

**Содержательный
модуль 5**



"Электротехнические материалы"

Лекция 14

Магнитотвёрдые материалы

Lec_14_el_mat_1MM_LNA_07-05-2015

Доцент Лалазарова Н.А.

Содержание

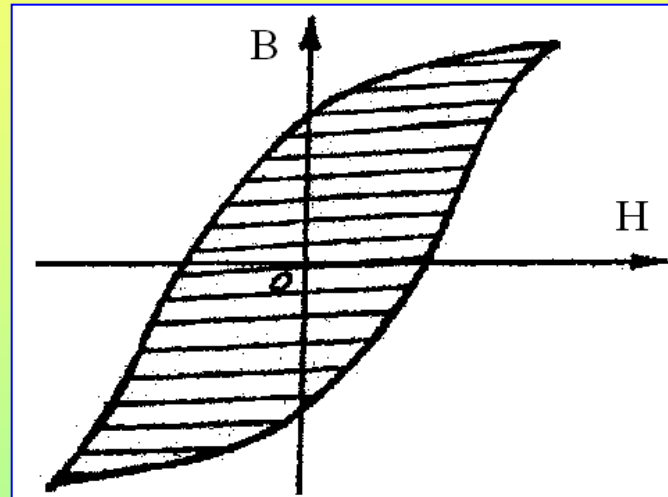
- ★ 14.1. Магнитотвёрдые материалы (МТМ): основные требования
- ★ 14.2. Классификация МТМ по способу изготовления
- ★ 14.3. Материалы со специальными магнитными свойствами



14.1. МАГНИТОТВЁРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Основные требования к магнитотвёрдым материалам:

- 1) Большие значения B_r , H_c , W_{max}
- 2) Широкая петля гистерезиса.
- 3) Большие потери на перемагничивание.

