

**ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni**

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18\_056/0013239





EVROPSKÁ UNIE  
 Evropské strukturální a investiční fondy  
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



1

---

---

---

---

---

---

---

---



**Západočeská univerzita v Plzni**  
Katedra materiálů a technologií

**7.**

**Elektrotechnické materiály  
KET/ELTM**

Ing. Robert Vik, Ph.D.



FAKULTA  
ELEKTROTECHNICKÁ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI

EK 410, [rvik@fel.zcu.cz](mailto:rvik@fel.zcu.cz)



EVROPSKÁ UNIE  
 Evropské strukturální a investiční fondy  
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



2

---

---

---

---

---

---

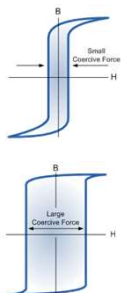
---

---

**Materiály pro magnetické obvody**

**Dělení dle magnetických vlastností**

- **magnetický měkké materiály**
  - ▶ snadno se magnetují, ale také rychle magnetizaci ztrácí
  - ▶ používají se pro obvody se střídavou magnetizací
  - ▶  $H_c < 1 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$
- **magnetický tvrdé materiály**
  - ▶ obtížně se magnetují, ale magnetizaci si uchovávají
  - ▶ používají se pro permanentní magnety
  - ▶  $H_c > 1 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$





EVROPSKÁ UNIE  
 Evropské strukturální a investiční fondy  
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



3

---

---

---

---

---

---

---

---

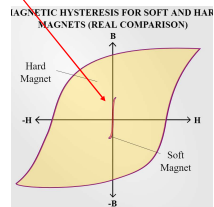
## Magnetický měkké materiály

### Charakteristické vlastnosti

- snadné zmagnetování i odsmagnetování
- úzká hysterézní smyčka (malá koercitivita)
- velká počáteční i maximální permeabilita
- co největší indukce nasycení
- co nejmenší magnetické ztráty

### Nejpoužívanější skupiny materiálů

- ▶ Fe a nízkouhlíkové oceli
- ▶ slitiny Fe-Si, Fe-Ni, Fe-Co
- ▶ ferity, slinované kovové prášky
- ▶ amorfni slitiny



4

## Ztráty v magnetických obvodech

### Hysterézní ztráty $P_h$

- ▶ důsledek magnetické hysterese při cyklickém magnetování feromagnetika (přímě úměrné ploše hysterézní smyčky)

$$P_h = f \cdot S_h \cdot V$$

### Ztráty vířivými proudy $P_v$

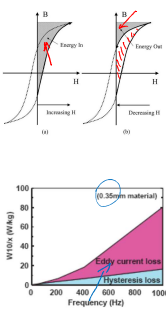
- ▶ důsledek elektrické vodivosti feromagnetik
- ▶ Jouleovy ztráty  $P_v = \frac{4}{3} \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B^2 \cdot \frac{V}{\rho}$

### Přídavné ztráty $P_p$

- ▶ vliv struktury, rozptylových toků, vyšších harmonických, magnetostrické a dalších příčin

### Celkové ztráty

$$P_{Fe} = P_h + P_v + P_p$$



5

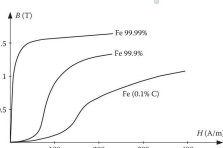
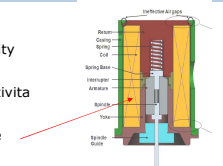
## Železo

### Čisté železo

- ▶ drahé na výrobu, vysoká hodnota permeability ( $\mu_{max} = 15\,000$ )
- ▶ horší mech. parametry (měkké), nízká rezistivita (vysoké ztráty vířivými proudy)
- ▶ použitelné pro DC mag. obvody (solenoidové ventily, relé)
- ▶ např. ARMCO®

