

Министерство образования и науки Российской Федерации
Автономное государственное бюджетное образовательное
учреждение

высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт неразрушающего контроля

Дисциплина «Материалы электронной техники»

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Гормаков А.Н., доц. каф. ТПС
ИНК НИ ТПУ, 2017 г.

Намагниченность

Все вещества, помещенные во внешнее магнитное поле, намагничиваются.

Характеристикой намагничивания материалов служит намагниченность, равная суммарному магнитному моменту атомов в единице объема материала.

Для однородного намагниченного
материала намагниченность

$$\vec{J} = \frac{\vec{M}}{V}$$

где, M – магнитный момент,
 V – объем образца.

Магнитный момент \vec{M}

– векторная величина,
характеризующая
вещество, как источник
магнитного поля.

Для одного атома
магнитный момент
складывается из векторов
орбитальных и
собственных (спиновых)
моментов электронов,
принадлежащих атому.

Магнитная восприимчивость

$$k_m = \frac{J}{H}$$

где H – напряженность намагничивающего поля.
В зависимости от знака и значения k_m все материалы делятся на диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.

Диамagnetизм — свойство материалов намагничиваться во внешнем магнитном поле в направлении противоположном полю. Примеры диамagnetиков:

Cu, Ag, Hg, Bi.

$\chi_m = - (10^{-6} \dots 10^{-5})$

Они незначительно ослабляют магнитное поле.

Парамагнетики (Pt, воздух, Al) – обладают положительной магнитной восприимчивостью, поле в них лишь незначительно возрастает.

$$\chi_m = (10^{-6} \dots 10^{-3})$$

Они слабо намагничиваются по направлению магнитного поля, а в отсутствии поля немагнитны.

