

PERMANENTNÍ MAGNETY

CO JE TŘEBA VĚDĚT O MAGNETECH

Obsah

Teoretický úvod.□	5
Magnetické pole.□	5
Základní fyzikální veličiny popisující magnetické pole.	6
Reakce materiálu na působení magnetického pole.	7
Uspořádání magnetických momentů různých typů materiálu.	8
Hodnocení vlastností magnetických materiálů.	8
Srovnání demagnetizačních křivek.	9
Magneticky tvrdé ferity...□	10
Co je třeba vědět o magneticky tvrdých feritech ...	10
Krystalografická buňka krystalu $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	10
Magnetické vlastnosti. □	11
Teplotní závislosti magnetických vlastností magneticky tvrdých feritů	11
Blokové schéma výrobního procesu magneticky tvrdých feritových permanentních magnetů.	11
Blokové schéma výrobního procesu feritových magnetů.	12
Permanentní magnety ze vzácných zemin.	12
Co je třeba vědět o magnetech ze vzácných zemin.	12
Krystalografická buňka krystalu SmCo_5 a mikrostruktura.	13
Krystalografická buňka krystalu $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ a mikrostruktura.	13
Krystalografická buňka krystalu $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ a mikrostruktura.	14
Struktura $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ (1000 × zvětšeno).	14
Krystalografická buňka krystalu $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a mikrostruktura.	15
Obr. Struktura NdFeB - (1000 × zvětšeno).	15
Vývoje permanentních magnetů ze vzácných zemin.	16
Mechanické vlastnosti.	16
Chemické vlastnosti. ...□	16
Odolnost proti korozi. □	16
Magnetické vlastnosti. □	18
Teplotní závislost.....□	18
Reverzibilní ztráty.□	18
Teplotní koeficienty. ...□	18
Ireverzibilní ztráty.□	18
Poznámka.□	18
Blokové schéma výrobního procesu permanentních magnetů ze vzácných zemin.	19
Technické informace o permanentních magnetech.	20
Jednotky magnetických veličin.	20
Opracování trvalých magnetů.	21
Možné způsoby magnetování.	22
Přednostní osa orientace.	23
1. Izotropní permanentní magnety.	23
2. Anizotropní permanentní magnety.	23
3. Permanentní magnety s axiální přednostní osou orientace.	23
4. Permanentní magnety s diametrální přednostní osou orientace.	23
5. Permanentní magnety pólově orientované.	23
Magnetování trvalých magnetů.	23
Intenzita magnetického pole, nutného k namagnetování.	24
Některé odborné výrazy a jejich význam.	25
Anizotropie.....□	25
B - magnetická indukce.....	25
Barium (Ba).....□	25
$(B \cdot H)_{\text{max}}$ - maximální energetický součin	25

Curie teplota	25
Demagnetizace	25
Demagnetizační faktory (N).....	26
Demagnetizační křivka.....	26
Fluxmetr	26
G - gauss.....	26
H - intenzita magnetického pole	26
Hustota (specifická hmotnost).....	26
Hustota energie (B . H)	26
Hystereze.....	26
Hysterezní smyčka	26
Indukce magnetická (B)	26
Intenzita magnetického pole (H).....	27
Ireverzibilní	27
Izostatický	27
Izotropie	27
J - magnetická polarizace	27
Kalibrace	27
Keramické permanentní magnety	27
Koercitivní intenzita magnetického pole (koercivita).....	27
Permeabilita vakua, (μ_0)	27
Magnetická indukce (B).....	27
Magnetická polarizace (J)	27
Magnetický obvod.....	28
Magnetický pól.....	28
Magnetický tok (Φ)....	28
Magnetování.....	28
Magnetismus	28
Maxwell.....	28
Měření hustoty magnetického toku (indukce).....	29
Měření magnetického toku.....	29
Oe - oersted	29
Permanentní (trvalý) magnet	29
Permeabilita (μ).....	29
Pracovní bod.....	29
Pracovní přímka	29
Prioritní směr magnetování (též přednostní osa magnetizace)	29
Remanentní magnetická indukce B_r	29
Reverzibilní (neboli vratná) permanentní permeabilita ($\mu_{rev.}$)	30
Reverzibilní	30
Rozptylový magnetický tok	30
Siločáry	30
Sintrování	30
Stabilizace	30
Strontium.....	30
Susceptibilita, magnetická (χ)	30
Sycení.....	30
Teplota aplikace (pracovní teplota).....	30
Teplotní koeficient.....	31
T - tesla.....	31
Magneticky tvrdý ferit	31

Úhel zkreslení (korekce)	31
Užitečný magnetický tok.....	31
Velikostní (rozměrový) poměr $h : D$	31
Vzduchová mezera□	31
W - weber.....□	31
Zkreslení (korekce)□	31
Toxikologie a radioaktivita	32
Vliv radioaktivního záření na permanentní magnety.	32
Chemická odolnost.....□	32
Barnaté a strontnaté magneticky tvrdé ferity.....	32
Permanentní magnety SmCo_5 a $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$	32
Sintrované permanentní magnety NdFeB.	33
Povlakování.....□	33
Plastem pojené permanentní magnety NdFeB.	33
Kovové povlakování. .□	33
Povlakování plastem. .□	33
Příklady použití.□	33
Pohony.....□	33
Výpočetní technika.....□	33
Elektrotechnika	33
Energetika.....□	34
Jemná mechanika	34
Transportní technika...□	34
Přístroje v domácnosti □	34
Humánní a veterinární medicína	34
Automobilová technika	34
Magnetické systémy...□	34
Strojírenství.....□	34
Telekomunikace	34
Měření a regulace.....□	34
Letectví, astronautika, lodní doprava	34
Senzory.....□	34
Ekologie	34
Stanovení přídržné síly u trvalých magnetů	35
Závislost přídržné síly na druhu materiálu, ze kterého jsou zhotoveny pólové nástavce	37
Závislost hodnoty přídržné síly permanentního magnetu na stykové ploše	37
Poměr přídržné síly k posuvné síle	37
Stanovení hodnoty magnetické indukce (hustoty magnetického toku).	38
Příklad č.1	38
Magnetické systémy□	40
Bezpečnostní pokyny□	42
Velmi důležité pro manipulaci s trvalými magnety !!!.....	42
Vliv na člověka.□	42
Kvalita□	43
Dovolené výrobní tolerance mechanických parametrů permanentních magnetů.	43
Mechanická poškození.	44
Ulpívající částice.....□	44
Magnetické vlastnosti.□	44
Balení a doprava.....□	44

Teoretický úvod.

Magnetické pole.

Přítomnost magnetického pole se projevuje tzv. magnetickými jevy a účinky. Pro laického pozorovatele jsou patrné zejména jeho silové účinky na okolní tzv. feromagnetické látky především v blízkosti tzv. pólů zdroje magnetického pole. Dohodou bylo stanoveno označení magnetických pólů:

1. „SEVERNÍ“ pól – mezinárodně označen písmenem „N“ (v české odborné literatuře často písmenem „S“) a na zdrojích magnetického pole (např. na permanentních magnetech) bývá označen barevným pruhem. Dohodou bylo stanoveno, že siločáry magnetického pole v místě severního pólu vystupují z tělesa zdroje magnetického pole.
2. „JIŽNÍ“ pól - mezinárodně označen písmenem „S“ (v české odborné literatuře často písmenem „J“) a na zdrojích magnetického pole (magnetech) bývá bez označení. Dohodou bylo stanoveno, že siločáry magnetického pole v místě jižního pólu vstupují (vracejí se) do tělesa zdroje magnetického pole. Vnitřkem tělesa zdroje magnetického pole siločáry pokračují k severnímu pólu a tvoří uzavřené křivky (pole vírové), čímž se mj. liší od siločar elektrického pole (pole zřídlové).

V praxi se také velmi často využívá poznatek, že nestejnojmenné póly dvou zdrojů magnetického pole se přitahují a stejnojmenné se odpuzují (fyzikální princip například tzv. „magnetického polštáře“, na kterém se pohybují vysokorychlostní dopravní prostředky).

Uvádí se, že druhové označení magnetického pole vzniklo vžitým zobecněním názvu starořeckého města Magnésie, v jehož okolí se 500 let p.n.l. vyskytovala rozsáhlá povrchová ložiska vydatně přirozeně zmagetované železné rudy Fe_3O_4 (magnetovec).

Teorie, objasňující fyzikální podstatu magnetického pole, však mohla být vytvořena až na základě poznatků o jevech, souvisejících s průtokem elektrického proudu ve vodiči (IX. století) a teorie o struktuře hmoty (počátek XX. století). Elektrony, jež jsou nosičem elektrického náboje, při svém pohybu uvnitř atomů hmoty (spinová rotace a obíhání kolem jádra atomu) vytvářejí elementární magnetické momenty - podobně jako vzniká magnetické pole v okolí vodiče, kterým protéká elektrický proud, což je také uspořádaný pohyb volných nosičů elektrického náboje, vyvolaný silovým působením elektrického pole.

Pokud jsou tyto elementární magnetické momenty jednotlivých elektronů v atomech orientovány zcela neuspořádaně („nahodile“), dochází k jejich vzájemnému vykompenzování a daná látka není zdrojem magnetického pole. Čím více jednotlivých elementárních magnetických momentů elektronů je orientováno souhlasně, tím více je daná látka magnetická. Zmagetování za „normálních“ podmínek nemagnetických látek vnějším magnetickým polem lze vysvětlit ovlivněním pohybu elektronů a tím i orientace jejich elementárních magnetických momentů silovým působením vnějšího magnetického pole. Přestane-li vnější magnetické pole působit, obnoví se (v ideálním případě) původní stav pohybu elektronů v atomech a tím i původní neuspořádaná („nahodilá“) orientace jejich elementárních magnetických momentů - daná látka bude opět nemagnetická.

Pokud se výchozí stav pohybu elektronů neobnoví zcela, zůstává původně nemagnetická látka více či méně zmagetovaná i po odstranění vlivu vnějšího magnetického pole. Na stejném principu lze také vysvětlit zmenšení nebo úplné vymizení magnetického pole zmagetované látky jejím ohřevem případně roztavením nebo působením ionizujícího záření.

Základní fyzikální veličiny popisující magnetické pole.

1. Magnetický tok (Φ) – vektorová fyzikální veličina, vyjadřující počet (indukčních) siločar magnetického pole procházejících danou plochou, kolmou na směr orientace siločar. Fyzikální jednotka magnetického toku:

a) v mezinárodní soustavě jednotek SI (v současnosti používaná):

1 weber [Wb]

1 voltsekunda [Vs] odvozená ze vztahu: $\Phi = U_i \cdot t$ [Vs; V, s]

b) v mezinárodní soustavě jednotek CGS (předchůdce měrové soustavy SI):

1 maxwell [M]

c) vzájemný přepočet fyzikálních jednotek:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs} = 10^8 \text{ M}$$

Základní matematický vztah pro výpočet:

$$\Phi = B \cdot S \quad [\text{Wb}; \text{T}, \text{m}^2]$$

2. **Intenzita magnetického pole (H)** - vektorová fyzikální veličina, vyjadřující „mohutnost“ magnetického pole v závislosti na faktorech, které pole vytvářejí (např. velikost elektrického proudu, tekoucího vodičem cívky) a nezávisle na parametrech prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno.