### Práškové železo

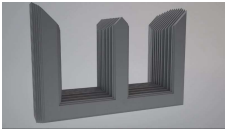
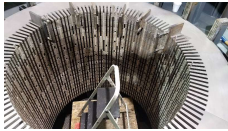
- ▶ kombinace čistého Fe v práškové podobě a polymerního pojiva
- ▶ jádra cívek pro vf obvody



6

## Elektrotechnické (křemíkové) oceli

- stavba magnetických obvodů transformátorů, motorů, generátorů, relé
- obsah křemíku v oceli
  - 0,5 ÷ 3,2 % dynamové plechy
  - 3,2 ÷ 4,6 % transformátorové plechy
- Si zvyšuje rezistivitu, ale zhoršuje zpracování



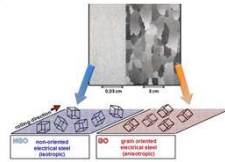
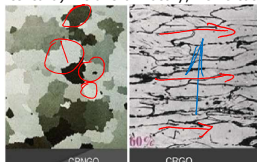
EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



7

## Elektrotechnické (křemíkové) oceli

- oceli pro elektrotechniku **válčované za tepla**
  - izotropní - motory, generátory
- oceli pro elektrotechniku **válčované za studena**
  - izotropní - točivé stroje, malé transformátory, spínače, relé
  - anizotropní (orientované) - mnohastupňové zpracování (tzv. Gosssova textura) - transformátory, velké točivé stroje

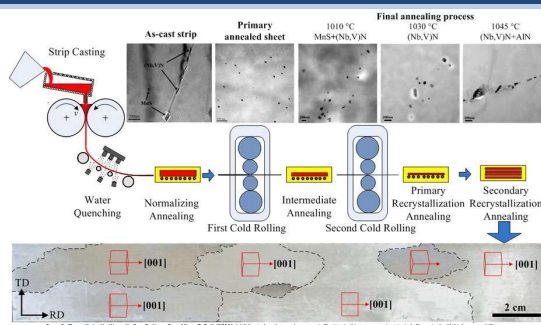


EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



8

## Elektrotechnické (křemíkové) oceli



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

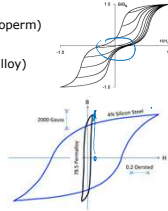


9

## Slitiny Fe-Ni (Permalloye)

- vedle čistého železa magneticky nejměkčí kovové materiály
- vysoká počáteční permeabilita (permalloy – permeability alloy)
- celá řada slitin s různým obsahem Ni (30 – 80 %)
  - s vysokým obsahem Ni (75 – 80 %) – vysoká počáteční a maximální permeabilita, velmi mag. měkké
  - slitiny s konstantní permivitou v nízkých polích (Perminvar, Izoperm) → pravouhlá smyčka
  - slitiny s permeabilitou závislou na teplotě (Termoperm, Calmalloy)

| Slitina                                     | $\mu_i$        | $\mu_{max}$      | $J_s [T]$ | $H_c [A \cdot m^{-1}]$ | $\rho \cdot 10^3 [Q \cdot m]$ |
|---------------------------------------------|----------------|------------------|-----------|------------------------|-------------------------------|
| Superalloy (78 % Ni + 5 % Mo + 17 % Fe)     | $1 \cdot 10^4$ | $1 \cdot 10^5$   | 0,80      | 0,3                    | 60                            |
| 79 Permalloy (78 % Ni + 4 % Mo + Fe)        | $2 \cdot 10^4$ | $2 \cdot 10^5$   | 0,85      | 4                      | 55                            |
| MU-metal (78 % Ni + 5 % Cu + Fe)            | $3 \cdot 10^4$ | $1 \cdot 10^5$   | 0,80      | 4                      | 42                            |
| Hipermet (50 % Ni + Cu, Mn, Si, W, Co + Fe) | 4500           | $1 \cdot 10^4$   | 1,60      | 20                     | 45                            |
| 45 Permalloy                                | 2700           | $2,3 \cdot 10^4$ | 1,60      | 24                     | 40                            |