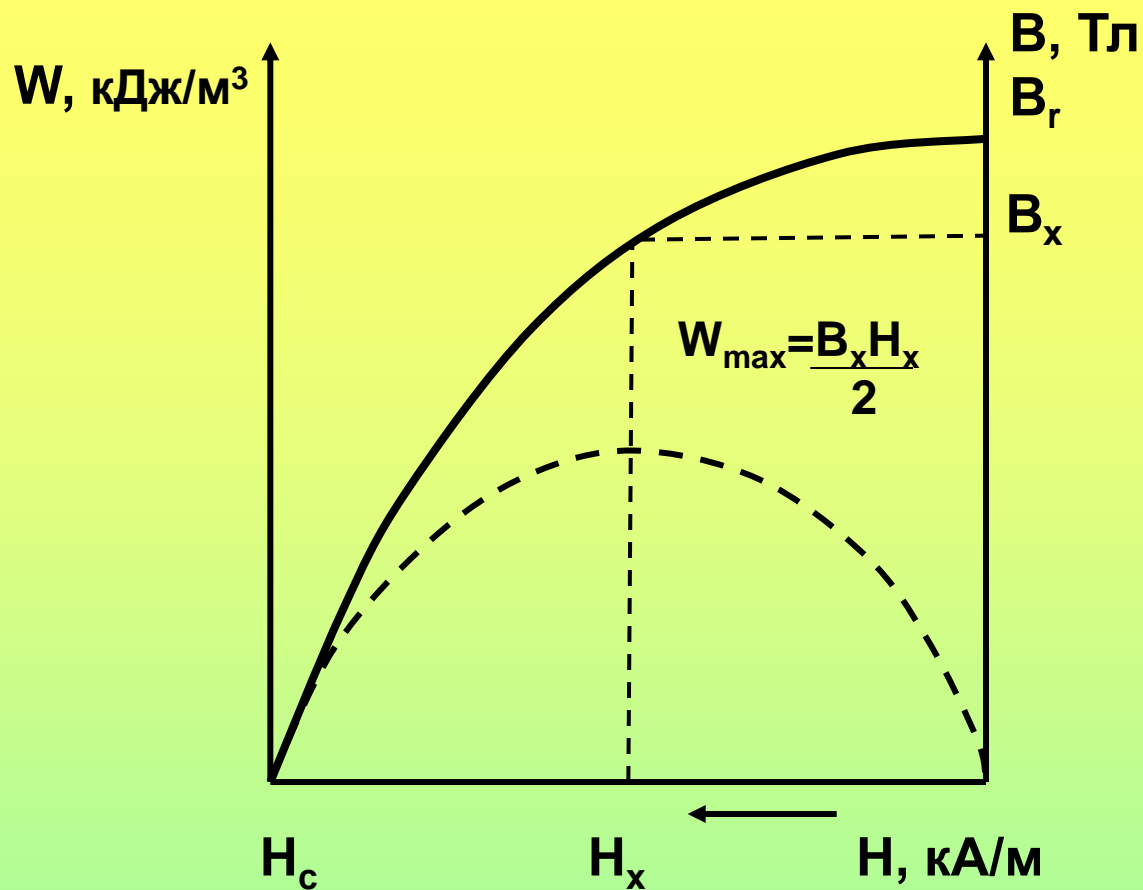


$$W_{max} = B \cdot H / 2$$

Магнитная мощность (энергия) определяется как половина произведения величины магнитной индукции на величину напряжённости магнитного поля:

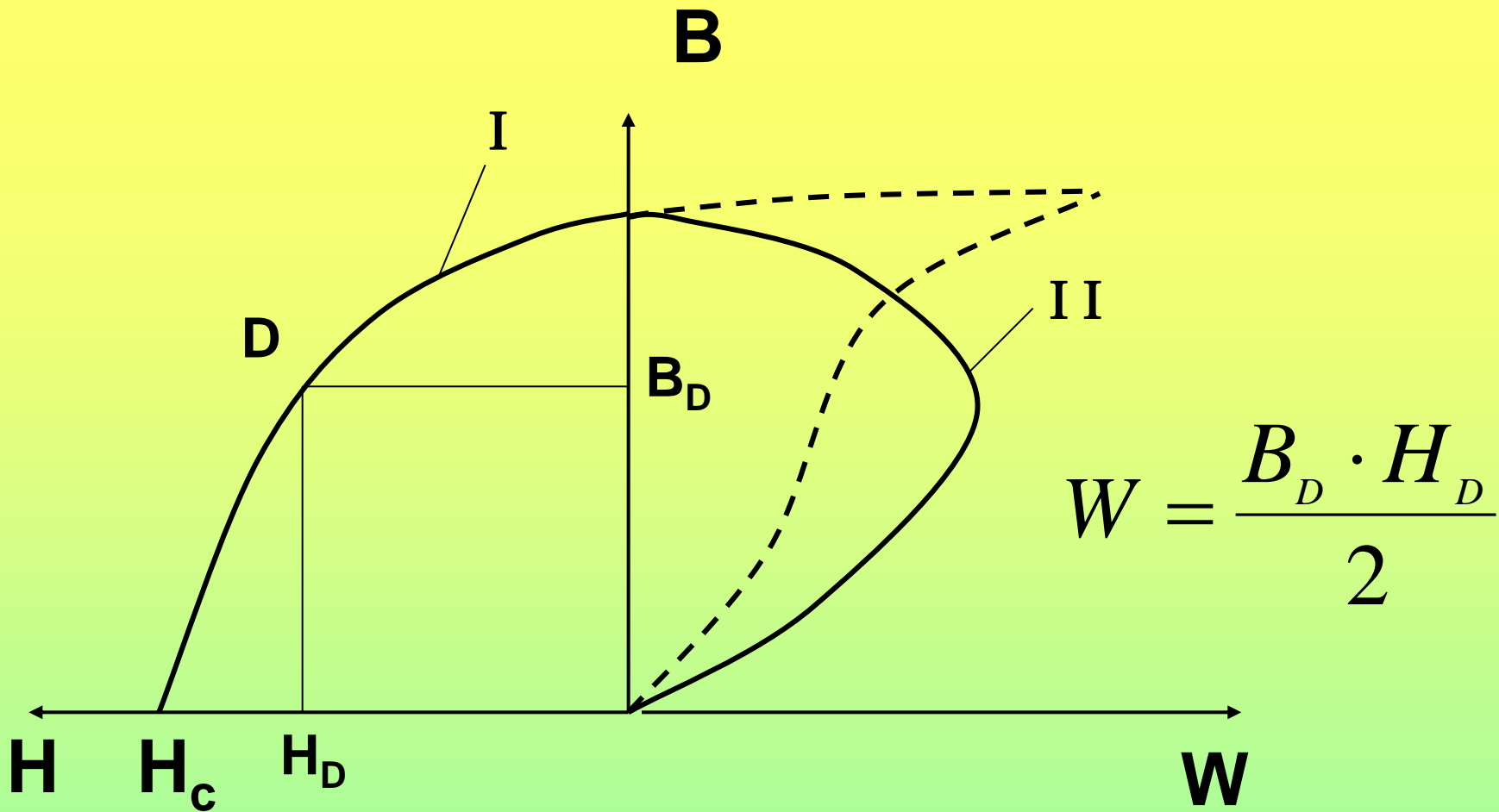
МТМ намагничиваются в сильных полях ($H > 1000 \text{ кА/м}$), имеют большие потери при перемагничивании, большую остаточную индукцию: $B_r = 0,5 - 1,0 \text{ Тл}$ и коэрцитивную силу $H_c < 560 \text{ кА/м}$.