Fyzikální jednotka intenzity magnetického pole:

a) v mezinárodní soustavě jednotek SI (v současnosti používaná):

1 ampér na metr [Am^{-1}]

b) v mezinárodní soustavě jednotek CGS (předchůdce měrové soustavy SI):

1 oersted [Oe]

c) vzájemný přepočet fyzikálních jednotek:

$$1 \text{ Am}^{-1} = 4\pi / 1000 = 0,0125664 \text{ Oe}$$

Základní matematický vztah pro výpočet:

$$H = F_m / l \quad [\text{Am}^{-1}; A, \text{m}]$$

F_m magnetomotorické napětí

l střední délka siločáry magnetického pole

$$H = B / \mu \quad [\text{Am}^{-1}; \text{T}, \text{Hm}^{-1}]$$

$$H = B / (\mu_0 \cdot \mu_r) \quad [\text{Am}^{-1}; \text{T}, \text{Hm}^{-1}, -]$$

3. **Magnetická indukce (B)** - vektorová fyzikální veličina, vyjadřující počet (indukčních) siločar magnetického pole procházejících jednotkovou plochou (1m^2), kolmou na směr siločar - tj. hustotu (indukčních) siločar daného magnetického pole. Fyzikální jednotka magnetické indukce:

a) v mezinárodní soustavě jednotek SI (v současnosti používaná):

1 tesla [T]

1 voltsekunda/ m^2 [Vs.m^{-2}] → odvozená ze vztahu: $B = \Phi / S$ [Vs.m^{-2} ; Vs, m^2]

b) v mezinárodní soustavě CGS (předchůdce měrové soustavy SI):

1 gauss [G]

c) vzájemný přepočet fyzikálních jednotek:

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Vs.m}^{-2} = 10^4 \text{ G}$$

Základní matematický vztah pro výpočet:

$$B = \mu \cdot H \quad [\text{T}; \text{Hm}^{-1}, \text{Am}^{-1}]$$

4. **Permeabilita** neboli **prostupnost prostředí** (μ) - skalární fyzikální veličina, vyjadřující magnetickou polarizovatelnost (magnetickou „vodivost“, prostupnost pro magnetické pole) prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno.

Fyzikální jednotka permeability prostředí:

a) v mezinárodní soustavě jednotek SI (v současnosti používaná):

1 henry na metr $[Hm^{-1}]$

1 tesla/ampér/m $[T/Am^{-1}] \rightarrow$ ze vztahu: $\mu = B / H$ $[T/Am^{-1} ; T, Am^{-1}]$

b) v mezinárodní soustavě jednotek CGS (předchůdce měrové soustavy SI):

1 gauss na oersted $[G/Oe] \rightarrow$ odvozená ze vztahu: $\mu = B / H$ $[G/Oe ; G, Oe]$

c) vzájemný přepočít fyzikálních jednotek:

$1 H.m^{-1} = 1 T/Am^{-1}$

Základní matematický vztah pro výpočet:

$\mu = B / H$ $[Hm^{-1} ; T, Am^{-1}]$

5. **Permeabilita** neboli **prostupnost vakua** (μ_0) čili **magnetická indukční konstanta vakua** - skalární fyzikální veličina, vyjadřující magnetickou polarizovatelnost (magnetickou „vodivost“, prostupnost pro magnetické pole) vakua:

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 1,256637 \cdot 10^{-6} T/Am^{-1} = 1 G/Oe$

6. **Relativní (poměrná) permeabilita** neboli **prostupnost prostředí** (μ_r) - skalární fyzikální veličina, popisující relativní magnetickou polarizovatelnost (magnetickou „vodivost“, prostupnost pro magnetické pole) prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno. Tato fyzikální veličina tedy vyjadřuje, kolikrát je dané prostředí magneticky polarizovatelnější (magneticky „vodivější“, prostupnější pro magnetické pole), než vakuum - je to veličina bezrozměrná.

Základní matematický vztah pro výpočet:

$\mu_r = B / (\mu_0 \cdot H) = \mu / \mu_0$ $[-; T, Hm^{-1}, Am^{-1} ; Hm^{-1}, Hm^{-1}]$

Reakce materiálu na působení magnetického pole.

Magnetické pole může být vytvořeno v jakémkoli prostředí. Experimentálně však bylo ověřeno, že magnetické pole určité intenzity vyvolá v různých prostředích odlišné účinky. Protože intenzita magnetického pole je nezávislá na prostředí, mění se v závislosti na magnetických vlastnostech prostředí magnetická indukce, což vyjadřuje vztah:

$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ $[T; Hm^{-1}, Am^{-1} ; Hm^{-1}, -, Am^{-1}]$

Rozdílné magnetické vlastnosti prostředí vyjadřuje zejména **relativní (poměrná) permeabilita prostředí**, podle jejíž hodnoty rozlišujeme materiály:

1. **Diamagnetické** ($\mu_r < 1$) – vnější magnetické pole je tímto prostředím mírně zeslabováno. Mezi diamagnetické látky jsou zařazovány inertní plyny, bromid draselný, voda ($\mu_r = 0,999\,991$), kuchyňská sůl ($\mu_r = 0,999\,9984$), měď ($\mu_r = 0,999\,990$), bizmut ($\mu_r = 0,999\,848$), rtuť, zinek, olovo, stříbro, zlato, některé plasty, organické látky, supravodiče a další látky.

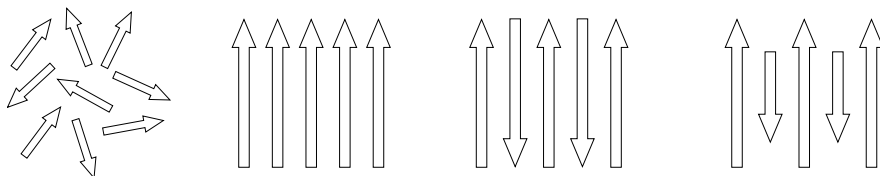
2. **Paramagnetické** ($\mu_r > 1$) – jejich atomy mají ve valenční sféře elektronového obalu zpravidla méně než 4 elektrony a vnější magnetické pole je tímto prostředím mírně zesilováno. Do skupiny paramagnetických látek je řazen např. plynný kyslík ($\mu_r = 1,000\,001\,86$), kapalný kyslík ($\mu_r = 1,003\,620$), hliník ($\mu_r = 1,000\,023$), platina ($\mu_r = 1,000\,264$), paládium, vanad, chrom, titan, ebonit, hořčík, sodík, draslík, vzduch, různé přechodné kovy, kovy vzácných zemin, aktinidy a jiné látky.

3. **Feromagnetické** ($\mu_r \gg 1$), řádově $100 \div 100\,000$) - jejich atomy mají částečně neobsazené některé vnitřní sféry elektronového obalu a současně splňují požadavek na určitý interval hodnot poměru mezi meziatomovou vzdáleností a poloměrem atomu. Vnější magnetické pole je tímto prostředím velmi zesilováno. Jsou to vlastně paramagnetické látky obsahující v pevném stavu skupiny atomů (tzv. domény neboli Weissovy oblasti o objemu $0,001 \div 1\text{ mm}^3$, které „oddělují“ od okolí tzv. Blochovy stěny o tloušťce $10^{-6} \div 10^{-8}\text{ mm}$), jejichž magnetické momenty jsou spontánně (tj. i bez působení vnějšího magnetického pole) **shodně** orientovány (tzv. nasycený stav). Výsledné magnetické momenty jednotlivých domén jsou však opět orientovány neuspořádaně („náhodně“) a navzájem se vykompenzovávají – materiál je nemagnetický. Vlivem vnějšího magnetického pole se natáčí magnetické momenty celých domén, což se projeví velkým zesílením magnetického pole a zpravidla i zmagnetováním těchto materiálů. Překročíme-li při ohřívání určitou hodnotu teploty (tzv. Curieova teplota, např. pro železo 770°C), změní se feromagnetická látka v paramagnetickou a pokud je zmagnetována, dojde k jejímu odsmagnetování. Mezi feromagnetické látky je řazeno železo, kobalt, nikl, gadolinium a jejich slitiny. Zvláštními druhy feromagnetických materiálů jsou:

- antiferomagnetické materiály** - jednotlivé atomy mají **stejně** velké a **opačně** orientované magnetické momenty. Příkladem těchto látek je např. chrom a mangan.
- ferimagnetické materiály** – jednotlivé atomy mají **nestojně** velké a **opačně** orientované magnetické momenty (zvláštní případ antiferomagnetik). Příkladem těchto látek jsou zejména ferity, vyráběné práškovou technologií z oxidu železa Fe_2O_3 a sloučenin jiných kovů případně vzácných zemin (mangan, neodym, barium, stroncium, atd.). Kromě velké hodnoty poměrné permeability ($\mu_r = 10^2 \div 10^5$) mají mnohem větší měrný elektrický odpor, než feromagnetické látky a používají se proto např. pro výrobu jader cívek vysokofrekvenčních obvodů.

Uspořádání magnetických momentů různých typů materiálů.

Paramagnetický, feromagnetický, antiferomagnetický a ferimagnetický materiál:



Hodnocení vlastností magnetických materiálů.

V technické praxi se nejčastěji používají feromagnetické materiály, jejichž magnetické vlastnosti (permeabilita μ) však jsou **výrazně** a navíc **nelineárně** závislé na intenzitě magnetického pole (H). Pro hodnocení a případně porovnání jejich magnetických parametrů se proto používá grafických metod s využitím zejména:

- Magnetizační křivky neboli křivky prvotní magnetizace – vyjadřuje závislost hodnoty magnetické indukce (B) na měnící se hodnotě intenzity magnetického pole (H) materiálu, který ještě nebyl magnetován (nebyl záměrně vystaven působení magnetického pole).
- Hysteresní křivky (smyčky) - vyjadřuje závislost hodnoty magnetické indukce (B) na měnící se hodnotě intenzity magnetického pole (H), při opakované a protisměrné magnetizaci daného feromagnetického materiálu.

Magnetické vlastnosti feromagnetických látek definuje magnetizační křivka s hysteresní smyčkou, tj. znázornění závislosti hodnoty magnetické indukce (B) na hodnotě intenzity magnetického pole (H): $B = f(H)$.