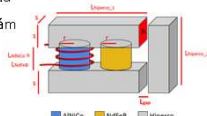
EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
Vysokotechnická univerzita

10

## Slitiny Fe-Co

- slitiny FeCo (Permendur) s vysokou indukcí nasycení ( $B_s$  až 2,5 T)
- všechny FeCo slitiny obecně vysoké  $T_c$  (> 900 °C)
- často používané 2V-Permendur, Supermendur, Hiperco
- použití
  - na pólové nástavce elektromagnetů ( $F \sim B^2$ )
  - vysokootáčkové motory, generátory
  - magnetická ložiska
  - aplikace, kde je třeba vysoká saturace materiálu
  - magnetické obvody vystavené vysokým teplotám



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
Vysokotechnická univerzita

11

## Magneticky měkké krystalické materiály

| Material                | Composition (%), Fe bal. |     |     |    |   |       | $B_s$  | $H_{90}$  | $\mu_{init}$ | $\mu_{max}$ | Resist. |
|-------------------------|--------------------------|-----|-----|----|---|-------|--------|-----------|--------------|-------------|---------|
|                         | Co                       | Cr  | Ni  | Mo | V | Other | G      | Oe        |              |             |         |
| Low carbon steel (M-19) |                          |     |     |    |   |       | 19.000 | 0.2-0.5   | 300          | 10.000      | 47      |
| Iron-Silicon (Si-Fe)    |                          |     |     |    |   |       | 19.700 | 0.2-0.5   | 350          | 50.000      | 50      |
| Qeltamax                |                          |     | 50  |    |   |       | 16.000 | 0.04-0.16 | 500          | 100.000     | 45      |
| Alloy 4750              |                          |     | 48  |    |   |       | 15.500 | 0.02-0.10 | 7.000        | 100.000     | 45      |
| MuMetal                 | 2                        | 77  |     |    |   | 5     | 7.500  | 0.01-0.03 | 20.000       | ~100.000    | 60      |
| Supermalloy             |                          | 79  | 5   |    |   |       | 7.800  | ~0.005    | 60.000       | 800.000     | 65      |
| Perminvar (7-70)        | 7                        | 70  |     |    |   |       | 12.500 | 0.6       | 850          | 4.000       | 16      |
| Kovar                   | 17                       | 29  |     |    |   |       | 12.000 |           |              | 3.000       | 49      |
| Perminvar (45-25)       | 25                       | 45  |     |    |   |       | 15.500 | 1.2       | 400          | 2.000       | 19      |
| Hiperco 27              | 27                       | 0.6 | 0.6 |    |   |       | 24.200 | 1.0       | 650          | 10.000      |         |
| Hiperco 35              | 35                       | 0.5 |     |    |   |       | 24.200 | 1.0       | 650          | 10.000      | 20      |
| 2V-Permendur            | 49                       |     |     |    | 2 |       | 24.000 | 2.0       | 800          | 4.900       | 26      |
| Supermendur             | 49                       |     |     |    | 2 |       | 24.000 | 0.2       |              | 92.500      |         |
| Hiperco 50A             | 49                       |     |     |    | 2 |       | 24.000 | < 1       |              | 15.000      | 40      |
| Permendur               | 50                       |     |     |    |   |       | 24.500 | 2.0       | 800          | 5.000       | 7       |
| Metglas 2705M           | 79                       | 3.5 | 3.8 |    |   | 9.2   | 7.700  | 0.4       |              | 600.000     | 136     |
| Metglas 2714A           | 85                       | 3   |     |    |   | 8     | 5.700  |           |              | 1.000.000   | 142     |

EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
Vysokotechnická univerzita

