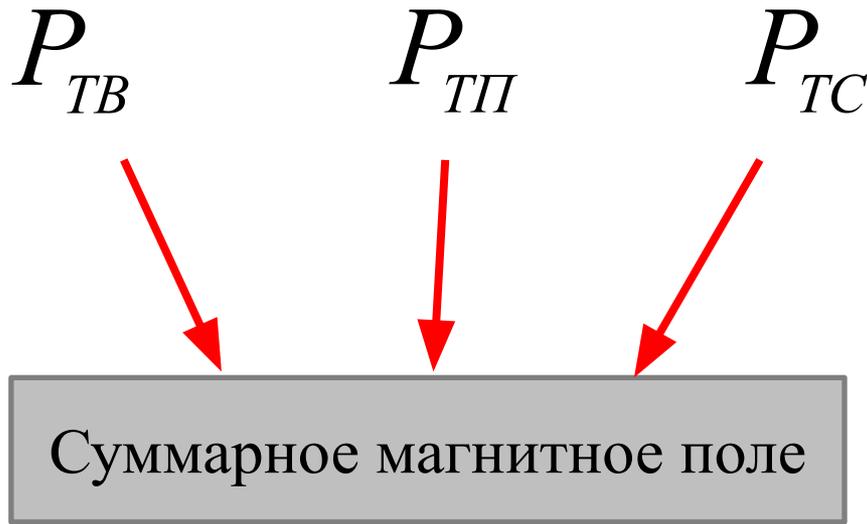
Магнетизм и
намагничивание

Носители магнетизма в металле:

$P_{ТВ}$

$P_{ТП}$

$P_{ТС}$



Суммарное магнитное поле

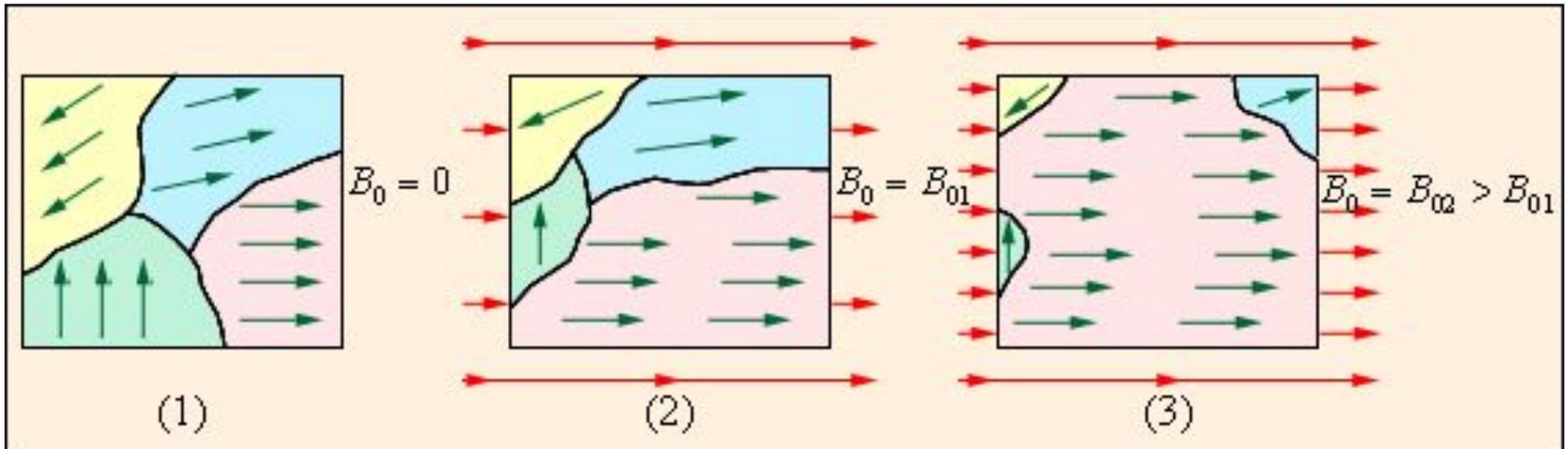
Магнитный контроль

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.

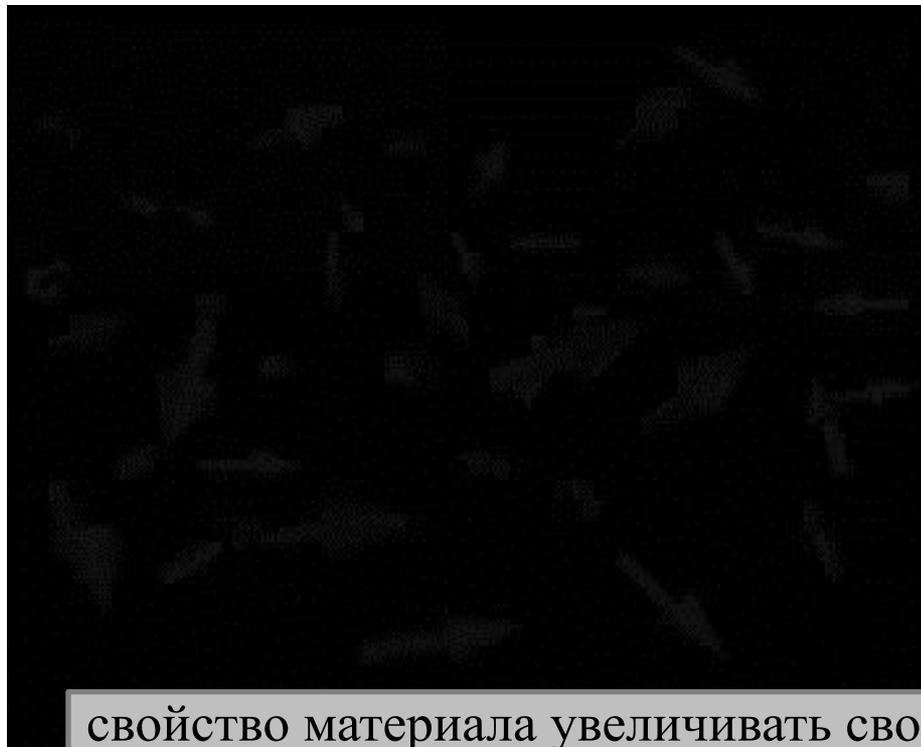


Магнитный контроль

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

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

χ - 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

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

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

$$\mu = 1$$

$$\mu \gg 1$$

Ферромагнетики
способны
ПОЛЯ.



ГВА К

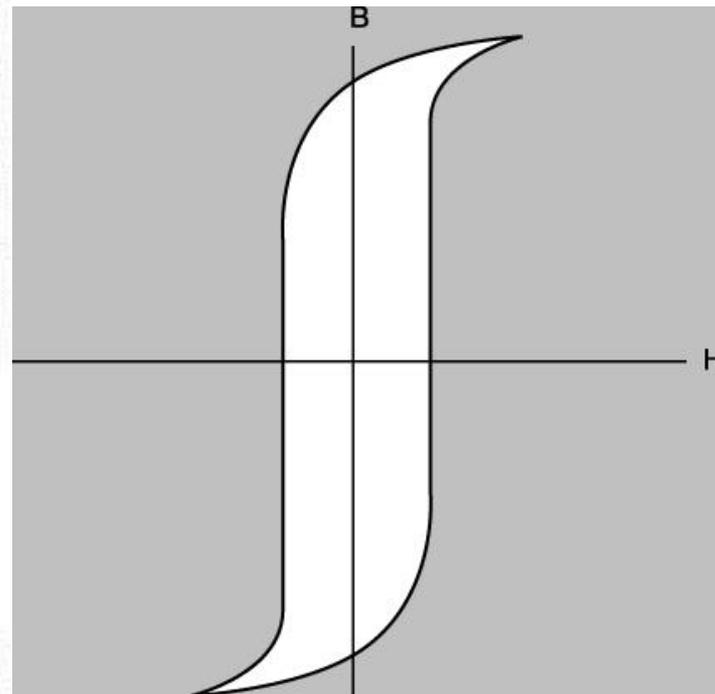
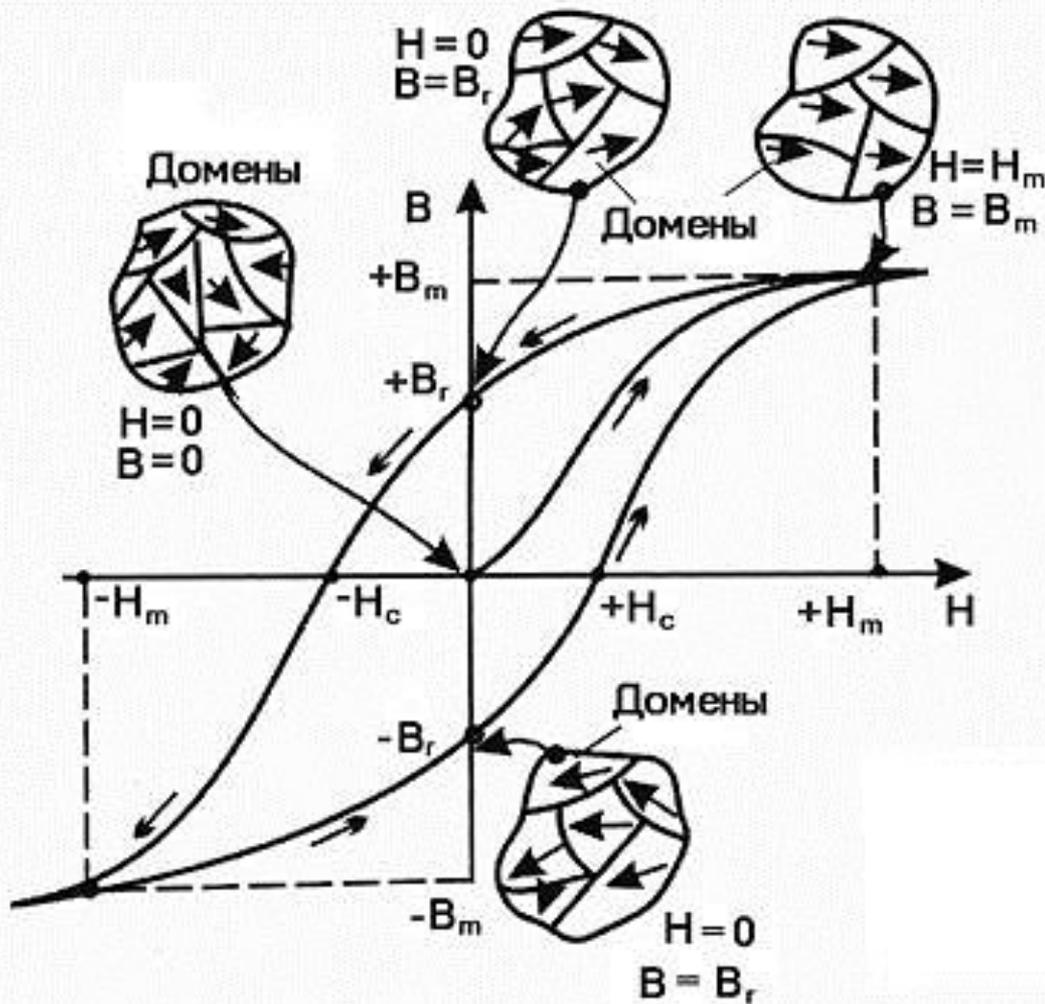
раз
ойств