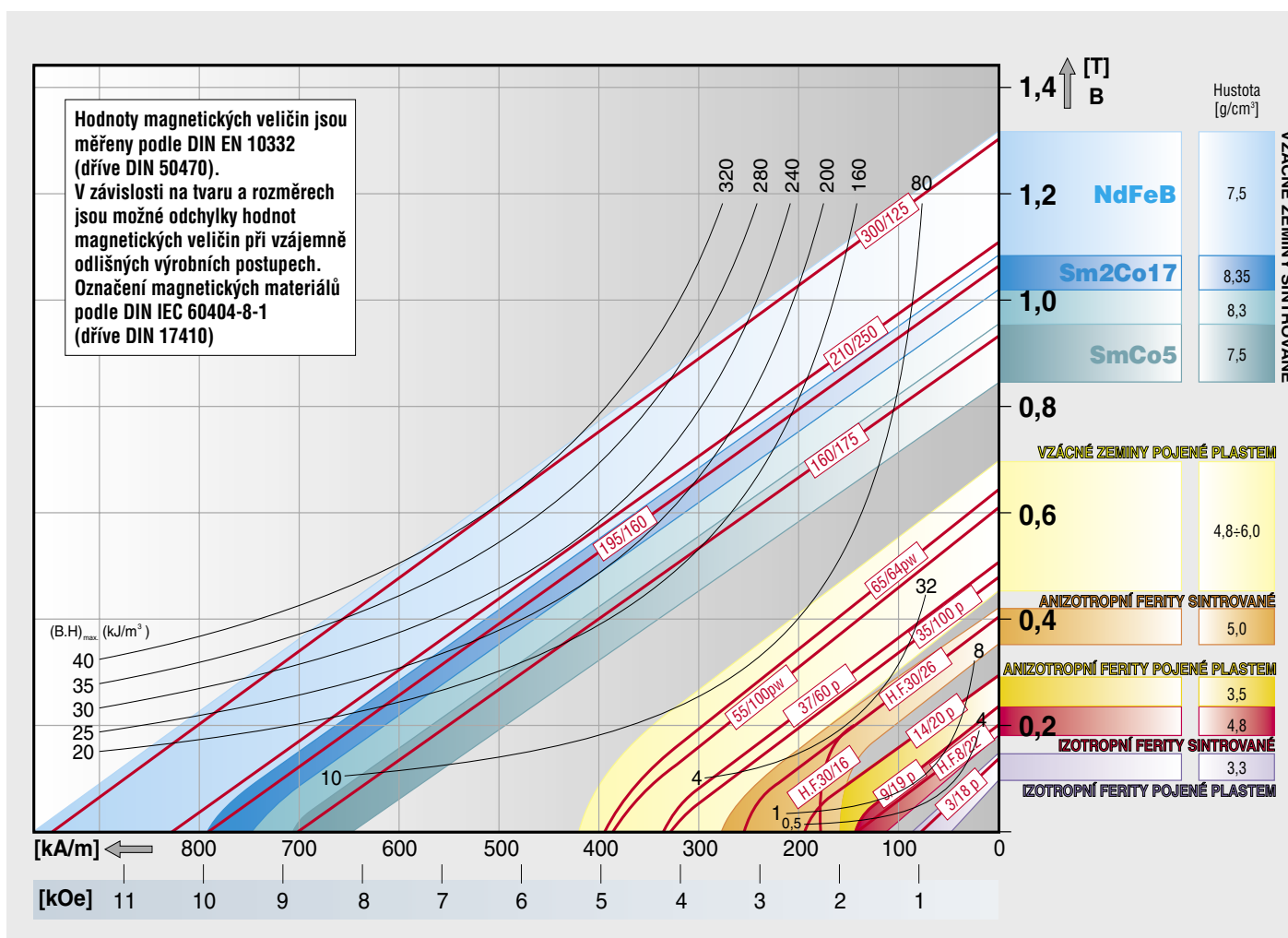
Pro porovnání vlastností magneticky tvrdých materiálů je postačující II. kvadrant hysteresní smyčky (tato část je často označována jako demagnetizační křivka). Hodnoty zbytkové remanence (B_r) a koercitivity (H_c) charakterizují společně s maximálním energetickým součinem ($B \cdot H$)_{max} nejdůležitější magnetické vlastnosti trvalého magnetu.

Srovnání demagnetizačních křivek.

Magnetické vlastnosti trvalého magnetu lze stanovit z demagnetizační křivky feromagnetického materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Základní hodnoty demagnetizační křivky B_r (remanentní magnetická indukce neboli remanence) a H_c (koercitivní intenzita magnetického pole neboli koercitivita) charakterizují nejdůležitější magnetické vlastnosti trvalého magnetu.

Při měření jsou feromagnetické materiály vystaveny vnějšímu magnetickému poli, které způsobuje změnu (indukovaného) magnetického momentu. Největší možný energetický součin $(B \cdot H)_{\max}$ popisuje nejvyšší tok energie dosažitelný s tímto materiálem. Čím vyšší je jeho hodnota, tím menší může být při jinak stejných poměrech objem magnetu, potřebný pro určité zadání. Různé magnetické materiály, kovové (vzácné zeminy), keramické (ferity) a magnety, pojené plastem, reprezentují různé magnetické oblasti. Kupříkladu se rozlišují sintrované anizotropní magnety NdFeB a anizotropní ferity magneticky tvrdé. Tyto se dále liší od izotropních tvrdých feritů, pojených plastem, vždy asi o desetinásobek energetického součinu. V normě DIN IEC 60404-0-1 (dříve DIN 17 410) jsou uvedeny garantované minimální hodnoty energetického součinu $(B \cdot H)_{\max}$ v kJ/m^3 a koercitivní síly pole (koercivity) H_{cJ} v kA/m (0,1). Bližší informace lze nalézt v popise jednotlivých materiálových skupin.

Magnetické hodnoty jsou měřeny podle DIN EN 10 332 (dříve DIN 50470). V závislosti na tvaru a rozměrech jsou možné odchylky magnetických hodnot při různých výrobních technologiích.



Magneticky tvrdé ferity.

Tvrdé ferity jsou cenově nejvýhodnější a celosvětově zatím ještě nejvíce používané permanentní magnety. Kromě rozšířených barnatých feritů se stále více používají vysoce koercitivní strontnaté ferity.

Co je třeba vědět o magneticky tvrdých feritech ...

Feritové magnety mohou být vyráběny cestou práškové metalurgie jako anizotropní nebo izotropní.

Anizotropní magnety mají dobré magnetické vlastnosti pouze v jednom směru, tzn. v tzv. přednostní ose magnetizace. Jsou lisovány v magnetickém poli a právě tímto dostanou prioritní směr magnetování. Mohou být magnetovány pouze v této prioritní ose. Možnosti použití jsou obdobné jako magnetů izotropních, avšak při stejném objemu se dosáhne vyššího magnetického toku a podle typu mívá hodnotu remanentní magnetické indukce 1,5÷2 krát vyšší. U anizotropních magnetů je prioritní směr magnetování totožný se směrem orientace magnetizace.

Izotropní magnety mají ve všech směrech prakticky stejné magnetické vlastnosti. Vyrábí se z izotropních materiálů, jsou lisovány bez přítomnosti magnetického pole a z toho vyplývají četné možnosti magnetování. Izotropní magnety nemají žádnou přednostní osu magnetizace, mohou být tedy podle potřeby namagnetovány v jedné ze tří os. Ve srovnání s anizotropními permanentními magnety jsou cenově výhodnější.

Krystalografická buňka krystalu $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Buňka krystalu má hexagonální základní strukturu. Sestává ze dvou vzorových jednotek a obsahuje 64 atomů. Ionty baria a kyslíku mají podobnou velikost. V buňce jsou umístěny dva atomy baria nebo stroncia na místa atomů kyslíku.

Strukturní parametry jsou:

$a = 0,588 \text{ nm}$,

$c = 2,32 \text{ nm}$

Ferity jsou, jak už jméno říká, ferimagnetické látky. Magnetická osa orientace je kolmá k základní ploše.

Chemické vlastnosti

Feritové permanentní magnety mají stechiometrii $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ nebo $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ a jsou keramickými oxidy. Skládají se z cca 86% Fe_2O_3 a cca 14% BaO_2 nebo SrO . Suroviny jsou dobře dosažitelné a cenově výhodné. Feritové permanentní magnety jsou odolné vůči mnohým chemikáliím jako jsou ředidla, louhy a slabé kyseliny. U silných organických a anorganických kyselin jako kyselina šťavelová, solná, sírová a fluorovodíková je odolnost v podstatě určována teplotou, koncentrací a časem styku. V zásadě by měla být odolnost stanovena dlouhodobými pokusy.

Mechanické vlastnosti

Na základě svého keramického charakteru jsou ferity křehké a citlivé na náraz a ohyb. Z důvodu jejich značné tvrdosti musí být ferity obráběny diamantovým nářadím. Přibližné hodnoty některých mechanických vlastností:

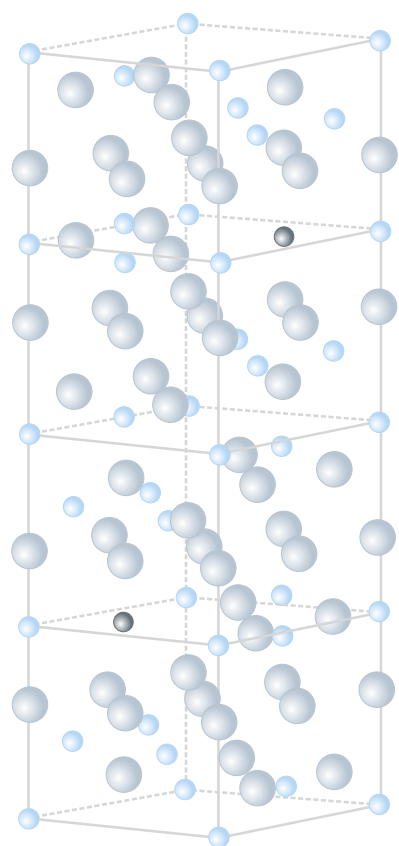
Tvrdost $6 \div 7 \text{ Mohs}$

Modul pružnosti $150 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$

Pevnost v tlaku 700 N/mm^2

Pevnost v tahu 50 N/mm^2

Pevnost v ohybu 55 N/mm^2

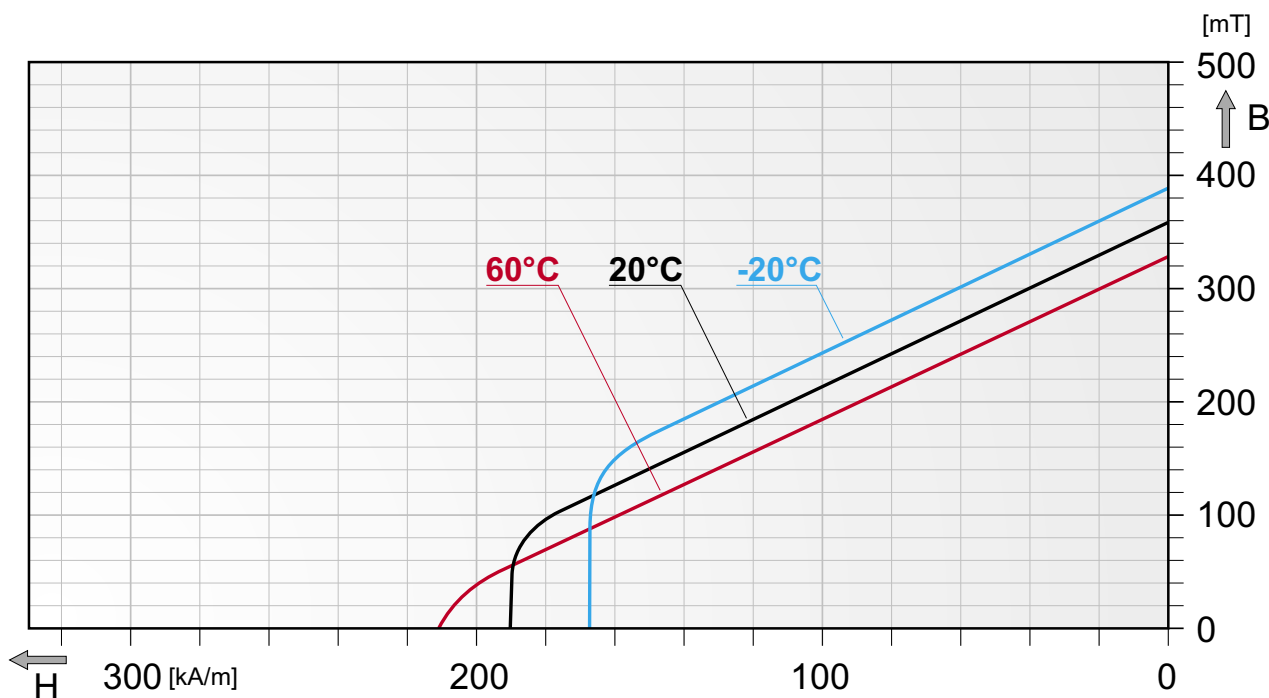


- Atomy kyslíku
- Atomy železa
- Atomy bária

Magnetické vlastnosti.