12

### Amorfní kovové slitiny (kovová skla)

- jedná se o kovové materiály, u kterých není v důsledku prudkého ochlazení vytvořena krystalická mřížka
- rychlost ochlazení  $10^4 - 10^6 \text{ K.s}^{-1}$
- vysoká permeabilita ( $\sim 10^5 - 10^6$ ), velmi malé  $H_c$  ( $10^{-1} - 10^0 \text{ A.m}^{-1}$ )
- obecný vzorec magnetických skel  $(\text{Fe,Co,Ni})_{80} (\text{B,C,P,Si})_{20}$  - MATGLAS
- několikanásobně vyšší rezistivita ve srovnání s Fe-Si  $\rightarrow$  nízké ztráty (až 5x nižší)
- distribuční transformátory (50-1000 kVA, nízké ztráty naprázdno), speciální motory s vysokou pracovní frekvencí atd.

EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
MAGNETICKÝ TRŽNÝ

13

### Amorfní kovové slitiny (kovová skla)

- Distribuční transformátory s amorfním jádrem

indukčnost  $B=1,5 \text{ T}$  (typicky CRGO 2 T)  
velký elektrický odpor +  
+ tloušťka plechů  $25 \mu\text{m}$  (orient. plechy  $0,25 - 0,35 \text{ mm}$ )  $\rightarrow$  extrémně nízkoztrátová jádra transformátorů - proti Si oceli snížení ztrát o 60%

vysoká permeabilita  
velká pevnost  
vysoká ořezuvzdornost a korozivzdornost  
dobře snáší mechanické deformace bez ovlivnění mag. vlastností

Transformátory s jádrem z orientovaných plechů vs. transformátory AMBT

Srovnání kumulativních nákladů (ABB 630 kVA)

Vyšší pořizovací náklady  
Tepelná stabilita poloviční

EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
MAGNETICKÝ TRŽNÝ

14

### Magneticky měkké ferity

- ferimagnetické látky (nevykompenzované antiparalelní uspořádání momentů)
- obecný vzorec  $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (Me = dvojmocný kov (Zn, Mn, Ni, Mg, Co, Cd))
- vysoká rezistivita ( $10^2 - 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ )
- záporný teplotní součinitel rezistivity
- nízké ztráty vířivými proudy
- nízká indukce nasycení
- výroba slinováním směsi oxidů a pojiva
- v aplikacích (filtrační členy pro telekomunikace, antény, cívky, různé typy induktorů, transformátorů a tlumivků pro spínané zdroje)

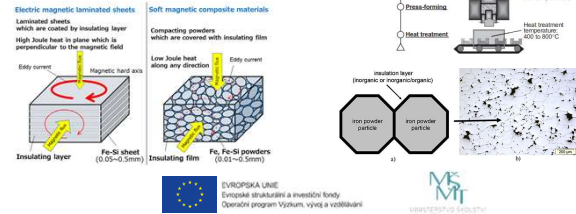
EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
MAGNETICKÝ TRŽNÝ

15

## Práškové kompozitní materiály

- kompozitní materiály na bázi slitin Fe a Ni v práškové podobě, jednotlivé částice elektricky izolovány (soft magnetic composites, SMC)
- vyznačují se vysokou nasycenou indukcí a vysokou rezistivitou → nízké vř ztráty
- nejpoužívanější typy:
  - MPP (molybdenpermalloy, Ni80Fe20)
  - HF (HighFlux, permalloy, Ni50Fe50)
  - KOOL Mμ (Sendust, FeSiAl)



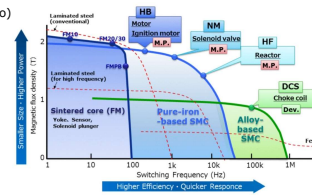
EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

16

## Práškové kompozitní materiály

- kompozitní materiály na bázi slitin Fe a Ni v práškové podobě, jednotlivé částice elektricky izolovány (soft magnetic composites, SMC)
- vyznačují se vysokou nasycenou indukcí a vysokou rezistivitou → nízké vř ztráty
- nejpoužívanější typy:
  - MPP (molybdenpermalloy, Ni80Fe20)
  - HF (HighFlux, permalloy, Ni50Fe50)
  - KOOL Mμ (Sendust, FeSiAl)