О

Магнитный контроль

Ферромагнетики

Намагниченность



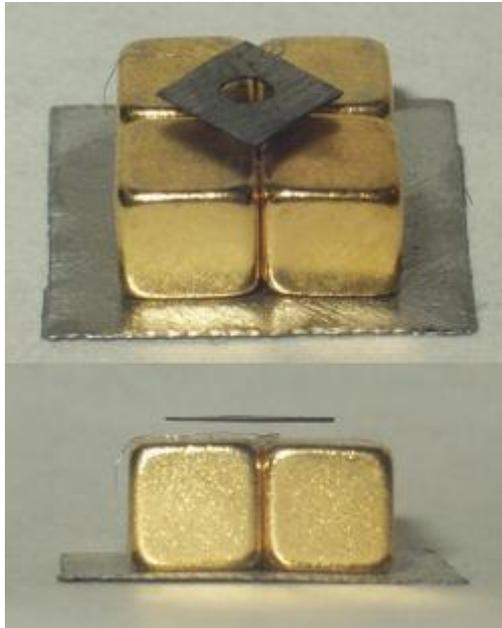
Магнитный контроль

Магнетизм и
намагничивание

Диамагнетики

Диамагнетики — вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля.

$$\mu < 1$$



Магнитный контроль

Магнетизм и
намагничивание

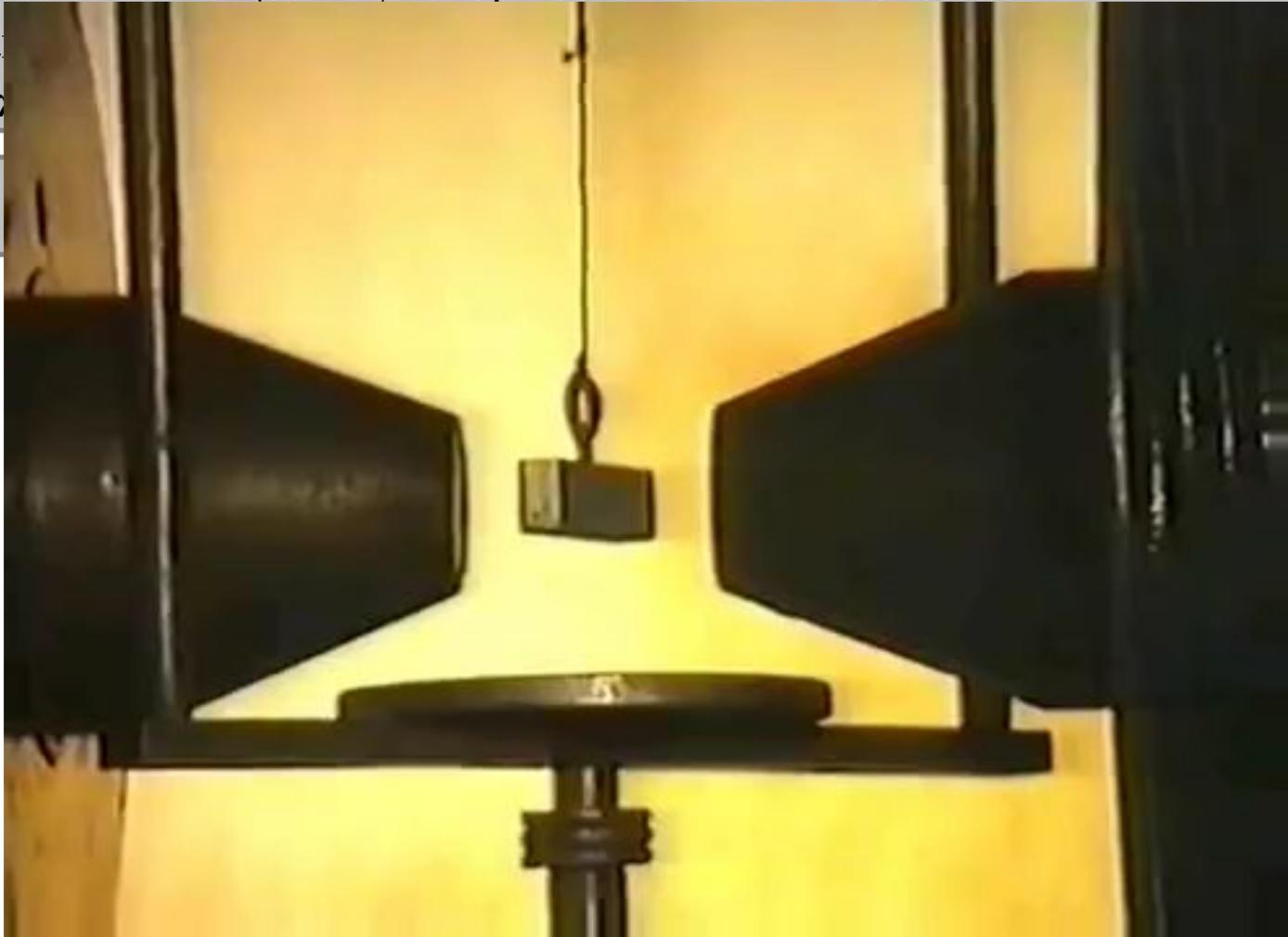
Парамагнетики

Парамагнетики — вещества, которые намагничиваются во

внешнем магнитном поле и
имеют положительную

намагниченность (Н) и

$$\mu \Rightarrow 1$$



Магнитный контроль

Магнетизм и
намагничивание

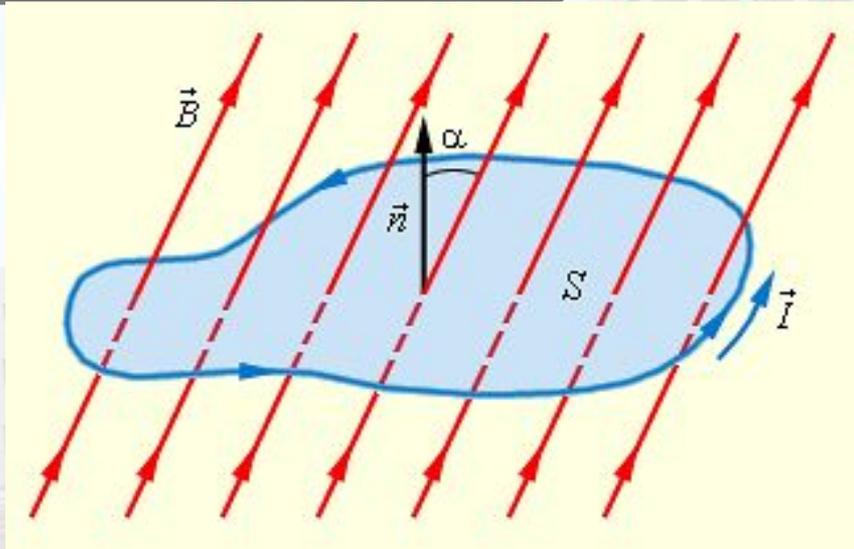
Носители магнетизма в металле:



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

Магнитный контроль

Магнетизм и намагничивание



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

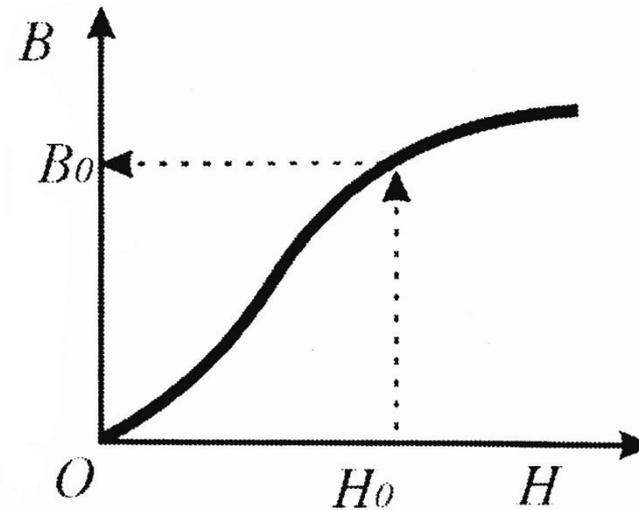
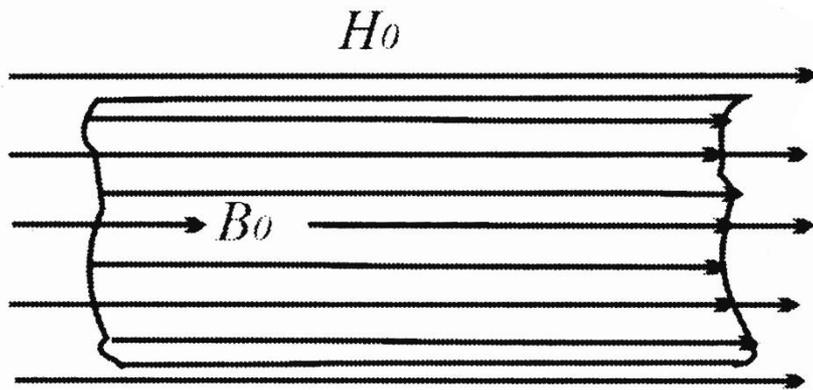
МАГНИТНЫЙ ПОТОК

поток вектора магнитной индукции B через некую поверхность.

Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

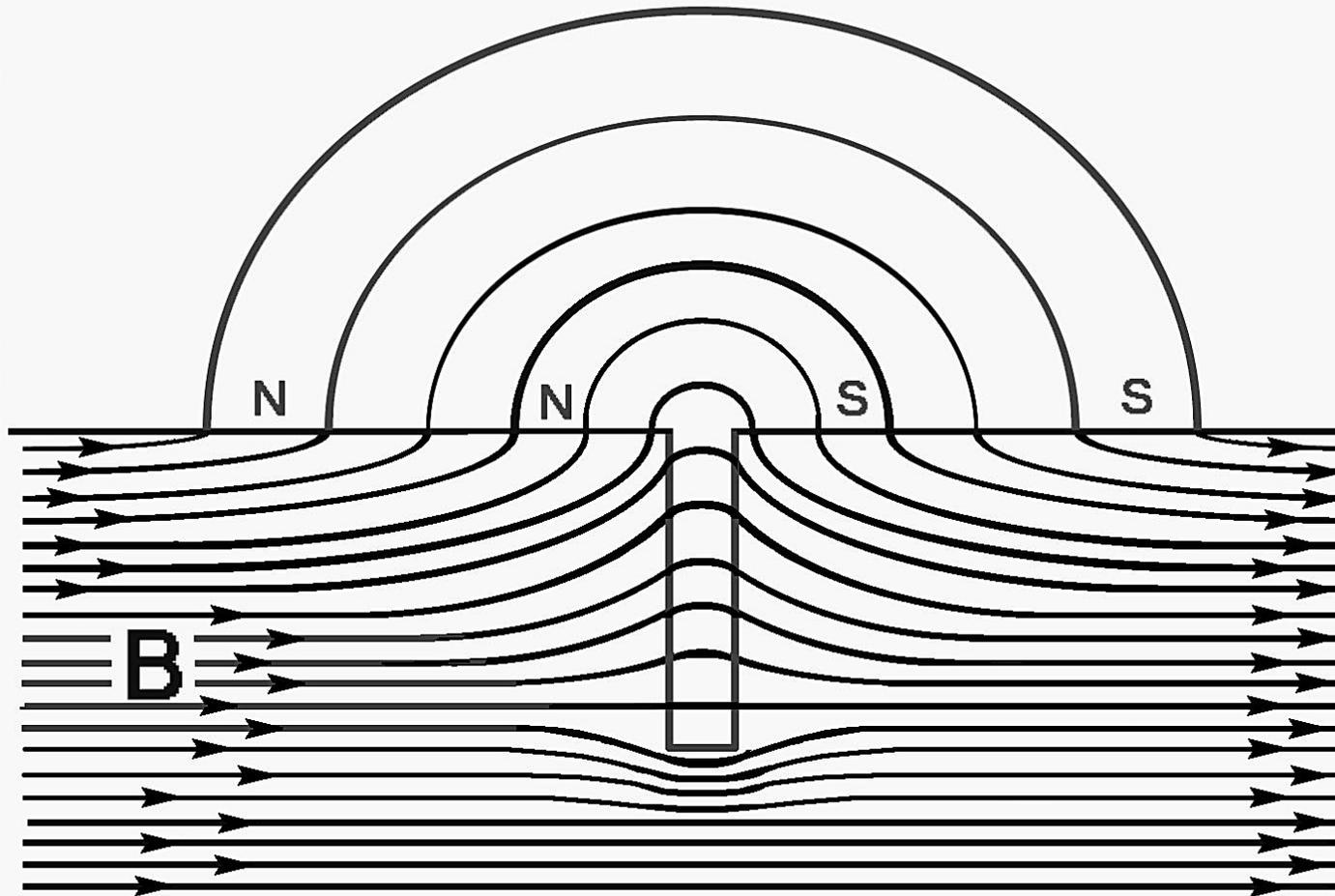
Бездефектный образец ферромагнетика и его кривая намагничивания



Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Дефектный образец ферромагнетика

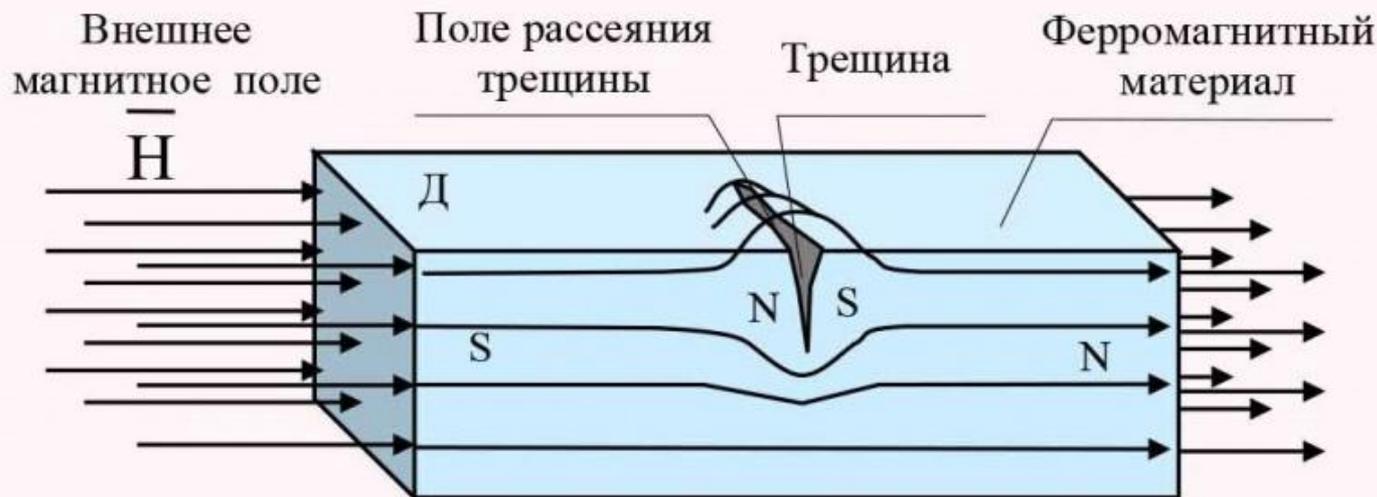


Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Дефектный образец ферромагнетика

Магнитное поле рассеяния над дефектом в виде трещины

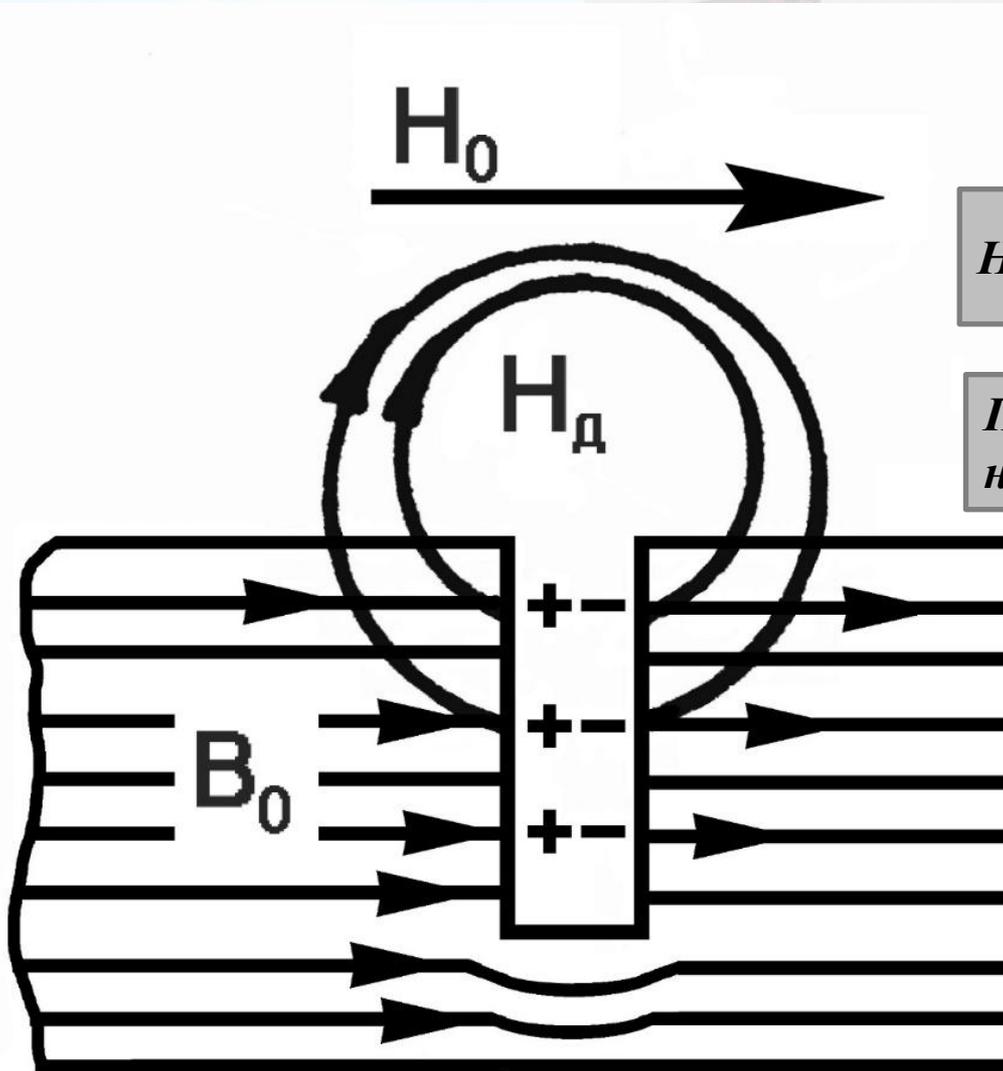


Полость трещины заполнена воздухом и немагнитными включениями, магнитная проницаемость которых ($\mu \approx 1$) намного меньше, чем у ферромагнитного ($\mu > 40$) материала. Вдоль стенок трещины образуются магнитные полюсы, в результате чего часть силовых линий выходит на поверхность металла, образуя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

Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Магнитная поляризация стенок дефекта



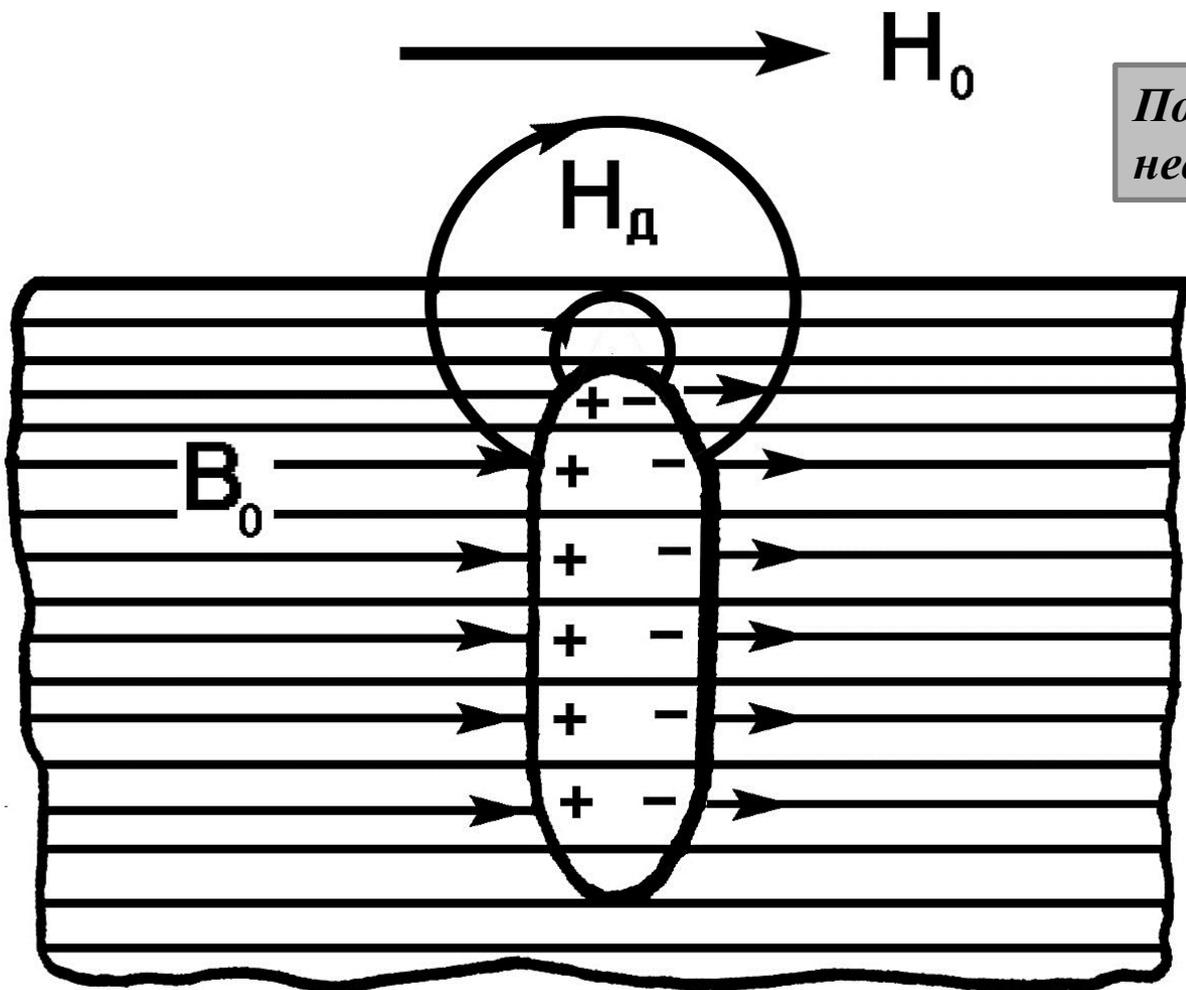
H_d – суммарное поле рассеяния дефекта

Поле с высокой степенью неоднородности!!!

Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Магнитное поле рассеяния над дефектом

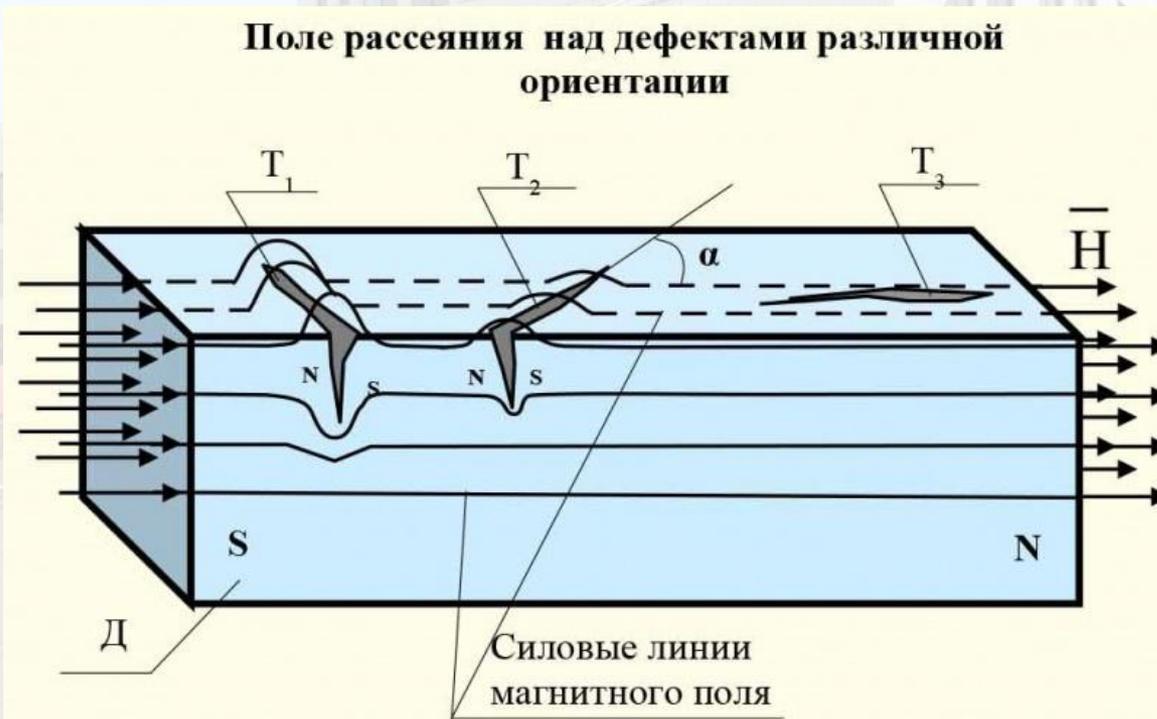


Поле с низкой степенью неоднородности!!!

Магнитный контроль

Физическая сущность МНК

Магнитное поле рассеяния над дефектом



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

Если угол α между силовыми линиями и трещиной меньше 30° (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

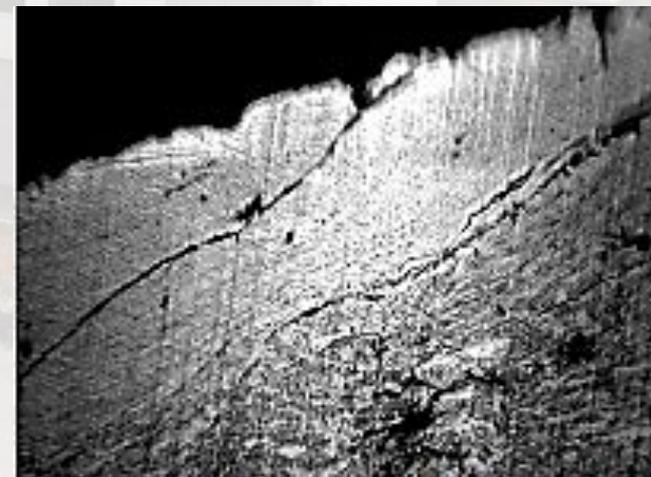
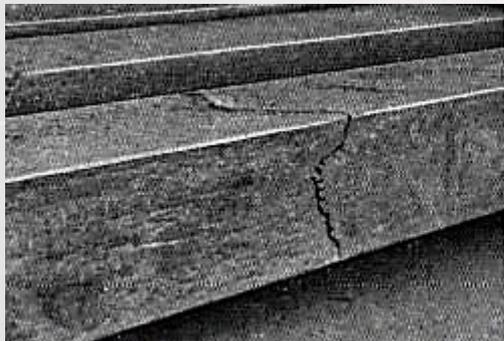
Классификация МНК

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

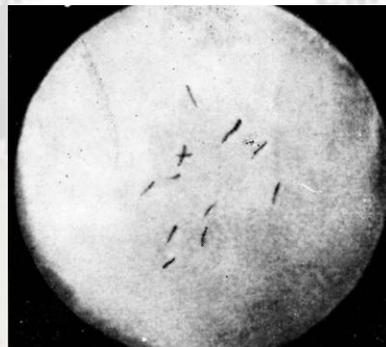
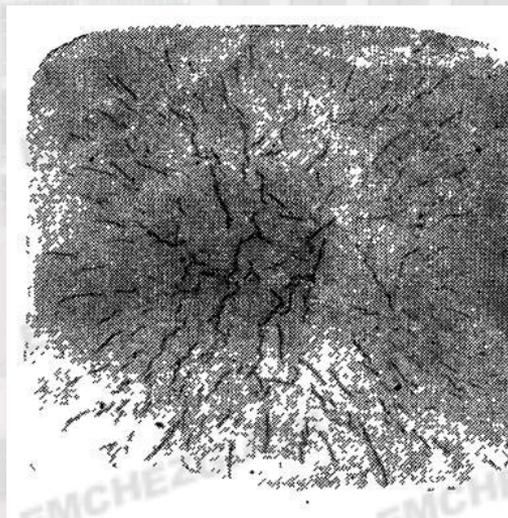
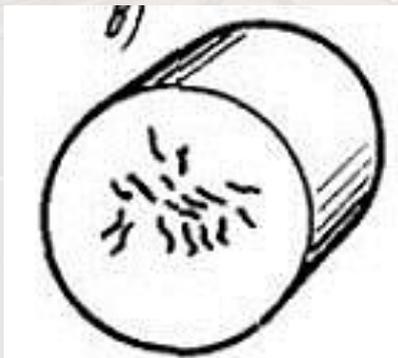
Классификация МНК