Hodnoty magnetických veličin jsou uvedeny rovněž v příslušných materiálových listech výrobce či normách. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí -40°C až $+250^{\circ}\text{C}$. Všechny uvedené magnetické hodnoty jsou parametry magneticky tvrdých feritů, měřeno podle DIN EN 10332 (dříve DIN 50470) na broušených zkouškách. V závislosti na tvaru a rozměru jsou možné odchylky u magnetů, lisovaných v matici.

Teplotní závislosti magnetických vlastností magneticky tvrdých feritů



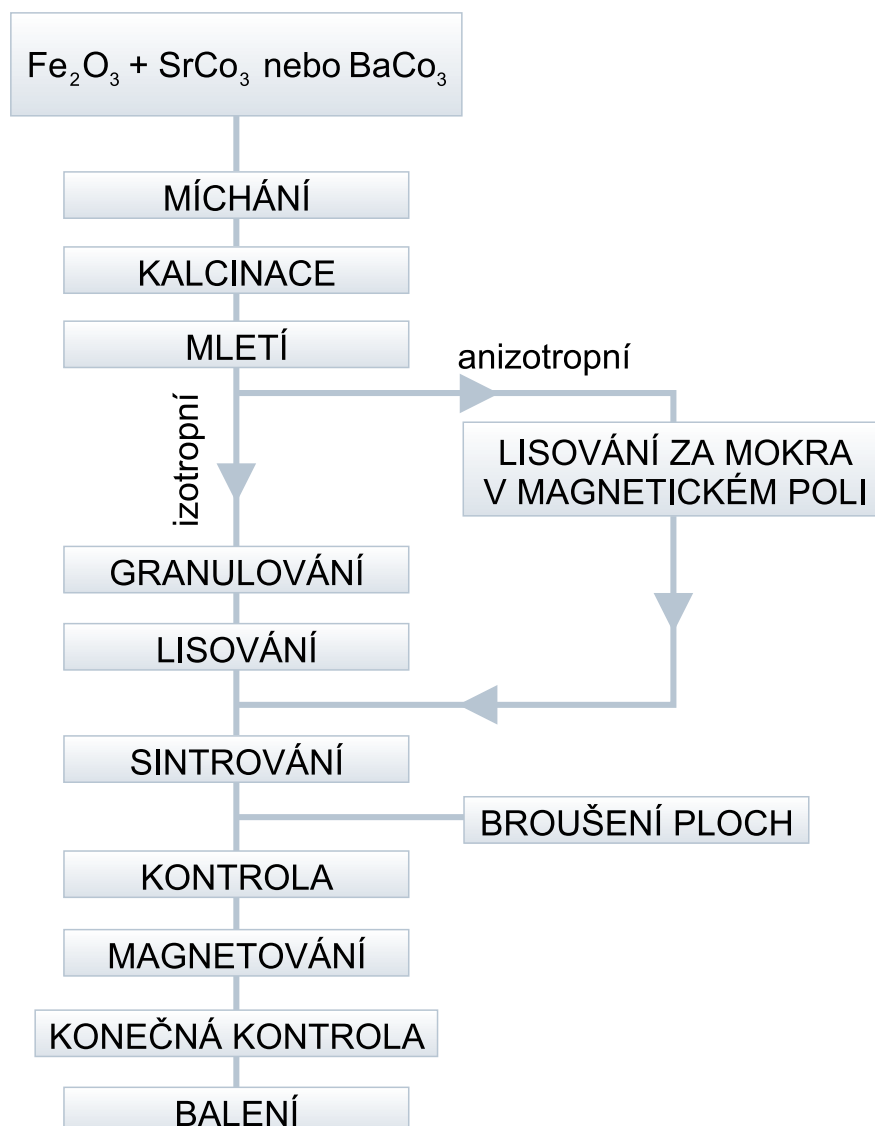
Teplotní zatížení izotropních a anizotropních magneticky tvrdých feritů způsobuje změny jejich magnetických vlastností. Teplotní závislost koerzivní intenzity magnetického pole probíhá u magneticky tvrdých feritů a permanentních magnetů ze vzácných zemin opačně. Při vzrůstající teplotě klesá remanence u magneticky tvrdých feritů o 0,2% na Kelvin a koerzivní intenzity magnetického pole vzrůstá současně o 0,3% na Kelvin. Při klesající teplotě stoupá remanence a klesá koerzivní síla pole stejnou měrou. To má za následek, že magnety a magnetické systémy s nízko položeným pracovním bodem mohou utrpět trvalou ztrátu magnetování, pokud jsou vystaveny nižším teplotám.

Blokové schéma výrobního procesu magneticky tvrdých feritových permanentních magnetů.

Od suroviny k permanentnímu magnetu.

Základními surovinami pro výrobu magneticky měkkých feritů jsou oxid železitý Fe_2O_3 a uhličitany barya nebo stroncia, BaCO_3 nebo SrCO_3 . Uvedené suroviny se mísí v poměru asi 80% Fe_2O_3 a asi 20% BaCO_3 nebo SrCO_3 a z této směsi kalcinací za vysokých teplot vzniká hexaferit. Potom následuje lisování do požadovaných tvarů buď za sucha (ve formě prášku s pojivem) a nebo ve formě vodné suspenze. Anizotropní permanentní magnety se lisují v magnetickém poli. Konečný tvar a pevnost dostávají permanentní magnety výpalem (sintrováním) při teplotách přes 1200°C . Potom jsou dle přání zákazníka magnetovány a po konečné kontrole expedovány. Následující schéma znázorňuje pořadí nejdůležitějších operací při výrobě magnetů z magneticky tvrdých feritů.

Blokové schéma výrobního procesu feritových magnetů.



Permanentní magnety ze vzácných zemin.

Trvalé magnety na bázi SmCo a NdFeB jsou vysoce výkonné a kvalitativně velmi hodnotné komponenty, které se používají také v pohonech a regulaci.

Co je třeba vědět o magnetech ze vzácných zemin.

V zásadě jsou k dispozici tři materiálové typy magnetických materiálů ze vzácných zemin (Sm , Nd) - a přechodového kovu (Co , Fe). Jsou založeny na příslušných intermetalických fázích SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ a $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.

Podle velikosti, tvaru, tolerancí a počtu jsou permanentní magnety buď řezány z izostaticky lisovaných surových magnetů popřípadě lisovány v příčném poli (tzv. H-materiál) nebo v axiálním poli (tzv. W-materiál). Tyto různé výrobní způsoby se také odrážejí v magnetických vlastnostech permanentních magnetů. Tak vykazují H-materiály poněkud vyšší remanenci (B_r). Koercivita (H_c) je identická. Obecně však splňují kusy, lisované v axiálním poli, požadavky zákazníka a lze je vyrábět ve velkých počtech při příznivých nákladech.

Krystalografická buňka krystalu SmCo_5 a mikrostruktura.

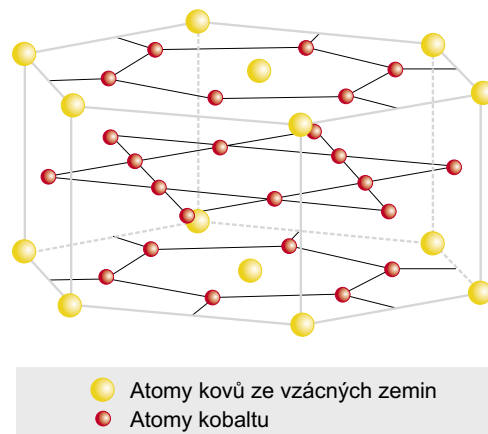
Tato krystalová struktura představuje základní jednotku veškerých permanentních magnetů ze vzácných zemin s přechodným kovem. Z této mohou být odvozeny 2/17 jakož i 2/14/1 struktury. Stavba je hexagonální ve formě prototypu CaCu_5 . Atomy kovu ze vzácných zemin a atomy kobaltu tvoří rovněž nezávislou hexagonální podmřížku.

Strukturní parametry (mřížkové konstanty) jsou:

$$a = 0,5004 \text{ nm},$$

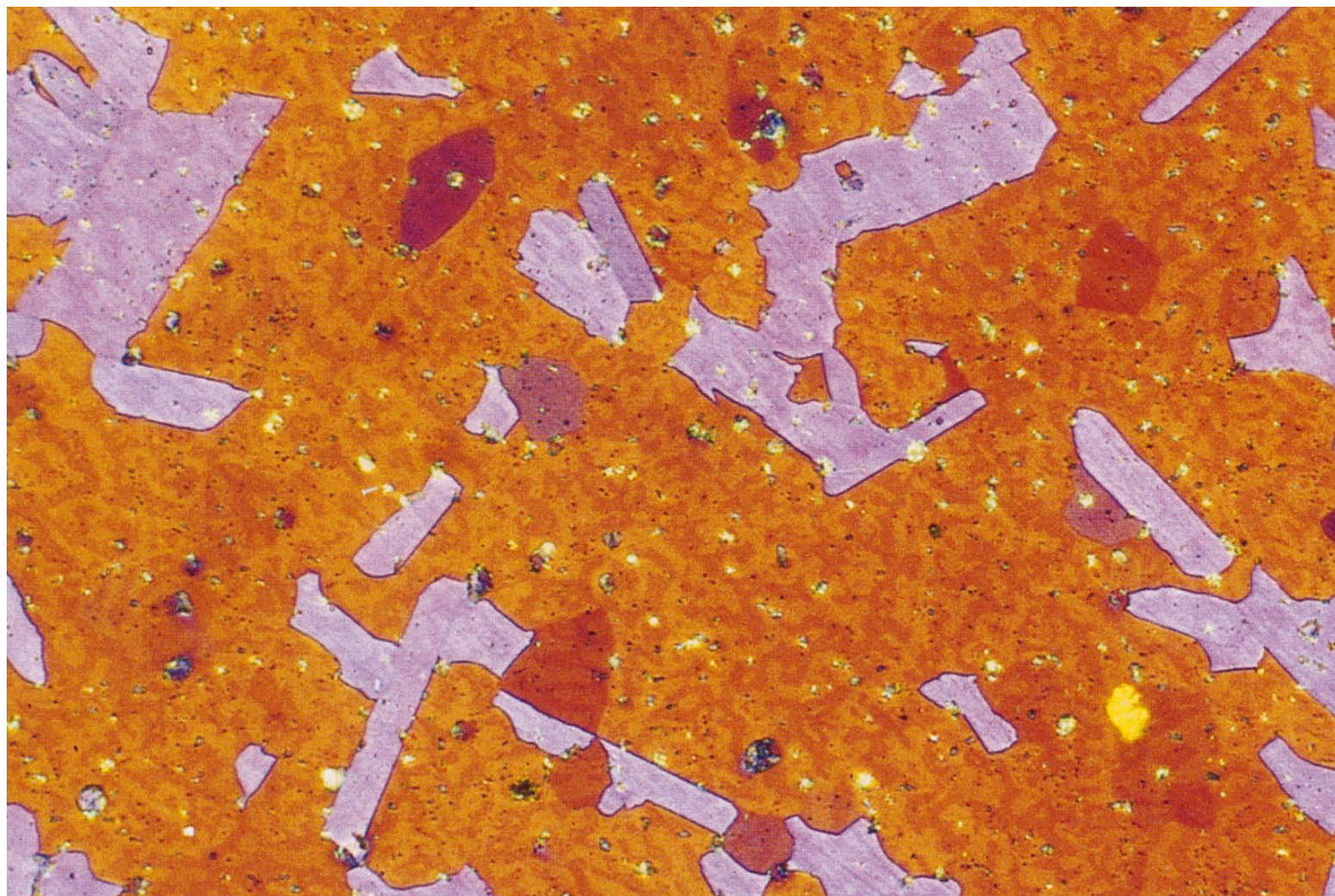
$$c = 0,3964 \text{ nm}$$

Přednostní osa magnetizace je kolmo k základní rovině.