Кривые размагничивания и магнитной энергии в воздушном зазоре постоянного магнита





Кривые размагничивания и магнитной энергии в воздушном зазоре постоянного магнита

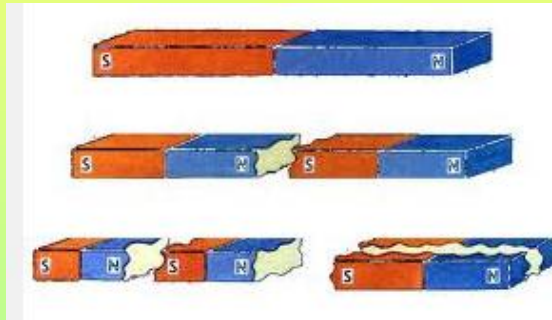


МАГНИТОТВЁРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Размагничивание материалов связано с теми же процессами, что и намагничивание: смещение доменной стенки и вращение векторов намагничивания. Поэтому любые факторы, задерживающие эти процессы, будут затруднять размагничивание.

Основные требования к составу и структуре магнитотвёрдых материалов.

1) Преимущественное применение имеют **сплавы**, а не чистые металлы.



2) Образование **твёрдого раствора** повышает магнитную твёрдость (то есть H_c) незначительно;

3) Образование **второй фазы** при легировании активно повышает H_c .

4) **Напряжения в решётке, измельчение зерна** и другие отклонения от равновесного состояния вызывают повышение H_c , так как затрудняется смещение доменных стенок и вращение векторов намагниченности.



Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования к составу магнитотвёрдых материалов.

2. Назовите основные требования к структуре магнитотвёрдых материалов.

3. Что такое магнитная мощность?



14.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МТМ ПО СПОСОБУ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Магнитотвёрдые материалы по способу изготовления делят на

Деформируемые

Порошковые

Литые



ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МТМ

1) **Высокоуглеродистые стали:** У10...У13. После закалки и низкого отпуска они имеют следующие свойства: $B_r=0,80-0,85$ Тл, $H_c=60-65$ А/м.

Достоинства:

- 1) низкая стоимость;
- 2) технологичность в отношении обработки давлением и резанием.



Недостатки:

- 1) стали боятся ударов, вибраций, то есть имеет место магнитное старение,
- 2) небольшая магнитная мощность $W < 2,4$ КДж/м³.

3) в магнитных материалах имеет место старение, которое заключается в ухудшении магнитных свойств со временем. Различают магнитное и структурное старение.



ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МТМ

2) **Легированные мартенситные стали.** Термообработка: закалка и низкий отпуск.

Хромистые стали:
легирование
повышает
прокаливаемость.

Свойства сталей:
 $H_c=4,4-4,8$ А/м, $B_r=0,9-0,95$ Тл.

Марки сталей: **ЕХ**,
ЕХ3 (буква Е обозначает, что это магнитотвёрдый материал).



Вольфрамовая сталь
ЕВ6.

Вольфрам и хром образуют карбиды, что способствует повышению коэрцитивной силы.

Достоинства:

1) стойкость к ударам.

Недостатки:

1) нестабильные магнитные свойства при повышении температуры. Свойства стали **ЕВ6**: $H_c=4,4-4,8$ А/м, $B_r=1$ Тл



ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МТМ

3) **Кобальтовые стали** имеют более высокие магнитные свойства ($H_c=16\text{Тл}$, $H_c=1,1\text{Тл}$), чем хромистые и вольфрамовые.

Они бывают:

- 1) **низкокобальтовые** (9-10%Co),
- 2) **среднекобальтовые** (17-20%Co),
- 3) **высококобальтовые** (40-42%Co).



Увеличение количества кобальта способствует повышению магнитной мощности и хрупкости.

Марки сталей: **EX9K15M2, EX9K15M.**

Достоинства: мало подвержены старению от ударов.

Недостатки: дороговизна, дефицитность Co, сложность термической обработки и большая твёрдость.