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

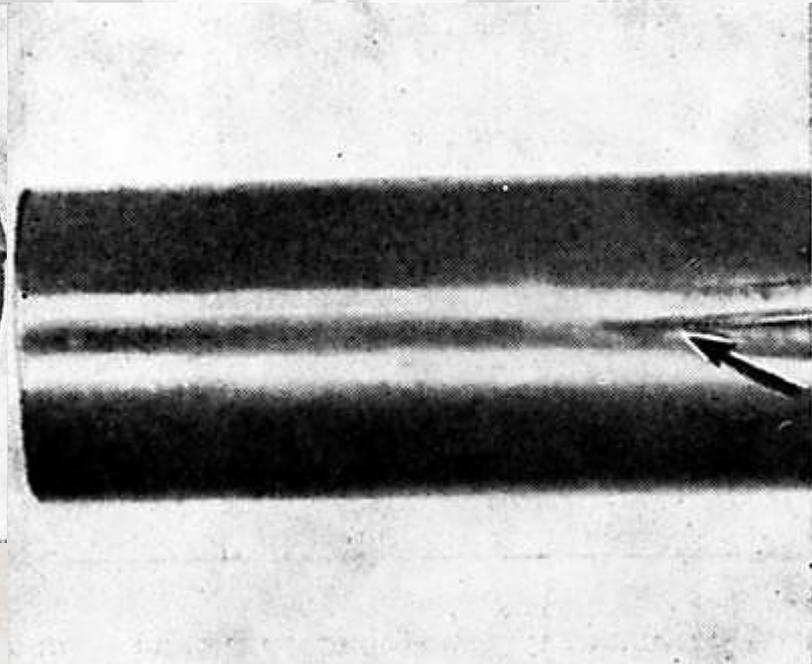
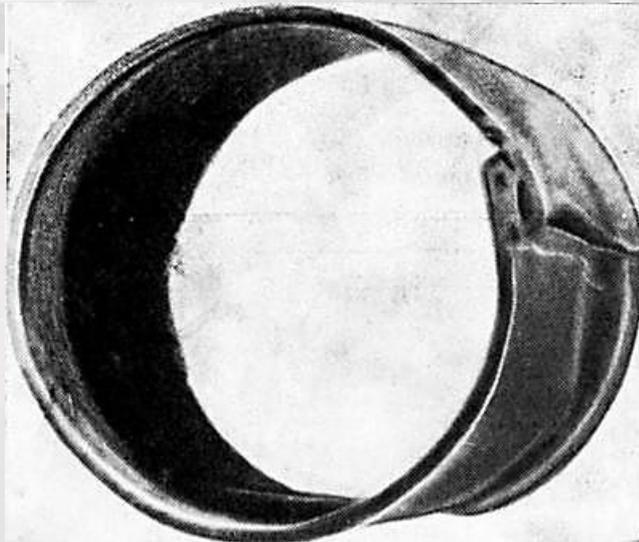
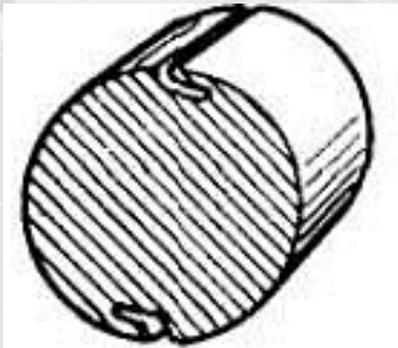
Классификация МНК

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

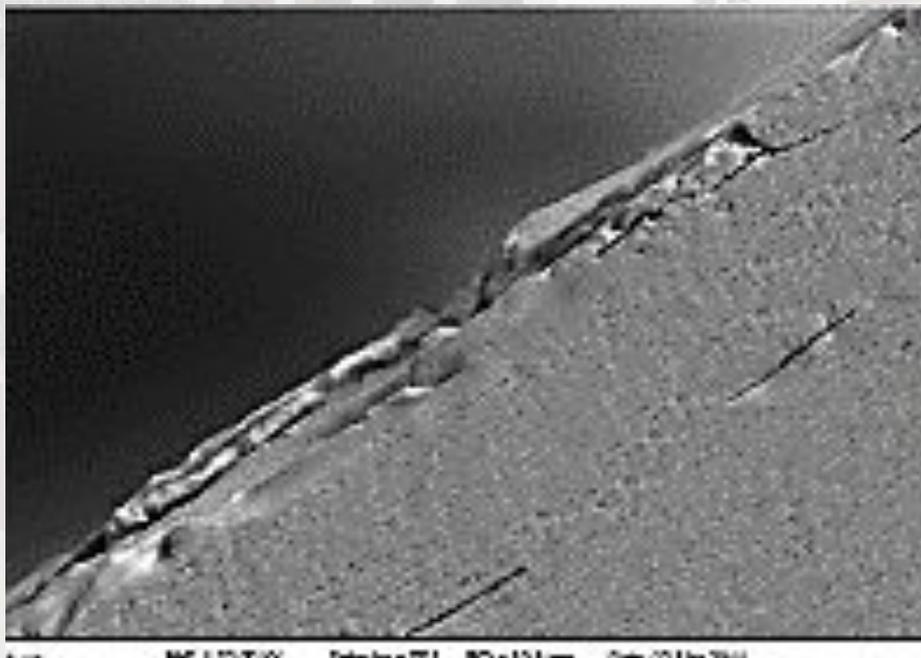
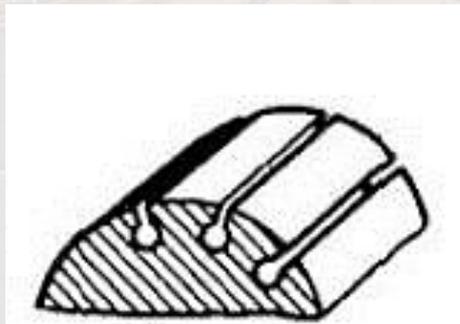
Классификация МНК