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

17

## Porovnání magneticky měkkých materiálů

|              | Low Frequency<br>< 100Hz Losses                          | High Frequency<br>> 100Hz Losses | Temperature<br>Stability | Cost                                  | Mechanical<br>Properties | Thermal<br>Conductivity | B <sub>s</sub>      | Initial<br>Permeability | Resistivity                   | Material<br>TBL    | System TBL             |
|--------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------|
| Conventional | Low C Steels                                             |                                  |                          | Very Low Cost                         | Good                     |                         |                     |                         |                               | Commercial         | Commercial             |
|              | Si Steels                                                |                                  |                          |                                       |                          |                         |                     |                         |                               | Commercial         | Commercial             |
|              | NiFe Alloys                                              | Very Low Loss                    |                          |                                       |                          |                         |                     | Very Soft Alloy         |                               | Commercial         | Commercial             |
|              | CuFe Alloys                                              |                                  | High Temp                |                                       |                          |                         | High B <sub>s</sub> |                         |                               | Commercial         | Commercial             |
| Emerging     | Amorphous Alloys                                         | Very Low Loss                    |                          | Higher \$ / kg, But<br>Smaller Volume |                          |                         |                     | Very Soft Alloy         | Amorphous                     | Commercial         | 20W Device             |
|              | Fe-Based Nanocomposite<br>Alloys (Conventional)          | Very Low Loss                    |                          | Higher \$ / kg, But<br>Smaller Volume | Strong                   |                         |                     | Very Soft Alloy         | Amorphous<br>Matrix           | Very Soft<br>Alloy | No Significant<br>Gain |
|              | Fe-Based Nanocomposite<br>Alloys (Partially Crystalline) | Very Low Loss                    |                          | Higher \$ / kg, But<br>Smaller Volume |                          |                         |                     | Very Soft Alloy         | Amorphous<br>Matrix           | Very Soft<br>Alloy | No Significant<br>Gain |
|              | Co-Based Nanocomposite<br>Alloys                         | Very Low Loss                    |                          | Higher \$ / kg, But<br>Smaller Volume |                          |                         |                     | Very Soft Alloy         | Amorphous<br>Matrix           | Very Soft<br>Alloy | No Significant<br>Gain |
|              | Soft Magnetic Composites                                 |                                  |                          |                                       |                          |                         |                     |                         | Insulating<br>Binder / Matrix | Commercial         | Very Soft<br>Alloy     |
|              | Ferrites                                                 |                                  |                          |                                       |                          |                         | High B <sub>s</sub> |                         |                               | Commercial         | High B <sub>s</sub>    |

Unacceptable  
Not Ideal  
Suitable  
Good  
Best in Class

EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS MT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

18

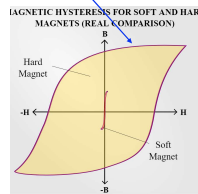
## Magnetický tvrdé materiály

### Charakteristické vlastnosti

- těžko se magnetují i odmagnetovávají
- široká hysterezní smyčka (velká koercitivita,  $> 1\,000\text{ A/m}$ )
- vysoké hodnoty remanentní indukce
- používají se k výrobě permanentních magnetů

### Nejpoužívanější skupiny materiálů

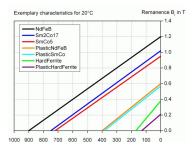
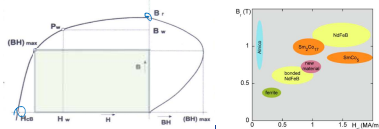
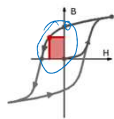
- ▶ slitinové (Al-Ni-Co)
- ▶ tvrdé ferity, práškové materiály
- ▶ magnety na bázi vzácných zemin (Sm, Nd)