Ферромагнетики

(Fe, Ni, Co, Cr, Mn) –

характеризуется большим

значением магнитной

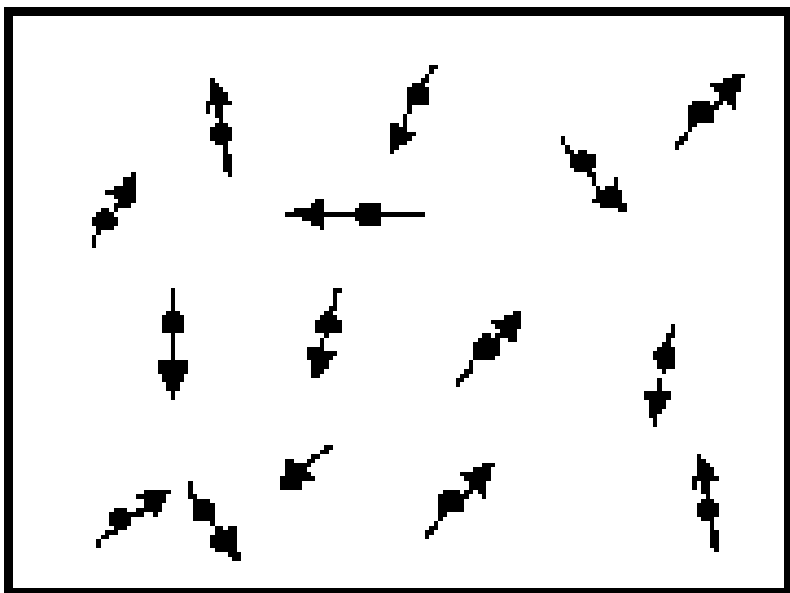
восприимчивости ($\mu \gg 1$) и

ее нелинейной зависимостью

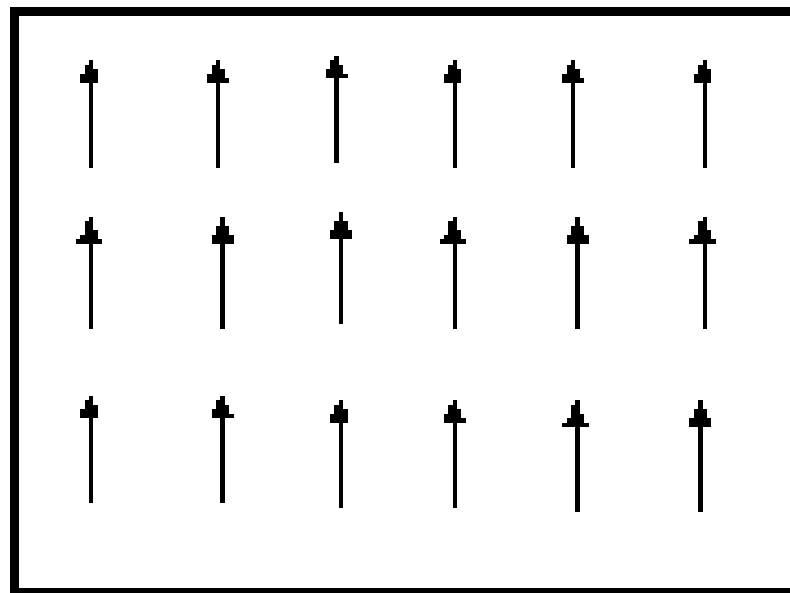
от напряженности магнитного

поля и температуры.

Ферромагнетики используются для создания магнитопроводов электрических машин и аппаратов (железо, пермаллой, викаллой, ферриты, электротехнические стали), для изготовления магнитных носителей компьютеров, магнитных экранов, постоянных магнитов.



а



б

Схема магнитного упорядочивания атомов:

а - в парамагнетиках,

б - в ферромагнетиках

Основной характеристикой магнитного поля является **индукция**.

Индукция – результирующее магнитное поле в веществе.

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}), \quad \text{Тл}$$

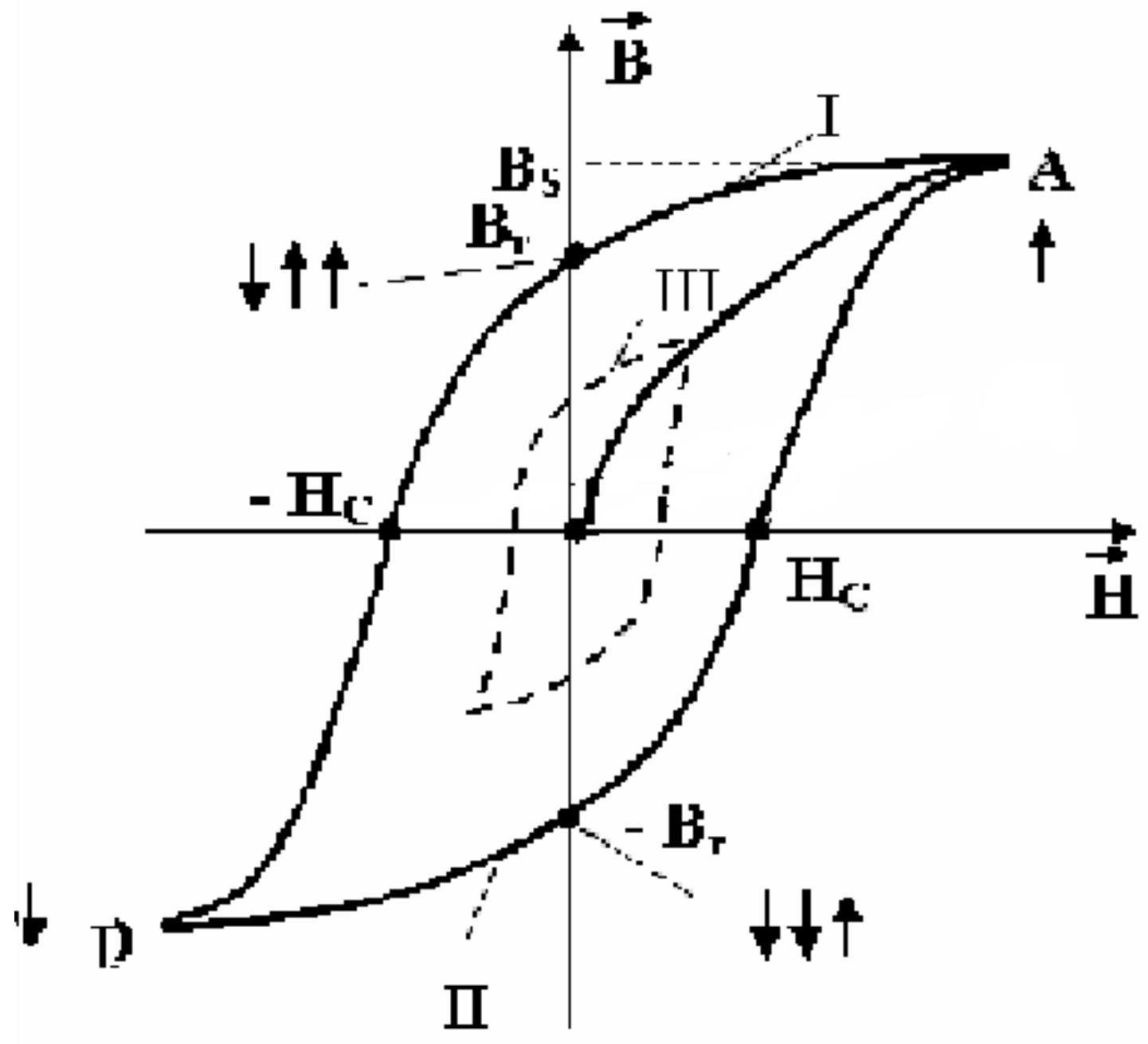
$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{М}}$ - магнитная постоянная,