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

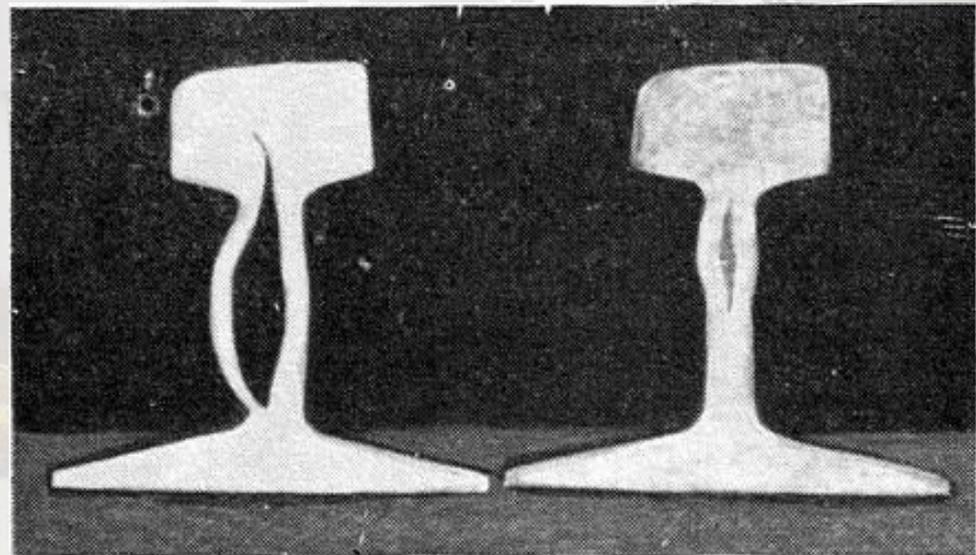
Классификация МНК

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

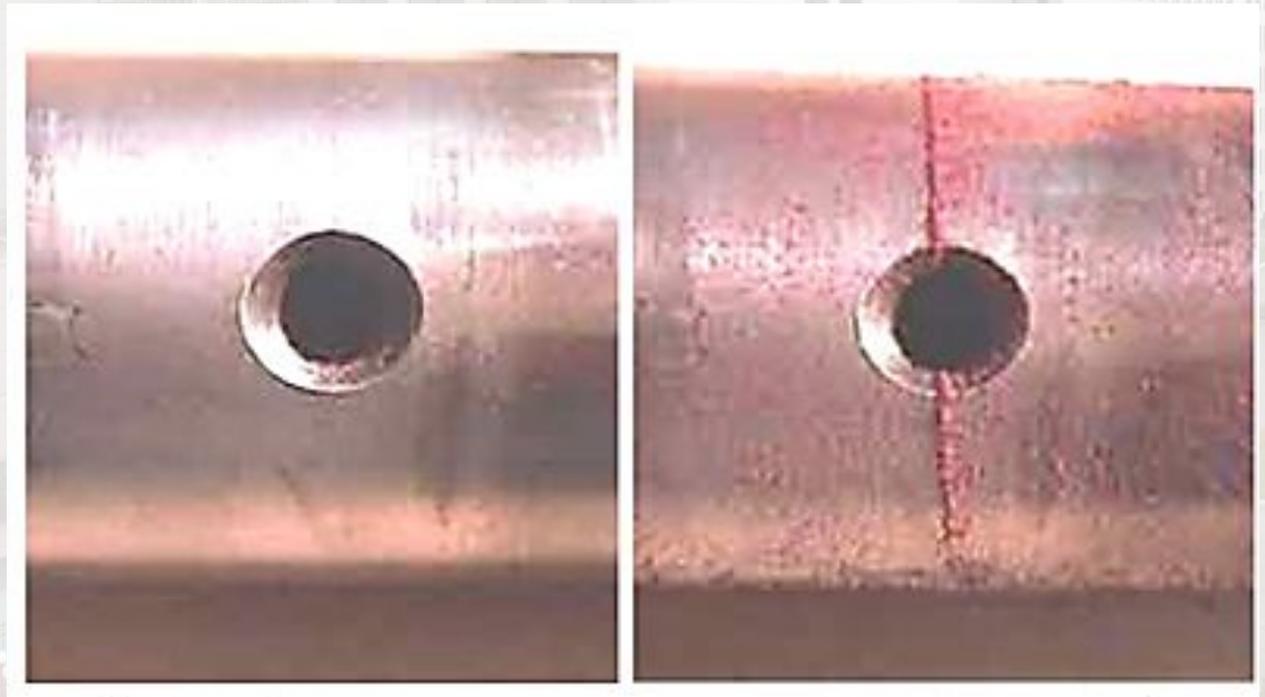
Классификация МНК

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

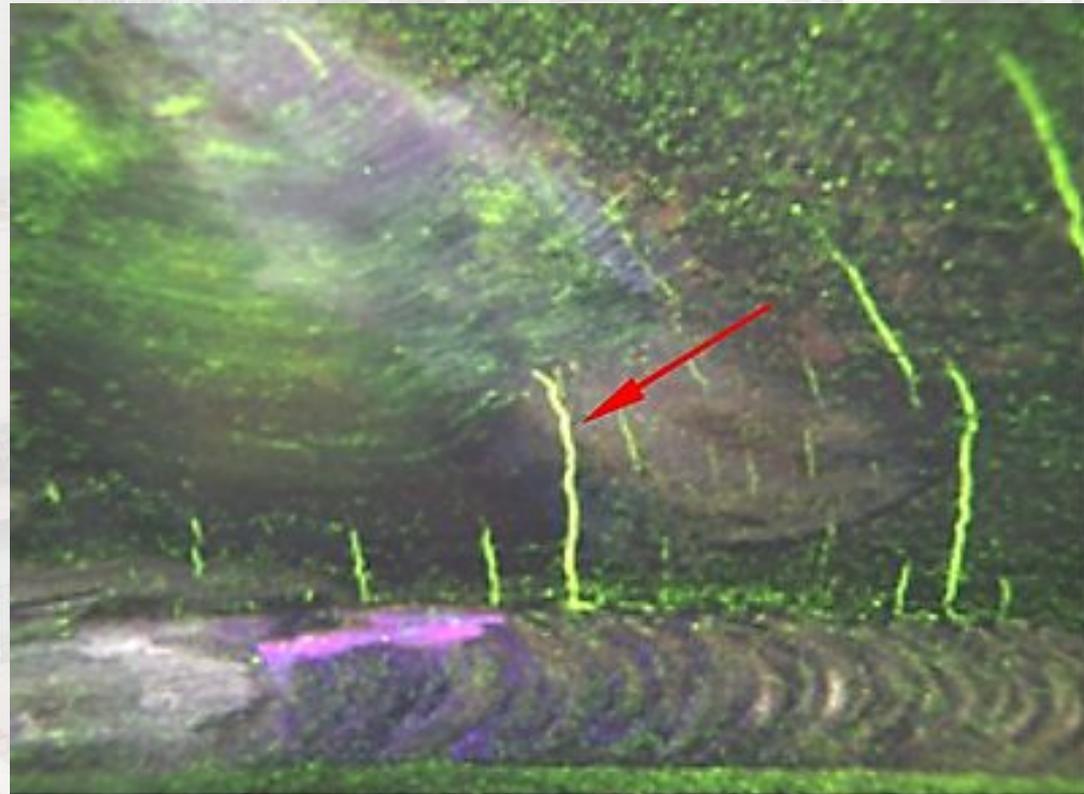
Классификация МНК

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

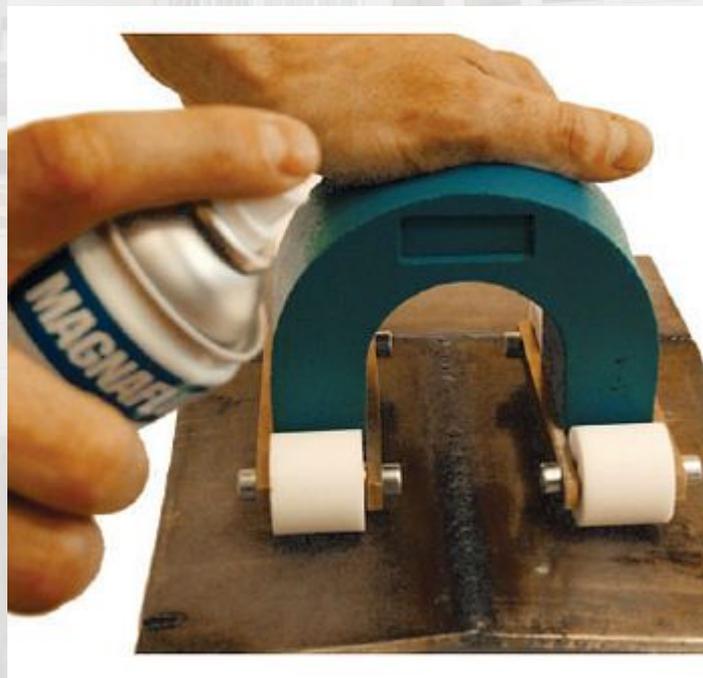
Классификация МНК

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

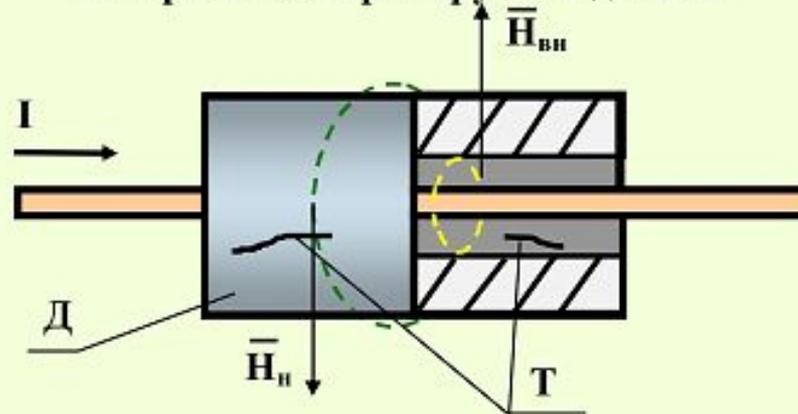
1) Магнитопорошковый метод (МПК)

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; Φ – 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

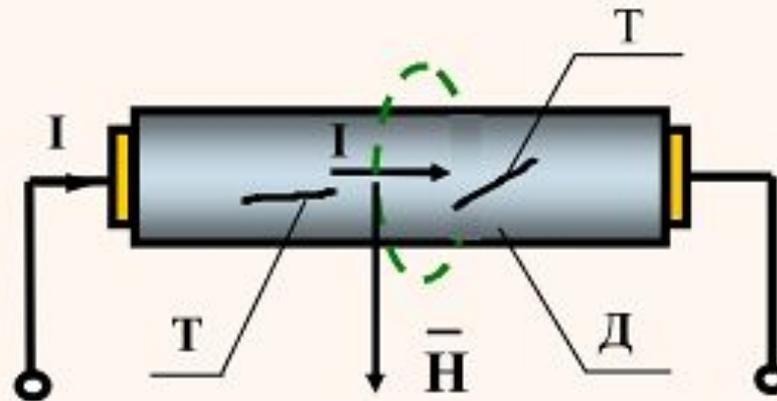
Магнитный контроль

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; Φ – 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

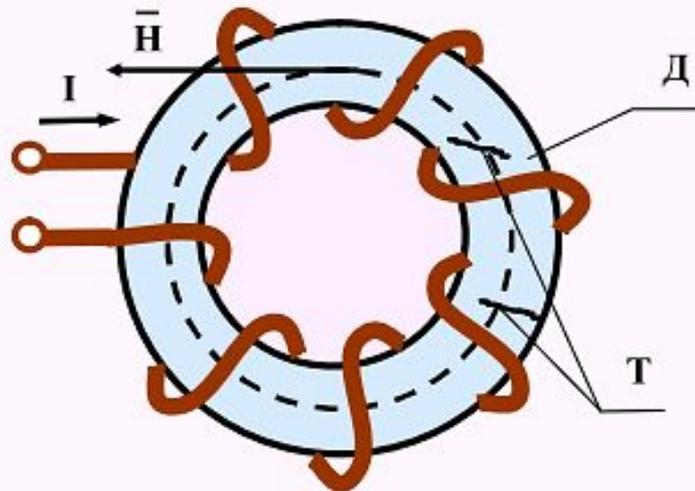
Магнитный контроль

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

Циркуляционное намагничивание

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; Φ – 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; $--- \blacktriangleright ---$ силовые линии магнитного поля