Применяются для изготовления магнитов осциллографов, динамиков, магнето.



Магнитные свойства деформируемых сплавов для изготовления магнитов

Сплав	Марка и состав	W_{max} , кДж/м	H_c , кА/м	B_r , Тл
Хромко	30ХК25 (45%Fe, 30%Cr, 25%Co)	7,7	56	0,8
Викаллой	52%Co, 35%Fe, 13%V	8,8	28	0,6
Кунико	50%Cu, 21%Ni, 29%Co	6,5	36	0,53
Кунифе	60%Cu, 20%Ni, 20%Fe	6,7	47	0,55
Плати- накс	78%Pt, 22%Co	40	320	0,8



ЛИТЫЕ МТМ

Литые МТМ системы Fe-Ni-Al

Термическая обработка: 1)закалка - нагрев до 1250-1280°C и охлаждение с определённой для каждого сплава скоростью; 2)отпуск при температуре 580-600°C.

Недостатки:
дороговизна,
дефицитность
Co, сложность
термической
обработки и
большая
твёрдость.



Сплавы тверды,
хрупки и плохо
поддаются дефор-
мации, поэтому
магниты из них
изготавливают ли-
тьём. После литья
магниты только
шлифуют.

Для получения магнитов применяют методы литья в песчаные формы, по выплавляемым моделям, в металлические формы, т. е. в кокиль. Наибольшее распространение имеет литье в песчаные формы.

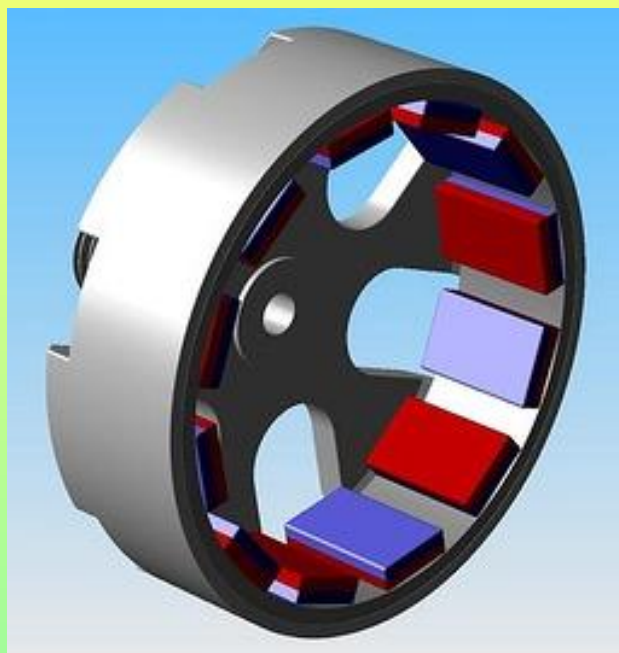


ЛИТЫЕ МТМ

Литые МТМ системы Fe-Ni-Al

1) Для создания магнитной текстуры сплавы типа альнико (при содержании $Co > 18\%$) подвергают термомагнитной обработке:

- нагрев до 1300°C и охлаждение в магнитном поле, При обработке в магнитном поле α -фаза выделяется в виде частиц, ориентированных вдоль поля.



2) Кристаллографическая текстура образуется в случае:

- направленной кристаллизации отливки в магнитном поле, при этом возникают столбчатые кристаллы (длиной до 300 мм), растущие в определённом направлении.



МАРКИ ЛИТЫХ МТМ

Наибольшее распространение в технике получили сплавы **ЮНД4, ЮНДК15, ЮНДК24** и др. (Ю - алюминий, Н – никель, Д – медь, К – кобальт, Т – титан, Б - ниобий) и другие (таблица).