\vec{J} - намагниченность вещества;

\vec{H} - напряженность внешнего магнитного поля

Намагничивание ферромагнетика

При намагничивании ферромагнетика в изменяющемся магнитном поле обнаруживается **гистерезис** – неоднозначная зависимость намагниченности от изменения напряженности магнитного поля. Кривая намагничивания ферромагнетика представляет собой петлю гистерезиса



Кривая намагничивания ферромагнетика:

B_s – индукция насыщения;

H_c – коэрцитивная сила;

точка А – индукция насыщения;

точка D – отрицательная индукция насыщения;

B_r – остаточная индукция

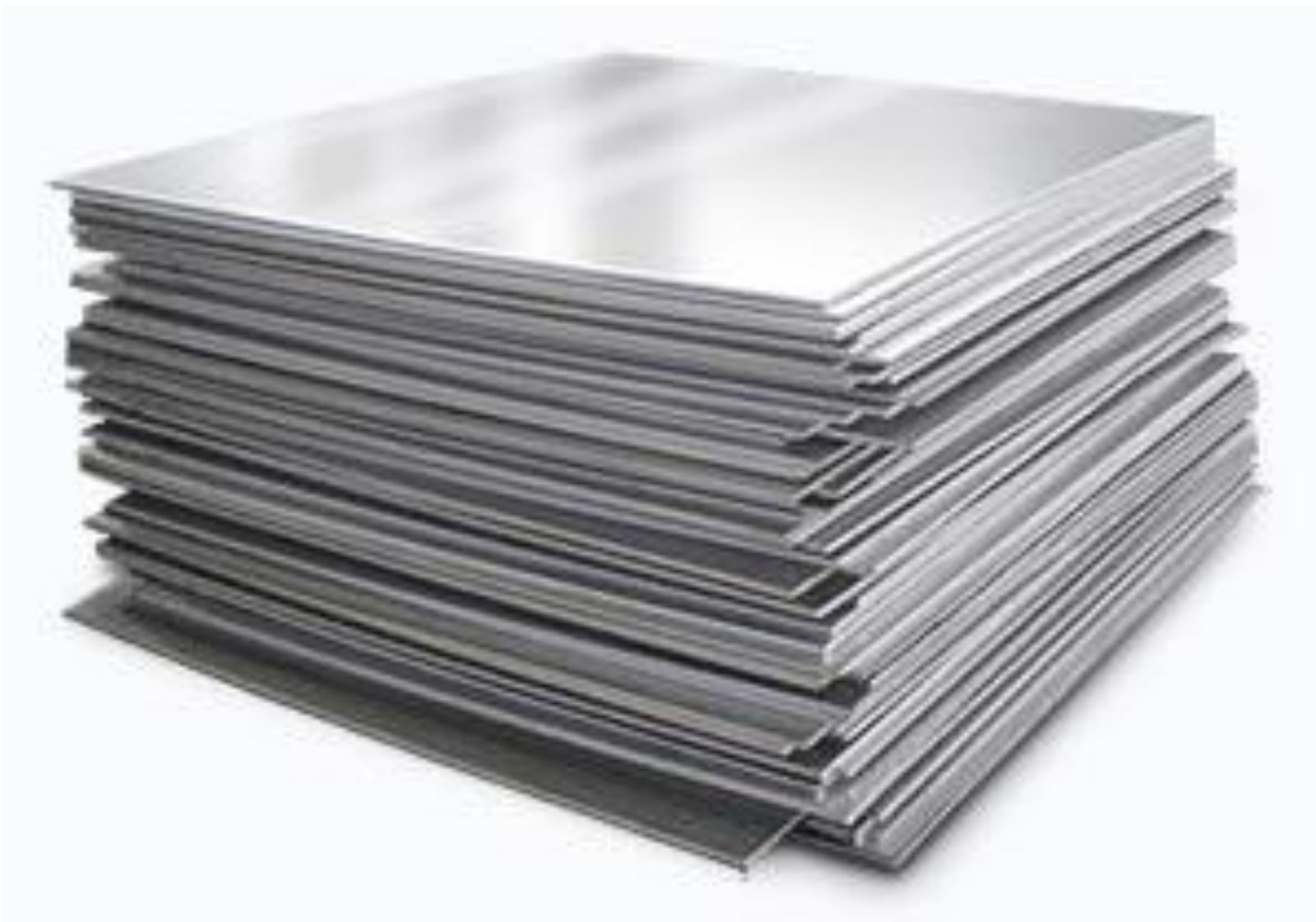
Магнитно-мягкие материалы – материалы и сплавы, обладающие малой коэрцитивной силой H_c . К этой группе материалов относятся чистое железо ($C < 0,04\%$), электротехнические стали, железоникелевые сплавы (пермаллои) и др. Из этих материалов делают магнитопроводы: сердечники для трансформаторов, пакеты роторов и статоров электрических машин.