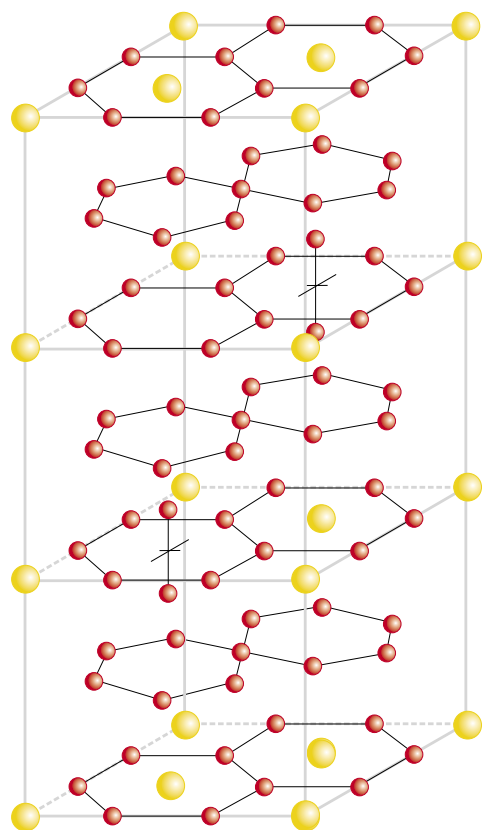
Struktura SmCo_5 (1000 × zvětšeno).

Strukturní stavba znázorňuje v podstatě dvě rozdílné fáze. Jsou to Sm_2Co_7 (fialová) a magneticky tvrdá fáze SmCo_5 (hnědá). Tyto permanentní magnety jsou „nukleárně vytvrzené“, tzn. magnetická tvrdost vzniká v podstatě vysokou anizotropní silou pole.



Krystalografická buňka krystalu $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ a mikrostruktura.

Tato krystalická buňka tvoří výchozí strukturu pro permanentní magnety $\text{Sm}_2(\text{TM})_{17}$ (TM: angl. = transition metal) a je založena na jednopětinové buňce krystalové mřížky. Přitom je tam nahrazována jedna třetina všech atomů Sm páry atomů Co. Částečnou náhradou atomů kobaltu atomy železa namísto atomů kobaltu se značně zvyšuje saturační magnetizace. Možné krystalové struktury jsou romboedrické nebo hexagonální. Permanentní magnety $\text{Sm}_2(\text{TM})_{17}$ nemají žádnou exaktní 2/17- stechiometrii nýbrž stechiometrii asi 2/15. Tím se vytvoří nejen romboedrická základní struktura, nýbrž také sloučenina SmCo_5 , důležitá pro magnetické vytvrzení. Ostatní legující kovy se přitom rozpouštějí v romboedrické matriční fázi (Fe), v hexagonální 1/5-vylučovací fázi (Cu), jakož i v hexagonální 2/17-fázi (Zr).



- Atomy kovu ze vzácných zemin
- Atomy kobaltu

Krystalografická buňka krystalu $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ a mikrostruktura.

Strukturní parametry romboedrické mřížky $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ jsou:

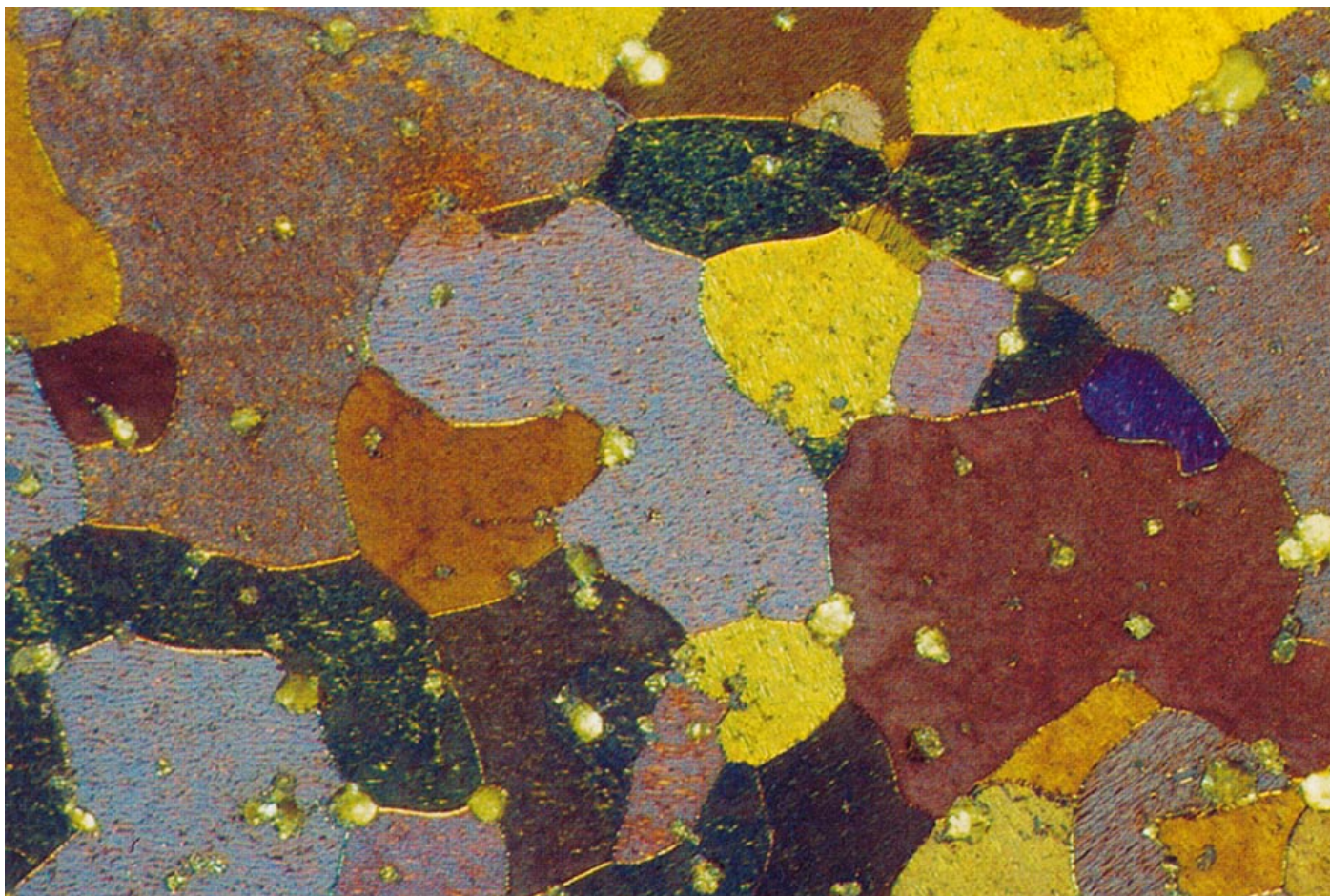
$a = 0,8402 \text{ nm}$,

$c = 1,2172 \text{ nm}$.

Přednostní osa magnetizace je kolmá k základní rovině.

Struktura $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ($1000 \times$ zvětšeno).

Struktura je tvořena v podstatě magneticky tvrdou fází $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ (barevná). Různé barvy vznikají leptáním. Mezi zrny lze poznat jemnou zrnitou mezní fázi jiného složení (světlá). Největší částice jsou karbidy Zr. Tyto magnety jsou oproti jiným materiálům ze vzácných zemin „vytvrzené vyloučeninou“, tzn. magnetické elementární oblasti jsou omezeny nepatrnými, v optimálním výbrusu neviditelnými vyloučeninami ve fázi 2/17 při přenosu. Toto vysvětluje pomalou reakci při namagnetování a přemagnetování.



Krystalografická buňka krystalu $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a mikrostruktura.

Tato buňka je strukturním typem, podobným CaCu_5 . Čtyři podjednotky tvoří jednotkovou buňku, sestávající se ze 68 atomů. Krystalická struktura je tetragonální, avšak také zde tvoří atomy železa hexagonální švy, podobné jako u romboedrických a hexagonálních krystalů $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$. Do permanentních magnetů NdFeB jsou přidávány další legující prvky. Tak například částečné nahrazení neodymu disproziem vede ke zvýšení koercitivní síly pole.

Mřížkové konstanty jsou:

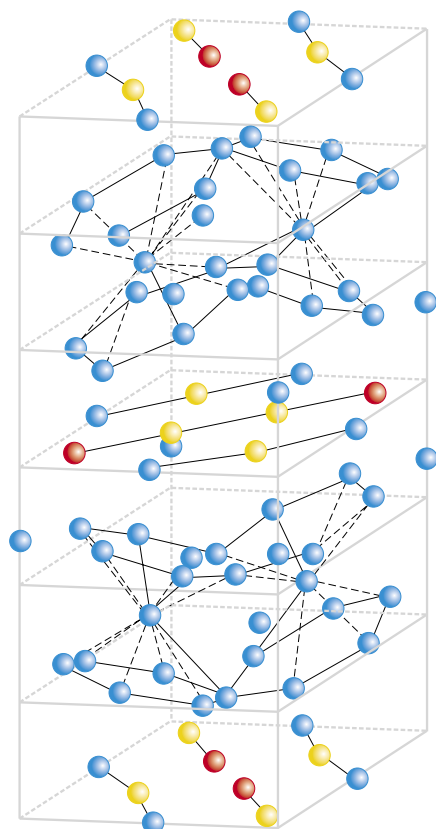
$$a = 0,880 \text{ nm},$$

$$c = 1,219 \text{ nm}$$

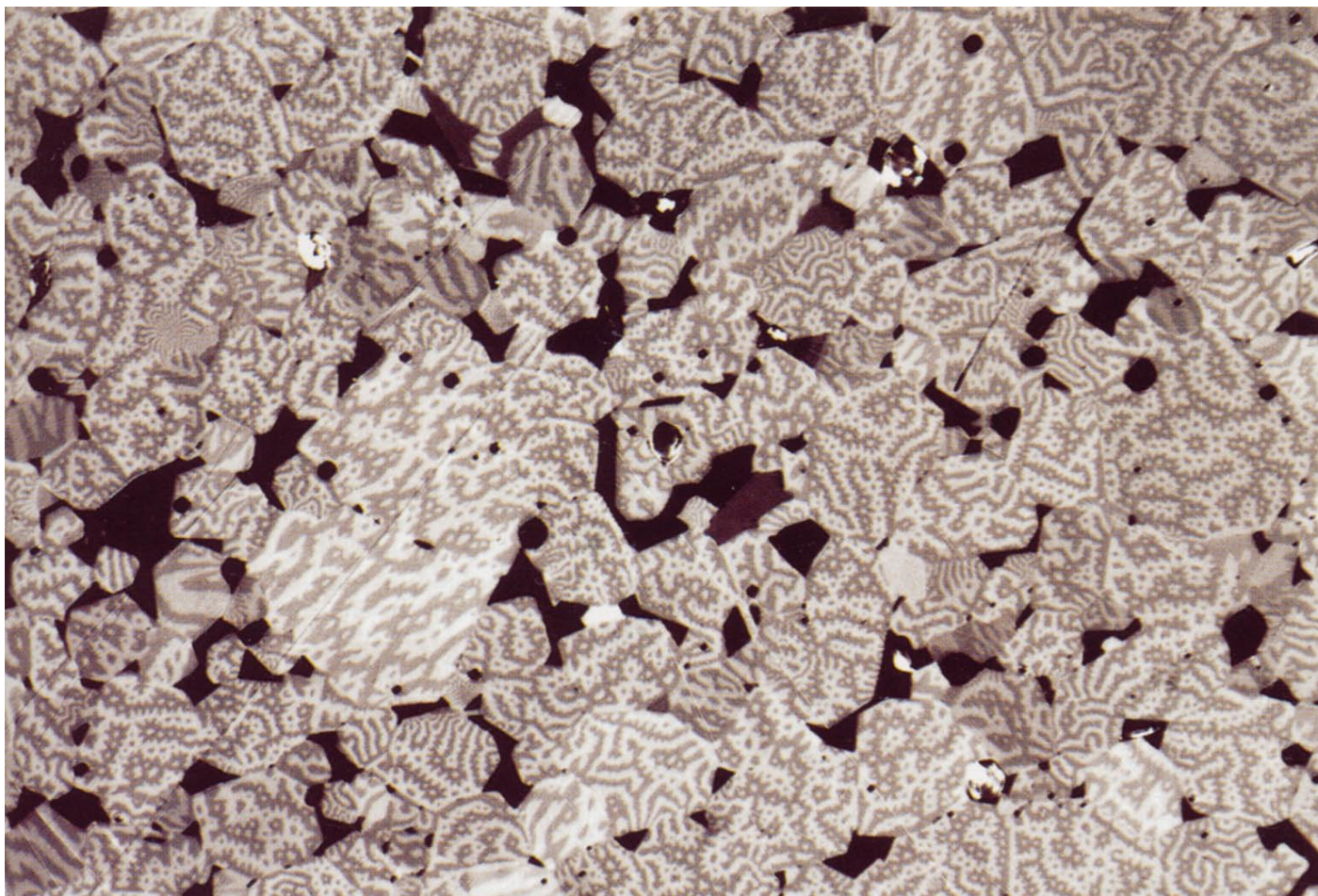
Přednostní osa magnetizace je rovnoběžná k ose c a tím kolmá k základní rovině.

Obr. Struktura NdFeB - (1000 × zvětšeno).

Struktura je tvořena v podstatě dvěma rozdílnými fázemi. To jsou magneticky tvrdé fáze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (s doménovou strukturou) a nemagnetické zrnité mezní fáze z prakticky čistého neodymu (černá). Tyto permanentní magnety jsou rovněž „nukleárně vytvrzené“, tzn. magnetická tvrdost vzniká v podstatě vysokou silou anizotropního pole. Přemagnetování začíná jak na příměsích tak na povrchu zrna.



- Atomy neodymu
- Atomy železa
- Atomy bóru



Vývoje permanentních magnetů ze vzácných zemin.

Ve srovnání s tradičními permanentními magnety jsou tyto permanentní magnety podstatně výkonnější a jsou založeny především na intermetalických sloučeninách z kovů ze vzácných zemin (např. samarium, neodym) a přechodových kovů (TM), angl.: transition metal, např. kobalt, železo. Mají významně vyšší hodnoty koercitivity H_c nebo remanence B_r nežli známé a osvědčené trvalé magnety jako jsou ocel, AlNiCo a ferity. Permanentní magnety na bázi SmCo_5 a $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, doposud používané s velkým úspěchem, byly začátkem 80.let zásadně doplněny vývojem magnetů na bázi NdFeB. Proti hospodářské výhodě na straně jedné, cenově výhodnějšími a lépe dosažitelnými surovinami, jako nevýhody stojí na straně druhé nižší Curie-teplota a v důsledku toho vyšší teplotní koeficienty H_c a B_r .

Pokroky ve vývoji materiálu zlepšily doposud značně silnou náchylnost ke korozi magnetů NdFeB, takže za normálních podmínek použití mohou být určité materiály z této skupiny nasazeny, aniž by byla nutná dodatečná povrchová úprava.

Mechanické vlastnosti.

Permanentní magnety ze vzácných zemin se kvůli jejich tvrdosti opracovávají diamantovým náradím, přičemž nejvyšší křehkost vykazuje $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$. Při nárazech dochází lehce k odštípnutím resp. odprýsknutím povrchové vrstvy. Způsoby opracování jako broušení, dělení, elektro-eroze nebo řezání vodním paprskem, jsou možné. Hustoty se pohybují od cca $7,5 \text{ g/cm}^3$ (NdFeB) do $8,5 \text{ g/cm}^3$ (SmCo) v oblasti ocelí. Koeficienty délkové roztažnosti jsou rozptýleny v závislosti na směru anizotropie (orientace) a na materiálu od $-1 \div 13 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$. Toto má význam u spojení s jinými materiály.

Mechanické vlastnosti magnetů, pojených plastem jsou v podstatě určovány použitým plastem. Oproti sintrovaným magnetům ze vzácných zemin je u magnetů spojených plastem jejich možné mechanické opracování, jako soustružení, frézování nebo vrtání, a to tvrdokovovým náradím.

Chemické vlastnosti.

Veškeré magnety ze vzácných zemin se považují za kovové materiály a vykazují podobné vlastnosti, např. bezprostředně po opracování, typický lesk. Kyselé prostředí vede k rozpuštění, oproti tomuto jsou magnety do značné míry rezistentní v alkalických médiích. Magnety oxidují ve vlhké atmosféře SmCo velmi málo, NdFeB podle druhu materiálu podobně nebo silněji. Magnety SmCo vykazují pouze nepatrnou oxidaci povrchu; magnety NdFeB se pomalu rozpouštějí. Povlakování povrchu je nezbytné.

U materiálů NdFeB, stabilních vůči korozi, jsou tyto reakce zpomaleny až o řád (viz dále), většinou zde lze upustit od povlakování.

Odolnost proti korozi.

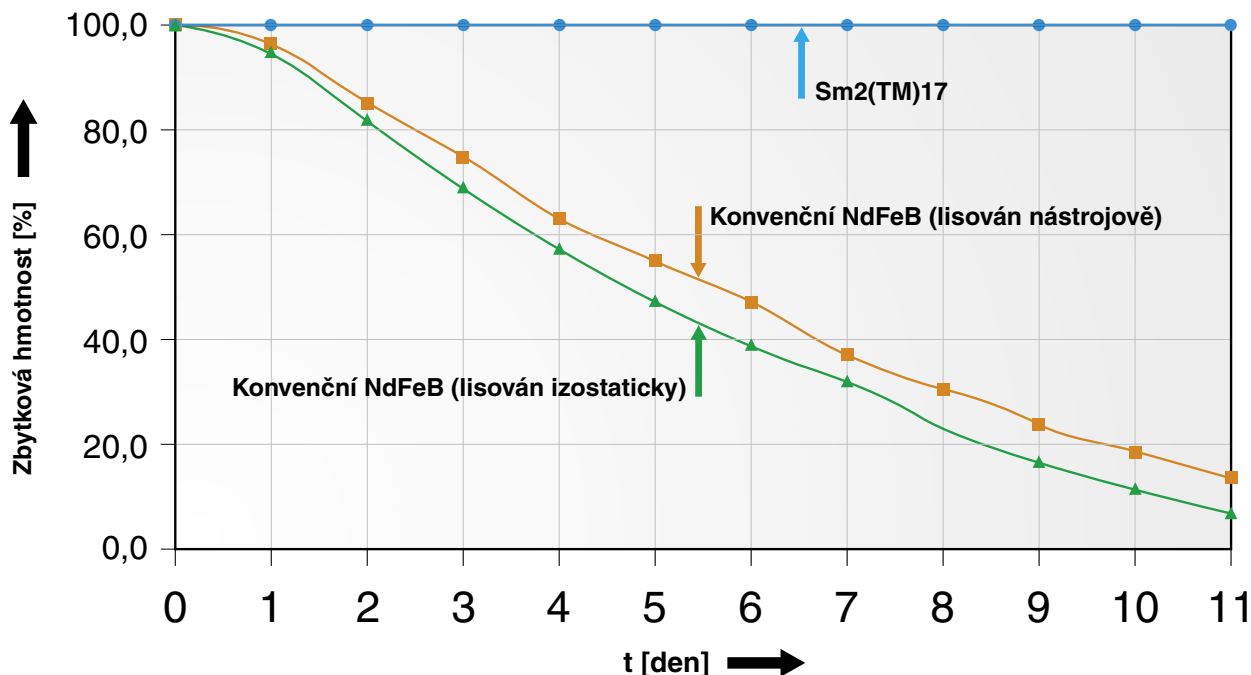
Tradiční magnety NdFeB jsou náchylné vůči korozi. V oxidační atmosféře v autoklávu (130°C , 3 bar, nasycená vodní pára) byla ve srovnání s materiálem SmCo zjištěna 100 až 1000 násobný úbytek jejich hmotnosti.

Citlivost materiálů NdFeB má svou příčinu v materiálové struktuře, která se skládá z magnetických zrn $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a okolní zrnité mezní fáze z volného neodymu. Obr. 1 ukazuje konvenční NdFeB o velmi dobré magnetické kvalitě pro použití ve vysokých teplotách, jak bývá obvyklé např. u pohonů. Vysoká teplota však výrazně snižuje chemickou odolnost. Za popsaných podmínek se magnet během 10 dní prakticky rozpustí. Zůstanou pouze zbytky. Magnet nefunguje.

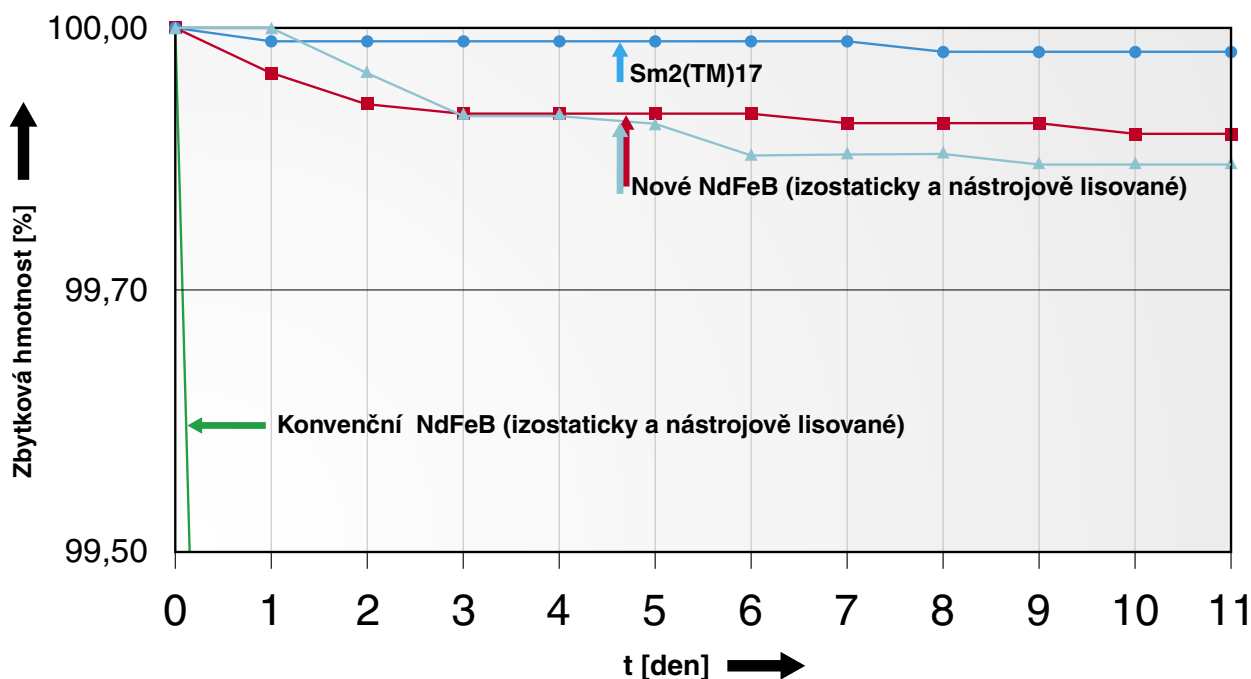
V nově vyvinutém materiálu byla většina reaktivního neodymu v mezizrnné oblasti nahrazena stabilními intermetalickými sloučeninami, které se vytvářejí během tepelného opracování ze základních surovin a chemických přísad. Průběh korozivní křivky je po počáteční minimální povrchové korozi konstantní. Materiál se pasivuje a vykazuje dlouhodobě podobné chování jako $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, který je znám jako materiál odolný korozi.