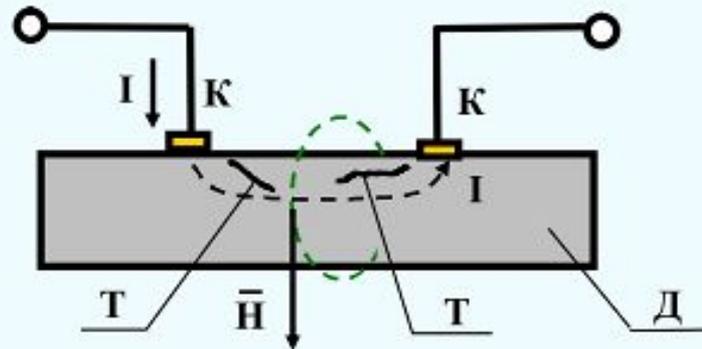
Магнитный контроль

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

Циркуляционное намагничивание

Пропускание тока по части контролируемой детали



Выявляются продольные трещины на поверхности детали между электроконтактами

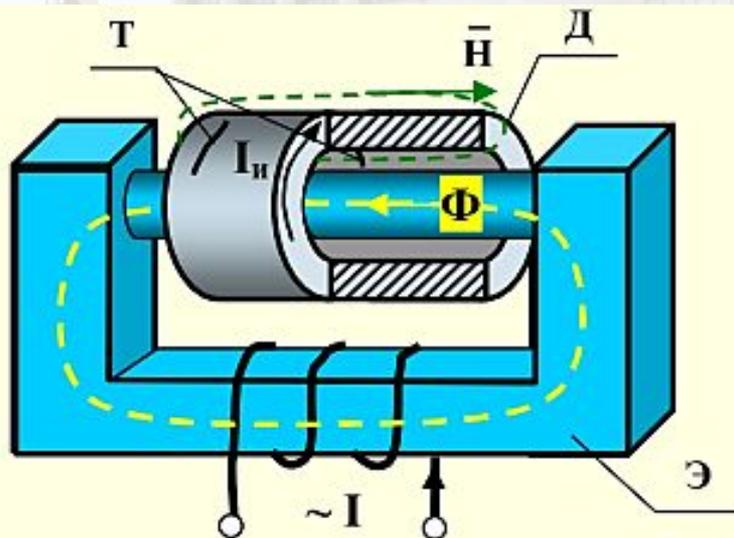
Условные обозначения: I – проводник с током; $I_{\text{и}}$ – ток индукции; $Д$ – деталь; $Т$ – трещина; $К$ – электроконтакты; Φ – магнитный поток; \mathcal{E} – электромагнит; H – напряжённость магнитного поля; $H_{\text{вн}}$ – вектор напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности детали;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

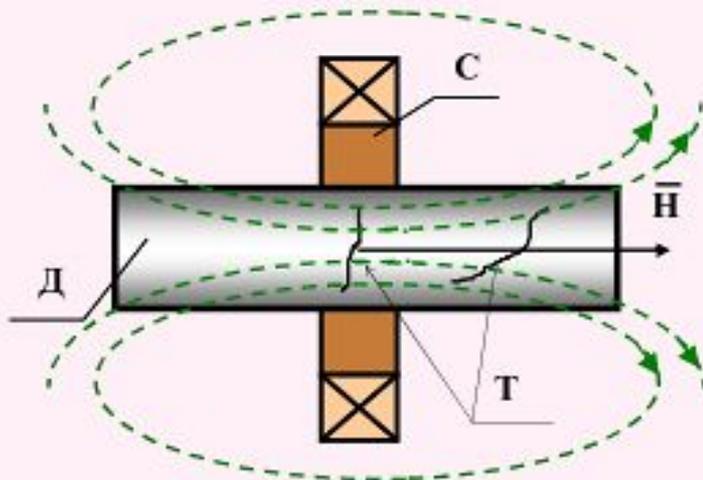
1) Магнитопорошковый метод (МПК)

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



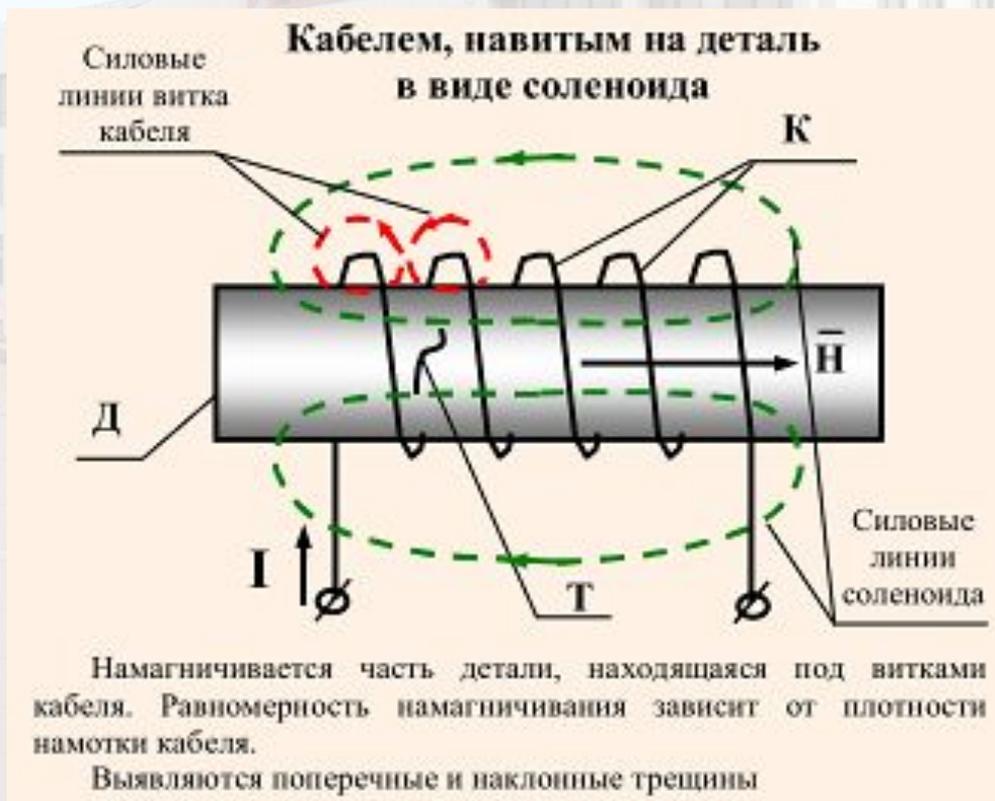
Условные обозначения: Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство; К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромагнит; H – вектор напряжённости магнитного поля; I – электрический ток; ---▶--- силовые линии магнитного поля

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; Н – вектор напряжённости магнитного поля; I – электрический ток; $\text{---} \blacktriangleright \text{---}$ силовые линии магнитного поля

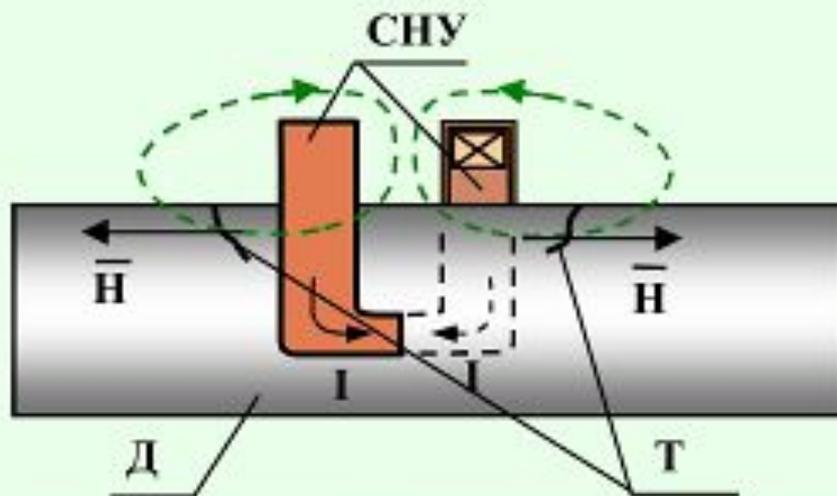
Магнитный контроль

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; Н – вектор напряжённости магнитного поля; I – электрический ток; – силовые линии магнитного поля

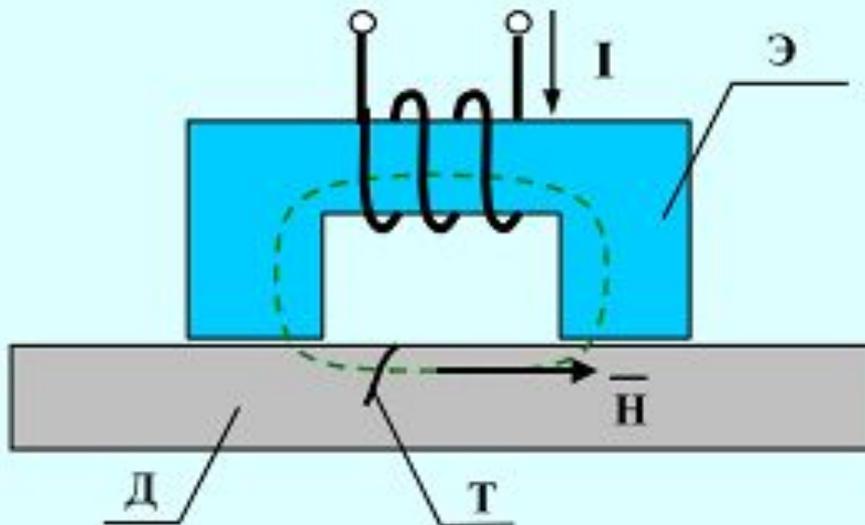
Магнитный контроль

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 напряжённости 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