Аморфные и нанокристаллические ленты



Резка широкой ленты на узкие ленты



Электротехническая сталь



Электротехническая сталорма
поставки - пруток



Электротехническая сталь



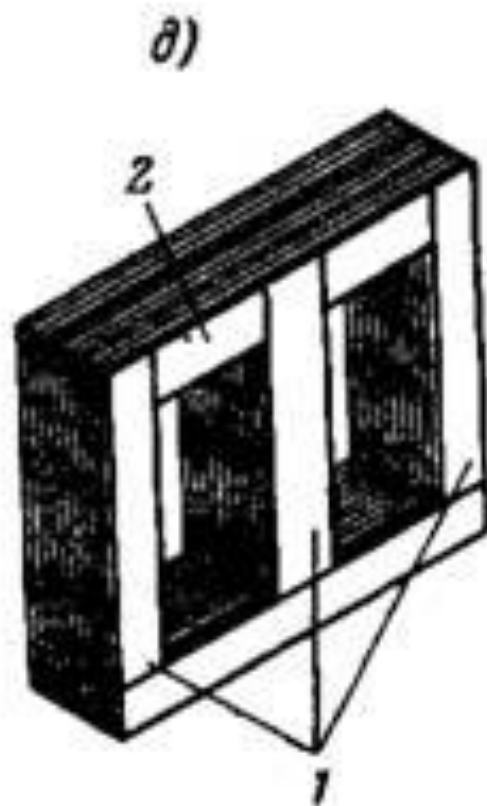
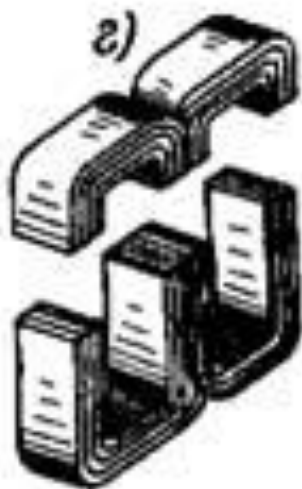
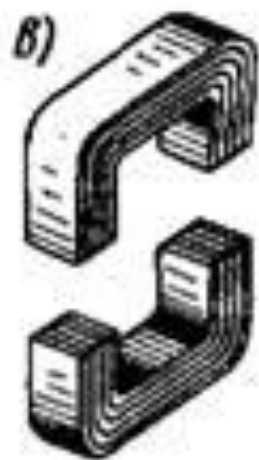
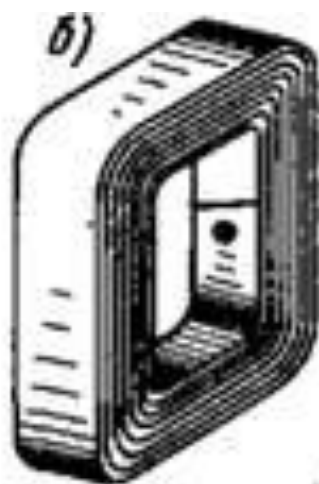
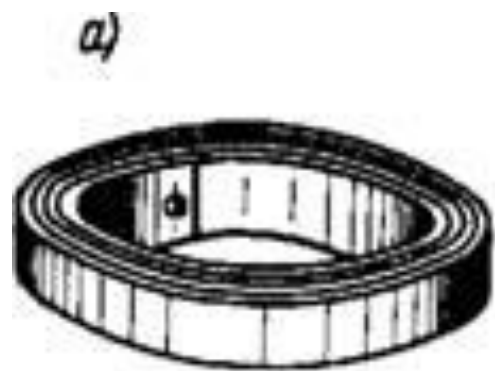
Пермаллой 78НМ - лента