Свойства литых МТМ

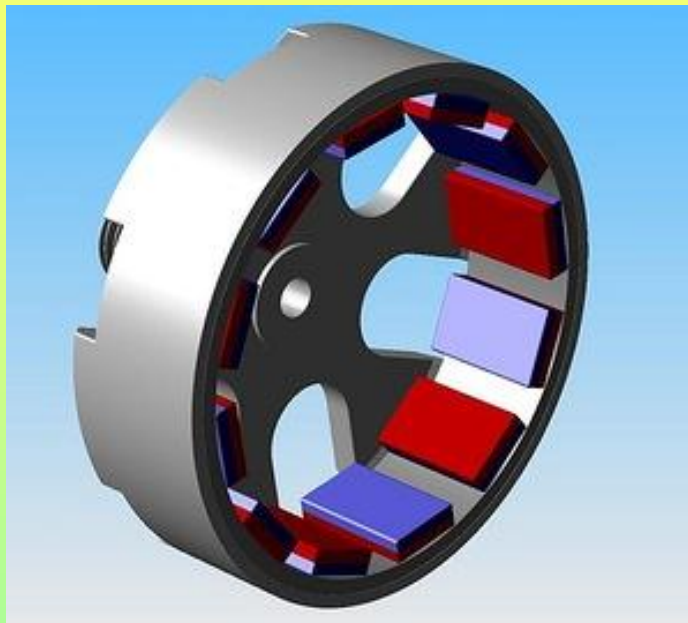
Сплав	W, кДж/м ³	H _c , кА/м	B _r , Тл
ЮНД8	5,1	44	0,6
ЮНДК18	9,7	55	0,9
ЮНДК35Т5Б	16	96	0,75



ПОРОШКОВЫЕ МТМ

Магниты простой формы и малых размеров получают из магнитотвердых порошков.

Для производства металлокерамических магнитов используют порошки железо-никель-алюминиевых сплавов и сплавов типа кунико, кунифе.



Металлокерамические магниты получают спеканием порошков железа, никеля и алюминия при температуре 1300°C в защитной атмосфере (аргона).

Используют мелкодисперсные порошки. Спеченные материалы несколько уступают по магнитным свойствам литым сплавам, однако этим методом можно изготовить очень точные мелкие магниты.



МАРКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МТМ

Сплав	W , кДж/м ³	H_c , кА/м	B_r , Тл
ММК1	3	24	0,6
ММК6	5	44	0,65
ММК7	10,5	44	0,95
ММК11	16	118	0,7

Марку сплава расшифровывают следующим образом: **ММК** – магнитный металлокерамический сплав, цифра – порядковый номер. Сплав ММК1-ММК6 изотропные, сплавы ММК7-ММК11 – анизотропные.

Для получения высокого уровня магнитных свойств спеченные сплавы подвергают термической и термомагнитной обработке, как и литые сплавы.



МАГНИТОТВЕРДЫЕ ФЕРРИТЫ

Магнитотвёрдые ферриты получают спеканием порошков оксидов Fe, Ba и Co.

Для изготовления постоянных магнитов используют феррит бария $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ (бариевые магниты) и феррит кобальта $CoO \cdot Fe_2O_3$ (вектолит).

Из бариевых ферритов изготавливают магниты для различных акустических приборов (громкоговорителей, микрофонов), фокусирующих систем.

Феррит	Состав	W, кДж/м ³	H _c , кА/м	B _r , Тл
6БИ240	Ba·6Fe ₂ O ₃	3	125	0,19
10КА165	CoO·6 Fe ₂ O ₃	5	143	0,23

Магниты из ферритов в 2-3 раза легче, чем из сплавов ЮНДК, что имеет большое значение для авиационного материаловедения. По магнитным свойствам они несколько уступают литым сплавам Fe-Ni-Al, но их можно использовать в высокочастотном поле без тепловых потерь.



МАГНИТОТВЕРДЫЕ ФЕРРИТЫ НА ОСНОВЕ РЗМ

Первая одна или две цифры в марке обозначают $2W_{\max}$. Буквы обозначают металл в оксиде, последние цифры – коэрцитивную силу, определённую по намагниченности.

Нашли применение ферриты на основе оксидов редкоземельных металлов: самария, празеодима, иттрия. Эти сплавы имеют большую коэрцитивную силу, что позволяет применять их для изготовления миниатюрных магнитов точных приборов,

Магнитные свойства спеченных сплавов на основе редкоземельных металлов (ГОСТ 21559-76)

Марка сплава	Химический состав, %	ω_{\max} кДж/м ³	H_{cB}	H_{cM}	B_r Тл
			кА/м		
КС37	37Sm; 63Co	55	540	1300	0,77
КС37А	37Sm; 63Co	65	560	1000	0,82
КСП37	37(Sm+Pr); 63Co	65	520	800	0,85
КСП37А	37(Sm+Pr); 63Co	72,5	500	640	0,9



Контрольные вопросы

1. На какие группы по способу изготовления делятся магнитотвёрдые материалы?

2. Какие материалы относятся к деформируемым?

3. Какие материалы относятся к литым?

3. Какие материалы относятся к порошковым?