Vysoká odolnost nových kvalitních trvalých magnetů z NdFeB se dosahuje přísadami, které působí též teplotní stálost. Tyto přísady však snižují objemový podíl magnetické fáze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a snižují tak magnetický tok.

Tento efekt může být kompenzován vylepšením teplotních koeficientů při pracovní teplotě, je však třeba akceptovat nižší startovací hodnoty. Materiály s velkou remanencí a nízkou koercivitou (např. 270/94h nebo 240/95w) mohly být doposud vyráběny pouze omezeně jako korozivzdorné.



Obraz 1.: Korozní chování konvenčního NdFeB v autoklávu při 130°C a 3 bar v nasycené vodní páře. Stupnice obsahuje od 0 do 100%.



Obraz 2.: Korozní chování odolného NdFeB (210/22h popř. 180/220wv autoklávu při 130°C a 3 bar v nasycené vodní páře. Jako srovnávací materiál sloužil Sm_2O_{17} . Stupnice zasahuje od 99,5 do 100%. Rozdíly mezi nástrojově a izostaticky lisovanými materiály jsou nepatrné.

Magnetické vlastnosti.

Magnetické parametry jsou uvedeny v materiálových listech výrobce. Pracovní teploty jsou variabilní podle materiálu: u NdFeB od cca 110°C do 220°C, u SmCo až do 350°C. Kvůli teplotním koeficientům, které jsou u magnetů ze vzácných zemin zásadně negativní, má pracovní bod při vyšších teplotách zásadní význam.

Teplotní závislost.

Ideální demagnetizační křivky permanentních magnetů ze vzácných zemin při různých teplotách jsou znázorněny v katalogových listech výrobce. Přitom se obvykle neberou v úvahu některé vlivy, závislé na materiálu a výrobě. Principiálně lze vlivy na indukci rozdělit na:

- reverzibilní ztráty z důvodu působení teploty a
- ireverzibilní ztráty z důvodu přemagnetování protipólem nebo působením teploty na změny materiálové struktury.

Reverzibilní ztráty.

Tyto ztráty nastávají vždy vlivem atomárních poruch při zvýšení teploty, po snížení teploty se však opět navrátí. Materiály se chovají v různých teplotních oblastech podle specifického teplotního koeficientu T_k .

Teplotní koeficienty.

Tyto teplotní koeficienty jsou negativní, protože se jedná při zvýšení teploty o ztráty. Tyto koeficienty jsou definovány následovně a představují čistě empirickou veličinu:

Úbytek v procentech (hodnoty při pokojové teplotě) na stupeň vzrůstu teploty (% $\cdot K^{-1}$).

Teplotní koeficienty představují materiálové parametry, které se dají změnit dotováním. U magnetů SmCo je zásadní materiálové vývoje ukončen a materiály etablovaných dodavatelů jsou sjednocené. Tímto jsou tedy příslušné teplotní koeficienty u těchto materiálů od různých dodavatelů téměř identické. Podstatné rozdíly jsou pouze u materiálu NdFeB, kde se tyto koeficienty pohybují mezi -0,08 a -0,13 % $\cdot K^{-1}$.

Jejich zohlednění je důležité zvláště u materiálů odolných teplotám. Jelikož se však vztahují na veličinu „hodnota při pokojové teplotě“, je třeba teplotní koeficienty uvažovat pouze relativně. Tak je např. materiál s hodnotou pokojové teploty o 2500 kA $\cdot m^{-1}$ a teplotním koeficientem -0,5 % $\cdot K^{-1}$ je při 150°C stabilnější než materiál s 3000 kA/m a teplotním koeficientem -0,6 % $\cdot K^{-1}$. Proti sobě stojí při 150°C hodnota 1000 kA $\cdot m^{-1}$ a pouze 840 kA $\cdot m^{-1}$.

Totéž platí při teplotních koeficientech pro B_r . Zde jsou právě při vysokých teplotách tyto hodnoty relevantní. Z tohoto důvodu jsou v tabulkách specifikovány vlastnosti při vysokých teplotách.

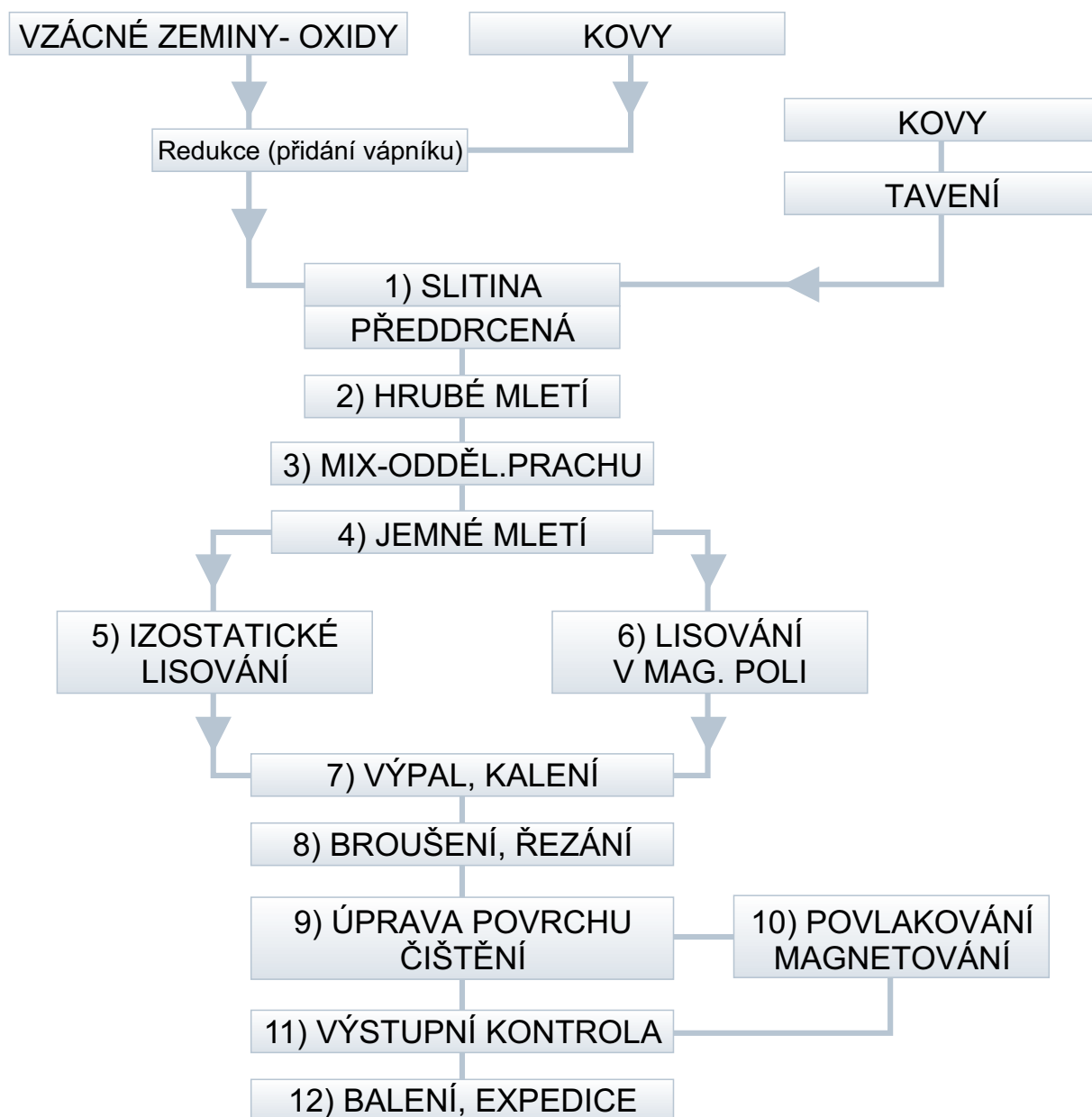
Ireverzibilní ztráty.

Ireverzibilní ztráty jsou v demagnetizační křivce viditelné v odchylce od teoretického lineárního průběhu. Tyto ztráty jsou z části neodstranitelné a projevují se při zvýšení teploty nebo při výskytu vnějšího pole. Také poloha pracovního bodu je rozhodující. Jednorázovým stabilizačním opatřením se magnety dají nastavit na konstantní hodnotu. Se snížením indukce, které je s tím spojené, se musí počítat.

Poznámka.

Podle případu použití lze pro aplikaci vybrat vhodný materiál a provedení. Ne vždy se však dají všechna kritéria maximalizovat současně (např. magnetický tok, chemická odolnost, teplotní závislost, cena).

Blokové schéma výrobního procesu permanentních magnetů ze vzácných zemin.



Technické informace o permanentních magnetech.

Jednotky magnetických veličin.

Pro magnetické veličiny jsou od června 1970 zákonem předepsány jednotky SI.

Označení	Jednotka SI	Jednotka CGS	
B magnetická indukce	T tesla	G (gauss)	$1\text{G} = 10^{-8}\text{VS/cm}^2$ $1\text{T} = 10\,000\text{G}$ $1\text{mT} = 10\text{G}$ T = Tesla G = Gauss mT = miliTesla $10^{-8}\text{VS/cm}^2 = \text{Voltsekunda/cm}^2$
H intenzita magnetického pole	A/m ampér/metr	Oe (oersted)	$100\text{KA/m} \times (4 \times \pi) = 1256,6\text{Oe}$ kA/m = kiloAmper/metr A/cm = Amper/centimetr A/m = Amper/metr Oe = Oersted
B.H maximální energetický součin	J/m³ joule/m³	G . Oe (gauss . oersted)	$100\text{KA/m} \times \left(\frac{4 \times \pi}{100}\right) = 1,256 \times 10^6\text{G} \times \text{Oe}$ $1 \times 10^6\text{G} \times \text{Oe} = 7,96\text{KJ/m}^3$ KJ/m² = KiloJoule/metr² $10^6\text{G} \times \text{Oe} = \text{Gaus} \times \text{Oersted}$ mWS/cm³ = miliVoltsekunda/cm³
Φ magnetický tok	Wb Vs weber voltsekunda	M (maxwell)	$1\text{Wb} = 1\text{VS} = 10^8\text{M}$ Wb = Weber M = Maxwell mWb = miliWeber
μ₀ . μₚ μₚ permanentní permabilita	T A/m tesla ampér/metr	G Oe gauss oersted	$\mu_0 = 1,256$

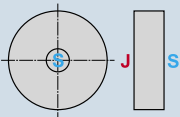
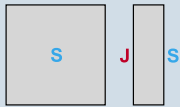
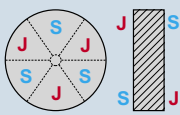
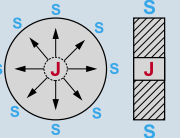
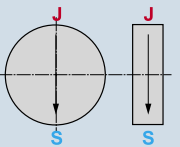
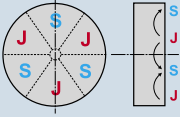
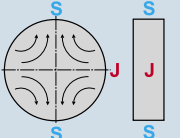
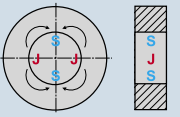
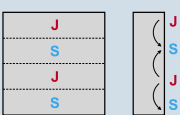
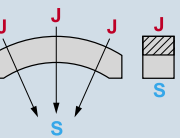
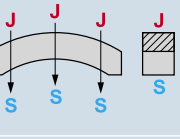
Nejvíce používanými tvary lisotechnicky vyráběných nástrojovým lisováním jsou hranoly, mezikruží, válce a segmenty. Mohou být vyráběny za přijatelných ekonomických podmínek.