NK 镍科合金
NICKEL ALLOY

sznickelalloy.en.alibaba.com

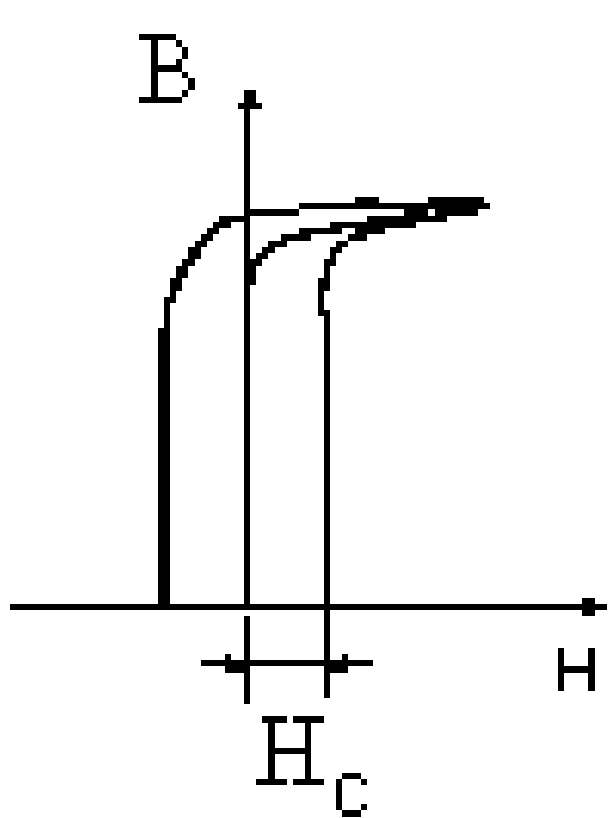
Пермаллой 78HM
- пруток



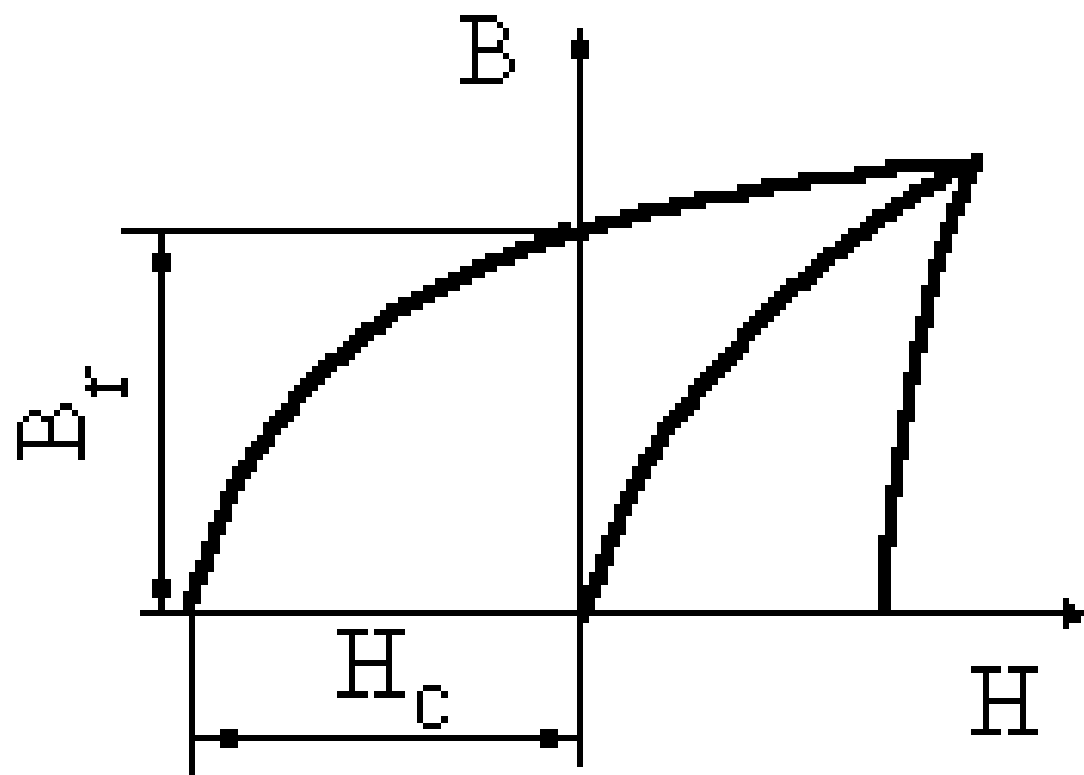




Высечка магнитопровода трансформатора



а



б

*а - магнитно-мягкие материалы
б – магнитно-твердые материалы*

Магниты Альнико (ЮНДК)