19

## Charakteristické hodnoty permanentních magnetů

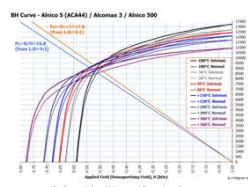
- pro permanentní magnety důležitý II. kvadrant hysterezní smyčky
- nejdůležitější parametry
  - ▶ **remanentní indukce  $B_r$**  - hodnota mag. indukce, která se ustálí po zdemagnetování v uzavřeném obvodu magnetu bez působení vnějšího magnetického pole
  - ▶ **koercitivní intenzita  $H_c$**  - odolnost magnetu proti odemagnetování (vnějším polem i vlastní demagnetizací)
  - ▶ **maximální energetický součin ( $BH_{max}$ )** - magnetická energie uložená v magnetu



20

## Slitinové magnety AlNiCo

- nejčastější slitiny AlNiCo, AlNi (Fe + Al, Ni, Co)
- jsou tvrdé, křehké, špatně obrobitelné - umožňují složitější tvary
- vyrábějí se odléváním a práškovou metalurgií
- vysoké hodnoty  $T_c$  ( $> 800\text{ °C}$ ) - magnety vystavené vysokým teplotám, malé tepelné stárnutí
- pro permanentní magnety např. v měřicích přístrojích, akustických měničích, elektrických strojích apod.



21

## Magneticky tvrdé ferity

- keramiky s obecným vzorcem  $(MO)_6(Fe_2O_3)_3$  (M dvojmocný prvek Ba, Sr)
- nízká cena, ale také nízká remanence  $B_r$
- tvrdé, křehké, odolné proti korozi
- magnety v průmyslovém, kancelářském i domácím provedení
  - ▶ elektromotory, generátory, magnetické spojky a brzdy
  - ▶ senzory polohy a otáčení
  - ▶ reproduktory
  - ▶ aplikace ve výrobách denní potřeby (kancelář, hračky, dekorace)
- nahrazovány NdFeB magnety



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

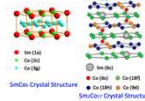
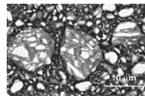
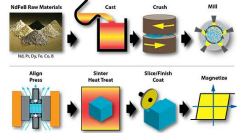
MT  
MAGNETICKÝ TRŽNÝ

22

## Magnety na bázi vzácných zemin

### Samarium-kobaltové magnety

- Intermetalické sloučeniny  $SmCo_5$  (starší) a  $Sm_2Co_{17}$  (novější)
- výroba lisováním homogenizované směsi v magnetickém poli s následným sintrováním
- vysoké hodnoty  $T_c$  (cca 750-800 °C) a  $BH_{max}$  malý pokles magnetizace s teplotou
- odolné vůči korozi
- nevýhodou vysoká tvrdost a extrémní křehkost
- pracovní teploty 250 °C ( $SmCo_5$ ) – 350 °C ( $Sm_2Co_{17}$ )



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

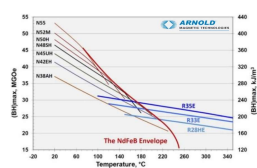
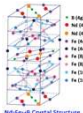
MT  
MAGNETICKÝ TRŽNÝ

23

## Magnety na bázi vzácných zemin

### Neodymové magnety

- intermetalické sloučeniny  $Nd_2Fe_{14}B$  (neodymové)
- výroba obdobně jako SmCo magnety
- vůbec nejvyšší hodnoty  $BH_{max}$  (až 400 kJ/m<sup>3</sup>) = nejsilnější magnety
- křehké, málo odolné vůči korozi (povlaky Ni, mosaz, Cu, epoxy, atd.)
- nižší pracovní teploty než SmCo (běžně 80 °C, ale možné i cca 200 °C)