14.3. МАТЕРИАЛЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Они разрабатываются для конкретных узких областей применения и имеют наивысшие значения одного или двух магнитных параметров.

Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) применяют в устройствах автоматики (запоминающие устройства), вычислительной техники, в аппаратуре телефонной связи.

$$\alpha = V_r / V_s$$

и

достигает
0,85-0,9



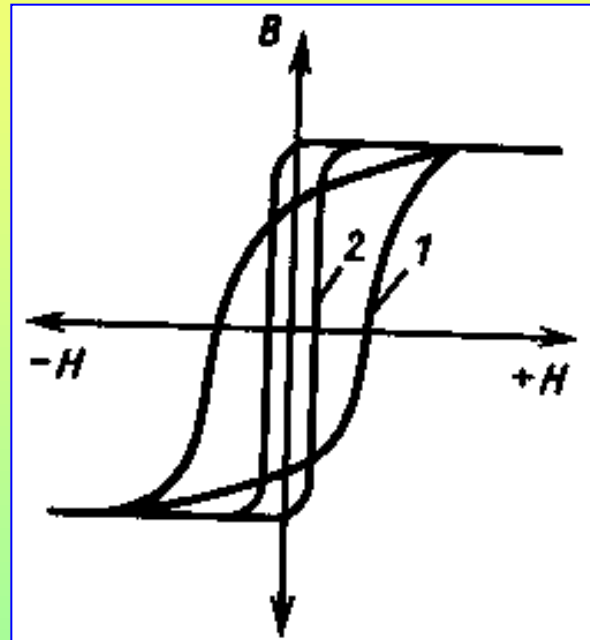
Коэффициент прямоугольности определяется как:

Широкое применение в вычислительной технике получили ферриты с ППГ из окислов марганца и магния: $MgO \cdot 3MnO \cdot Fe_2O_3$, а также полиферриты, содержащие кроме перечисленных оксиды Zn, Ca, Li с $K_p = 0,90 - 0,93$, пермаллои с ППГ.

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА

Способы получения материала с прямоугольной петлёй гистерезиса:

1) создание кристаллографической текстуры. Кристаллографическая текстура создаётся посредством холодной пластической прокатки с большими степенями обжатия.



1) создание магнитной текстуры. Магнитная текстура – путём охлаждения материала при закалке в магнитном поле (термомагнитная обработка).

В вычислительной технике нашли применение ферриты с ППГ на основе оксидов магния и марганца: пермаллои 50НП; 65НП.



ТЕРМОМАГНИТНЫЕ СПЛАВЫ

К термомагнитным относятся сплавы на основе Ni-Cu, Fe-Ni и Fe-Ni-Cr.

Они применяются для компенсации температурной погрешности в установках, вызываемой изменением индукции постоянных магнитов или сопротивления проводов в магнитоэлектрических приборах по сравнению с тем значением, при котором производилась градуировка.



Для этих ферромагнетиков точка Кюри лежит между 0 и 100°C в зависимости от добавок легирующих элементов.

Сплав Ni-Cu при содержании 30% Cu может компенсировать погрешности для пределов температуры от 20 до 80°C, при 40% - от -50 до +10°C.
Сплав Fe-Ni (30-35%) перестаёт быть ферромагнитным при +100°C.



МАТЕРИАЛЫ С БОЛЬШИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МАГНИТОСТРИКЦИИ

Сплавы с большим коэффициентом магнитострикции применяют для:

- 1) сердечников преобразователей магнитных колебаний в ультразвуковые,
- 2) для изготовления звукозаписывающих головок,
- 3) в установках для обработки твёрдых материалов и др.



а) Большой магнитострикцией обладает **никель** $\lambda_s = -37 \cdot 10^{-6}$.

б) Высокой магнитострикцией обладает сплав **железа с 13%Al** ($\lambda_s = 45 \cdot 10^{-6}$).

в) Более высоким коэффициентом магнитострикции обладают сплавы **железа с 50% Co** ($\lambda_s = +70 \cdot 10^{-6}$), которые используются для преобразователей большой мощности.

г) Сплав **железа с платиной** обладает наиболее высоким коэффициентом магнитострикции ($\lambda_s = 204 \cdot 10^{-6}$), но он весьма дорог.



Контрольные вопросы

1. Как создают прямоугольную петлю посредством получения кристаллографической текстуры?

2. Для чего предназначены термомагнитные сплавы?

3. Назовите области применения сплавов с большим коэффициентом магнитострикции.





Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

**г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Tel.(8-057)707-37-92**