Изготавливаются
магниты ЮНДК
методом литья из
расплава, основным
компонентом
которого является
железо



Этот сплав можно считать прошлым веком, но магниты альнико по сей день находят применение за счет своей непревзойденной стабильности и антикоррозионных свойств. Они способны работать при температуре до 500 °С



Магнитотвердые ферриты

Готовят из ферромагнитных порошков методом порошковой металлургии. Прессование в прессформах на прессах.

Магниты из ферритов бария и стронция получили широкое распространение в 50-х годах 20 века. По природе родственны с магнетитом, природным магнитным материалом. Но в отличие от магнетита у этих материалов петля гистерезиса гораздо шире.

Неодим-железо-бор / NdFeB

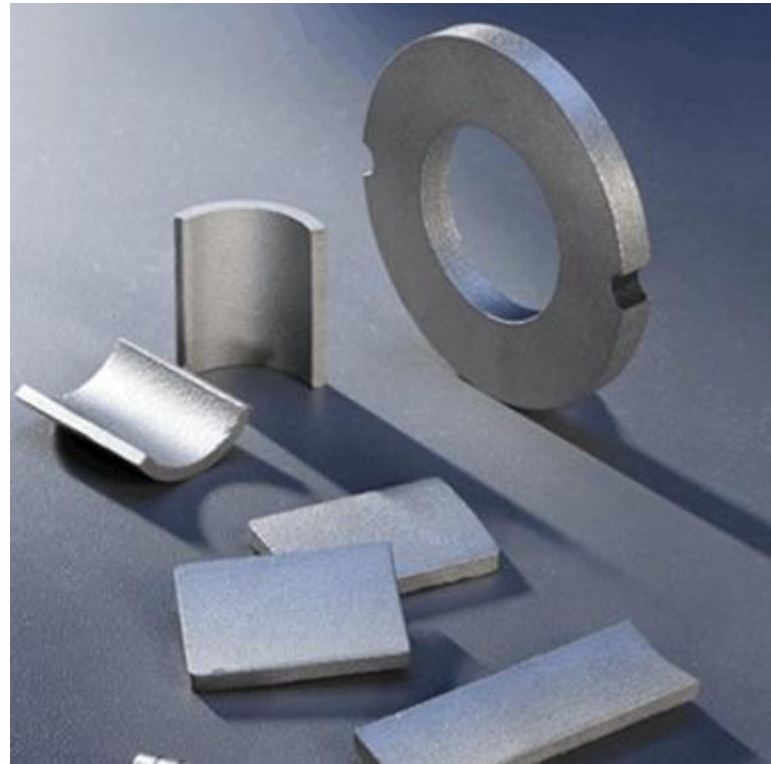
Литьё в песчаные формы



Постоянные неодимовые магниты из сплава неодим-железо-бор являются на сегодняшний день самыми мощными. Максимальное энергетическое произведение полученное на этих сплавах 59,6 МГсЭ или 476,8 кДж/м³ является абсолютным рекордом среди всех материалов для постоянных магнитов.

Самарий-кобальт / SmCo

Магниты изготавливаются методами порошковой металлургии, т.е. сначала изготавливается порошок путём размола сплава, затем порошок прессуется в изделие с одновременной ориентацией частиц в магнитном поле, после чего проводится спекание заготовок в изделие. Для получения точных размеров спечённые магниты шлифуют абразивным инструментом.



Магниты самарий-кобальт первые из открытых редкоземельных материалов для постоянных магнитов. Существует два класса самарий-кобальтовых магнитов: SmCo_5 и $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$



Магнитно-твердые сплавы – большая коэрцитивная H_c сила и высокая остаточная индукция B_r . Магнитно-твердые материалы применяют для изготовления постоянных магнитов, магнитных лент и дисков для записи информации и др.

Наибольшее промышленное применение для постоянных магнитов имеют литые и металлокерамические сплавы на основе системы Al – Ni – Co. В качестве примера можно привести сплав ЮН13Д24К (Al \approx 1%; Ni \approx 13%; Cu \approx 24%; Co \approx 1%; остальное Fe).