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT  
MAGNETICKÝ TRŽNÝ

24

## Magnety na bázi vzácných zemin

- použití
  - ▶ miniaturní silné magnety ve spotřebičích
  - ▶ počítačová technika
  - ▶ břemenové magnety
  - ▶ magnetické separátory
  - ▶ upínače na broušení a frézování
  - ▶ rotory a statory motorů, magnetické brzdy
  - ▶ spojky, ložiska



Evropská strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



25

## Magnety na bázi vzácných zemin - klasifikace

- **NdFe**
  - ▶ není uvedeno – 80 °C
  - ▶ M – 100 °C
  - ▶ H – 120 °C
  - ▶ SH – 150 °C
  - ▶ UH – 180 °C
  - ▶ EH – 200 °C
  - ▶ AH – 240 °C
- **SmCo**
  - ▶ značení obdobné jako u NdFe (dle hodnoty  $BH_{max}$  v MGOe), rozsah cca 16 – 32 MGOe
  - ▶ pracovní teploty dle typu  $SmCo_5$  (250 °C),  $Sm_2Co_{17}$  (350 °C)

| Materiál | Remanence<br>Br (T) | Koerchovní síla Hc (kA/m) | Max. energetický součin<br>(BH) <sub>max</sub> (kJ/m <sup>3</sup> ) |
|----------|---------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| N30      | 1.08 - 1.13         | ≥ 796                     | ≥ 1353                                                              |
| N33      | 1.13 - 1.17         | ≥ 812                     | ≥ 1353                                                              |
| N35      | 1.17 - 1.22         | ≥ 868                     | ≥ 1353                                                              |
| N38      | 1.22 - 1.25         | ≥ 899                     | ≥ 1353                                                              |
| N40      | 1.25 - 1.28         | ≥ 907                     | ≥ 1353                                                              |
| N42      | 1.28 - 1.32         | ≥ 915                     | ≥ 1353                                                              |
| N45      | 1.32 - 1.38         | ≥ 923                     | ≥ 1353                                                              |
| N48      | 1.38 - 1.42         | ≥ 923                     | ≥ 1353                                                              |
| N50      | 1.40 - 1.45         | ≥ 796                     | ≥ 1353                                                              |
| N52      | 1.43 - 1.48         | ≥ 796                     | ≥ 1353                                                              |
| N54      | 1.45 - 1.51         | ≥ 939                     | ≥ 1353                                                              |



Evropská strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



26

## Porovnání vlastností magneticky tvrdých materiálů

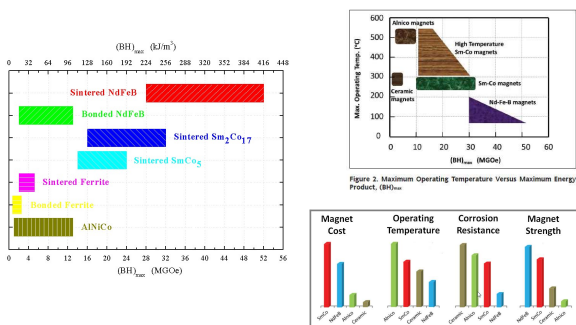
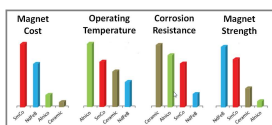


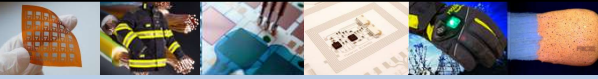
Figure 2. Maximum Operating Temperature Versus Maximum Energy Product, (BH)<sub>max</sub>



Evropská strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



27



**Západočeská univerzita v Plzni**  
*Katedra materiálů a technologií*

**Děkuji za pozornost**



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



FAKULTA  
ELEKTROTECHNICKÁ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI



FAKULTA  
MECHANICKÁ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI

28

---

---

---

---

---

---

---

---