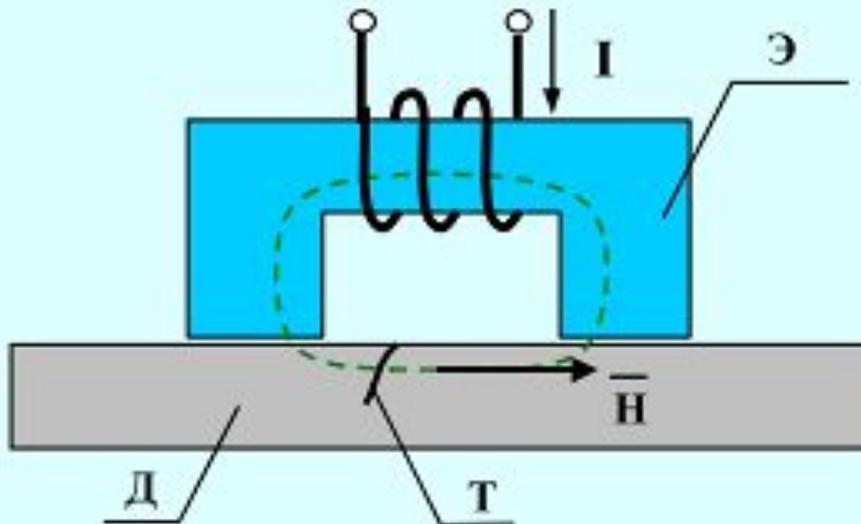
Магнитный контроль

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

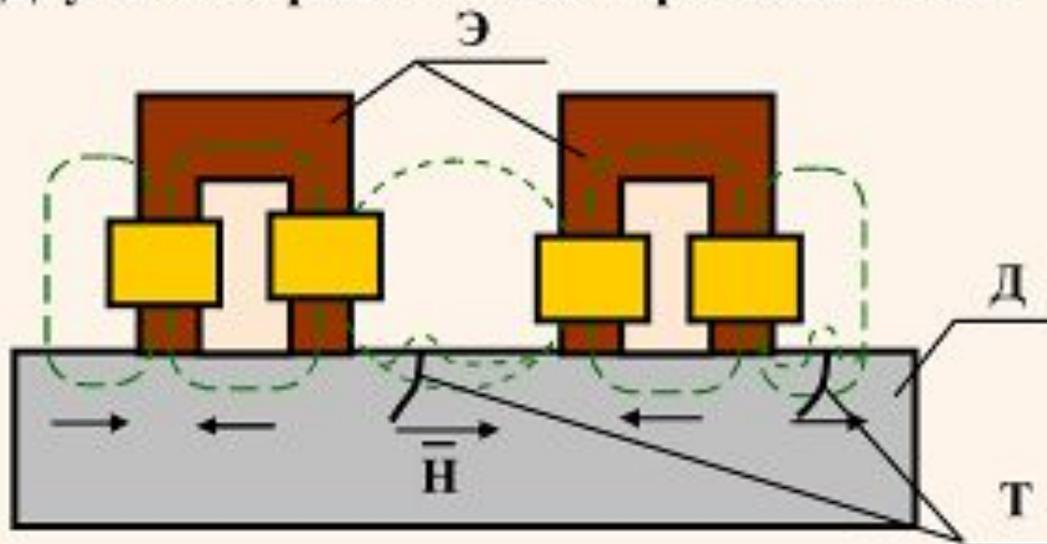
Магнитный контроль

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

Полюсное намагничивание

Двама электромангннтана переманного тока



Намагннчнваются чанн на деталн мажду полюсами электромангннтана, рядам с ннма н мажду электромангннтанама. Выявляються поперечные н наклонные трещнны в промежутке мажду мангннтанама н с внешннх сторона от ннх

Условные обозначения: Д – деталь; Т – трещина; СНУ – седлообразное намагничивающее устройство; К – гибкий кабель; С – соленоид; Э – электромангннтан; Н – вектор напряжённости магннтного поля; I – электрический ток;  – силаные лннны магннтного поля

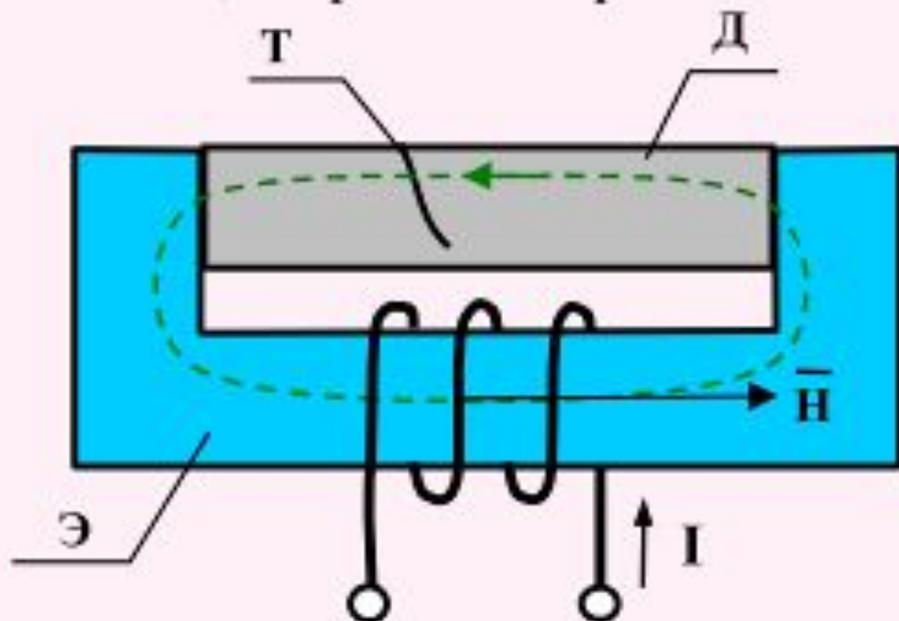
Магнитный контроль

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; Н – вектор напряжённости магнитного поля;
I – электрический ток; – силовые линии магнитного поля

Магнитный контроль

Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

3) Нанесение магнитного индикатора

Порядок проведения МПК



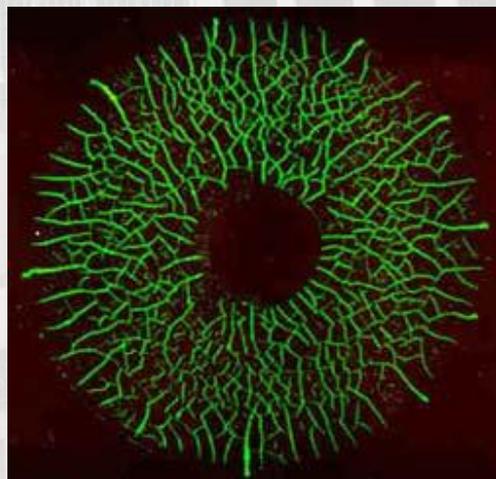
Магнитный контроль

Классификация МНК

1) Магнитопорошковый метод (МПК)

Порядок проведения МПК

3) Нанесение магнитного индикатора



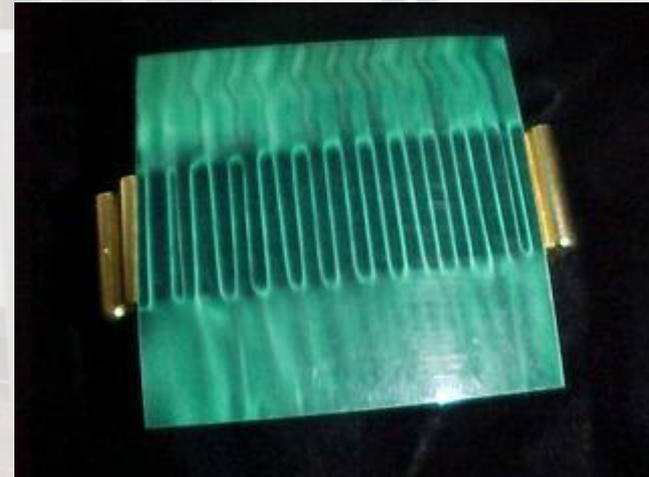
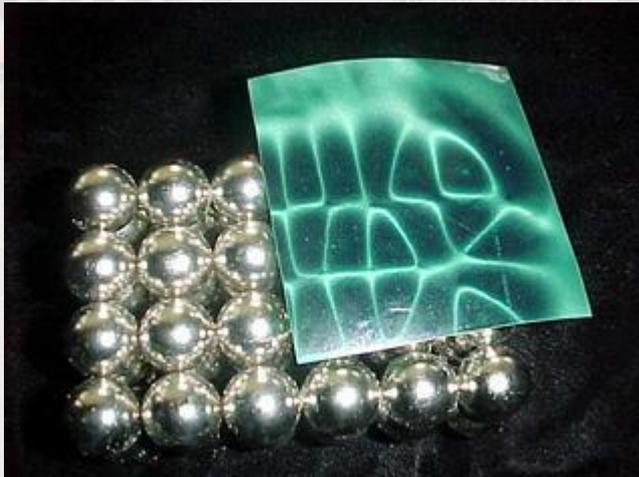
Магнитный контроль

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) Особые случаи
пов...

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

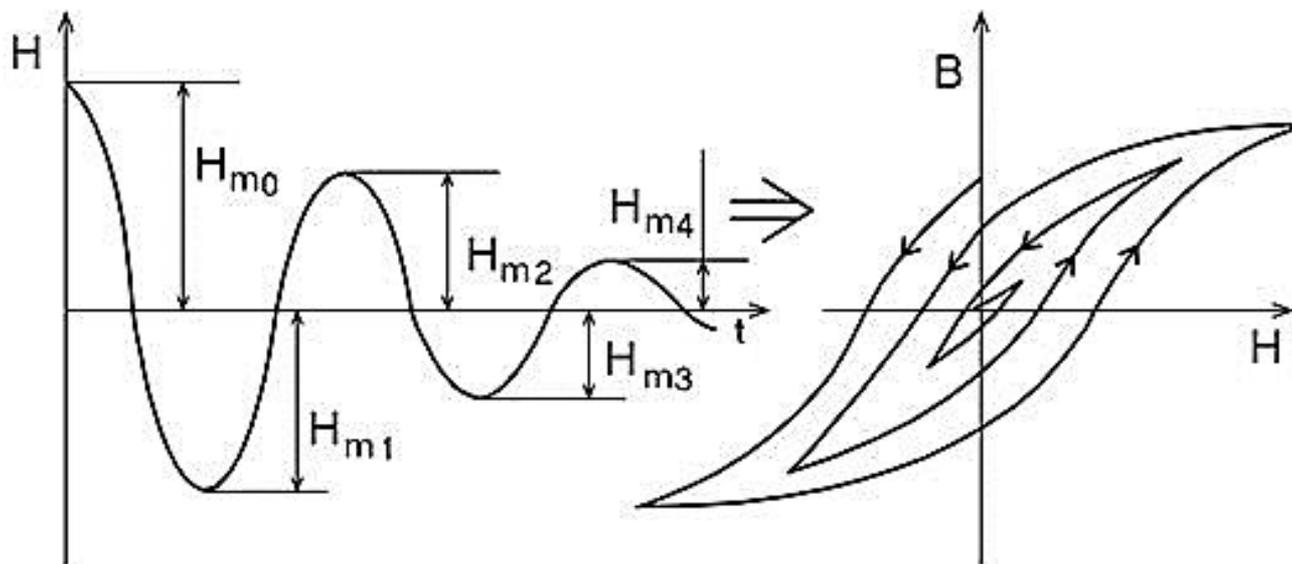
Классификация МНК

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)

6) Контроль размагниченности

Порядок проведения МПК

Миллитесламетр ТП2-2У-03