Kromě uvedených tvarů lze trvalé magnety vyrábět i ve tvarech jiných. Tyto by měly být podle možnosti dány již lisováním, neboť dodatečná změna tvaru je možná pouze náročným opracováním diamantovým nářadím. To platí pro otvory, drážky, hrany, zapuštění atd. Přitom je třeba dbát na to, že otvory, vybrání apod. lze vyrobit pouze ve směru lisování. U anizotropních permanentních magnetů se nedají vyrobit žádné otvory, drážky apod. příčně ke směru lisování.

Opracování trvalých magnetů.

Trvalé magnety lisovány v nástroji, potom jsou sintrovány a pokud je to nutné, brousí se na úzké tolerance. Ve zvláštních případech použití je nutné opracování permanentních magnetů po všech stranách, aby byly dodrženy rozměrové a hmotnostní tolerance. Toto opracování se na základě velké tvrdosti a křehkosti materiálů provádí s velkou pečlivostí. Je-li skutečně nevyhnutelné opracování všech stran permanentních magnetů, je často výhodnější dělení v závislosti na velikosti a množství. Jakost povrchu a mechanické tolerance dělených trvalých magnetů odpovídají přitom parametrům magnetů broušených. Malé permanentní magnety s úzkými tolerancemi lze vyrábět pouze tímto postupem.

Možné způsoby magnetování.

MOŽNOSTI MAGNETOVÁNÍ	PŘÍKLADY POUŽITÍ	MATERIÁL
	axiální	reproduktory, různé upínací systémy, spínače a kontakty, filtry atd
	promagnetování kolmo na největší plochu	filtrační systémy, upínací desky, upínací systémy s pólovými nástavci, filtry atd.
	axiální sektorové promagnetování např. 6- pól	synchronní motory, čelní spojky
	radiální	zdvihové magnety, upínací systémy (aplikace není možná u všech rozměrů)
	diametrální	synchronní motory, systémy s jádrem atd.
	sektorové laterální na jedné ploše např. 6- pól	čelní spojky, přidržovací systémy
	vícepólové laterální na obvodu např. 6- pól	dynama, motory, vnitřní části spojek atd.
	vícepólové laterální na vnitřním průměru např. 4- pól	motory, vnější části spojek atd.
	pruhové laterální na jedné ploše (P = vzdálenost pólů)	přidržovací systémy
	radiální	motory
	diametrální	motory

U axiálně promagnetovaných magnetů lze na přání označit severní a jižní pól zahloubením nebo barvou.
U laterálního (jednostranného) magnetování lze na přání označit magnetickou stranu.

Přednostní osa orientace.

Pod pojmem přednostní osa orientace se rozumí uspořádání magnetických krystalů do určitého směru. V této přednostní ose orientace dosahuje trvalý magnet svých nejlepších magnetických parametrů; musí být magnetován v této ose.

Přednostní osy orientace se dosáhne tím, že během lisování je materiál (prach) vystaven silnému vnějšímu magnetickému poli. Magnety kruhové a válcové mají osu orientace většinou axiální, u hranolů prochází výškou, u segmentů je diametrální nebo radiální.

1. Izotropní permanentní magnety.

Nemají žádnou přednostní osu orientace. Směr a způsob magnetování je tedy libovolný.

2. Anizotropní permanentní magnety.

Jsou lisovány v magnetickém poli a dostávají tak přednostní osu orientace. Dobré magnetické vlastnosti mají pouze v této ose a mohou být magnetovány pouze v této ose. Při stejném objemu magnetu se dosáhne vyššího magnetického toku nežli u magnetů izotropních. Remanence je přibližně dvojnásobná.

3. Permanentní magnety s axiální přednostní osou orientace.

Takto, tzn. axiálně, jsou orientovány kruhové a válcové magnety a hranoly přes výšku.

4. Permanentní magnety s diametrální přednostní osou orientace.

Pro zvláštní aplikace, kupříkladu u kruhových či válcových permanentních magnetů motorů nebo čerpadel, je přednostní osa orientace diametrální (kolmo k ose rotace).

5. Permanentní magnety pólově orientované.

Zde jsou póly uspořádány tak, jak bude provedeno pozdější vícepólové magnetování. Tyto trvalé magnety se používají převážně ve spojení se senzory, v pohonech motorů nebo v generátorech. Remanence je přibližně $1,5 \div 2$ násobná v porovnání se stejným izotropním materiálem.

Magnetování trvalých magnetů.

K namagnetování až k nasycení potřebují permanentní magnety ze vzácných zemin ve srovnání s tvrdými ferity přibližně dvou- až čtyřnásobnou intenzitu magnetického pole.

Takové potřebné intenzity magnetického pole však už nelze dosáhnout pomocí systémů pro trvalé magnety. K tomuto jsou nezbytné systémy magnetovacích cívek s vysokým výkonem. Z diagramů lze vybrat intenzitu magnetického pole, potřebnou k nasycení příslušného magnetického materiálu. Křivky se vztahují na jednotlivé skupiny materiálu a znázorňují intenzitu magnetického pole pro první namagnetování.

K přemagnetování nebo novému namagnetování kusů, odmagnetovaných ve střídavém poli, jsou nutné značně vyšší intenzity magnetického pole. Permanentní magnety s axiální nebo diametrální orientací jsou magnetovány v cívkách s pulzním polem. Vyžaduje-li aplikace určitý způsob magnetování (např. vícepólové sektorové), musí být zhotoveny speciální cívkové systémy, přizpůsobené tvaru a rozměru permanentního magnetu.

Kontrola magnetických hodnot

Při vstupu a výstupu zboží se vyhotovují demagnetizační křivky. Při výstupu zboží je možno dodatečně určit magnetický moment. Jelikož u multipólových přednostních os orientace už není možno změřit magnetický moment, doporučuje se měření magnetického toku speciálními měřicími cívkami. Existuje doplňková možnost měření magnetické indukce na povrchu pomocí Hallovy sondy a indukovaného napětí.

Intenzita magnetického pole, nutného k namagnetování.

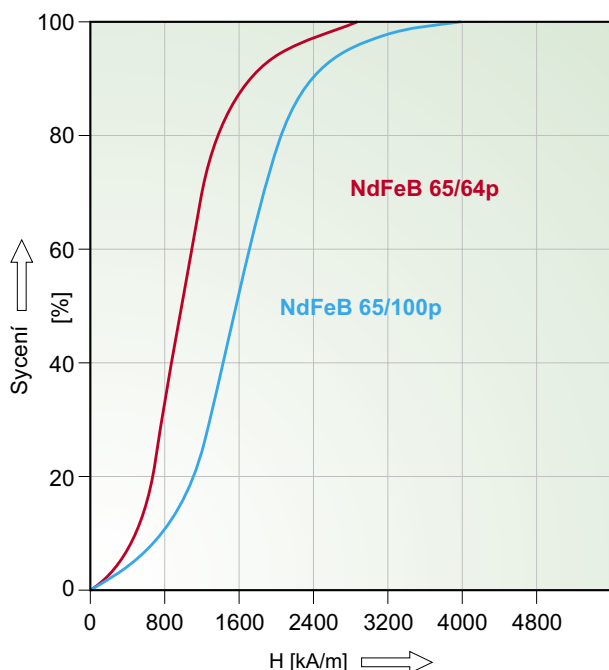
Na základě různých tvrdících mechanismů se dají trvalé magnety ze vzácných zemin různě lehce zmag-netovat. Magnetické tvrzení u NdFeB a SmCo₅ se zakládá na procesu tvorby zárodků zatímco u Sm₂Co₁₇ se jedná o vylučovací tvrzení.

Magnety jsou syceny prakticky až na 100%, pokud není požadováno jinak.

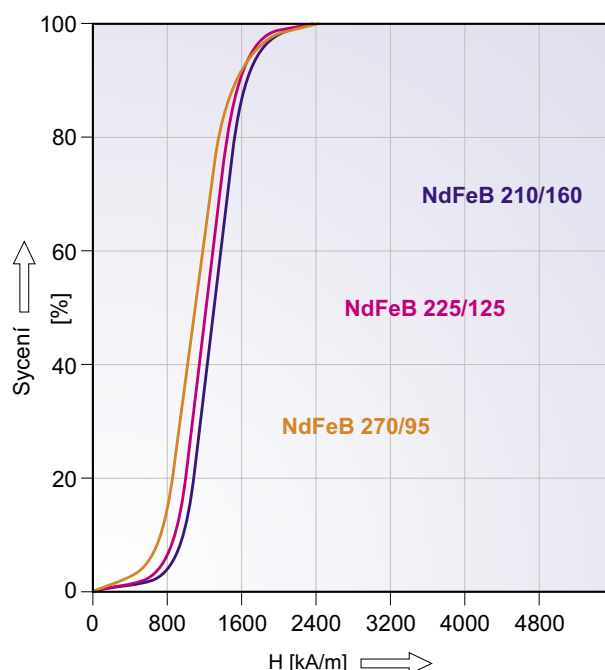
Křivky jsou reprezentativní pro příslušné materiálové skupiny a jsou založeny na experimentálních hod-notách. Odpovídají novým křivkám po tepelném zpracování. Trvalé magnety, demagnetované ve střídavém magnetickém poli se dají namagnetovat podstatně obtížněji.

Intenzity magnetického pole, potřebné k namagnetování magneticky tvrdých feritů jsou podstatně nižší než u permanentních magnetů ze vzácných zemin. Jako empirické pravidlo lze za základ použít trojnásobnou hodnotu koercivity H_{cJ} .

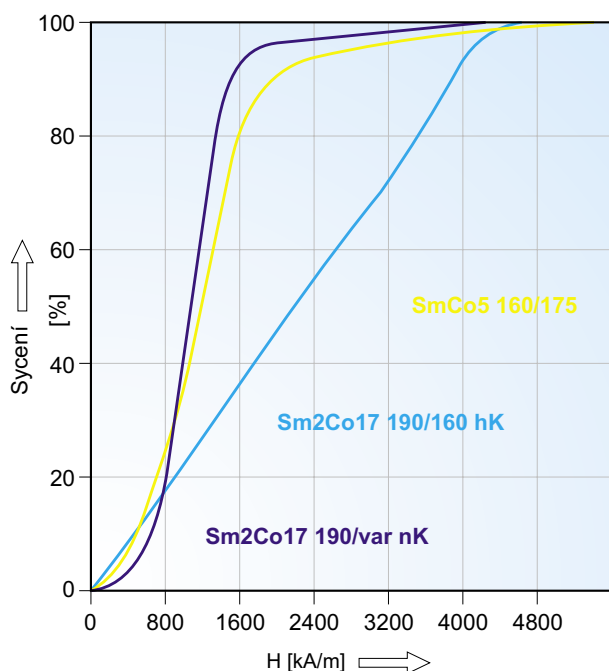
Plastem pojené permanentní magnety NdFeB



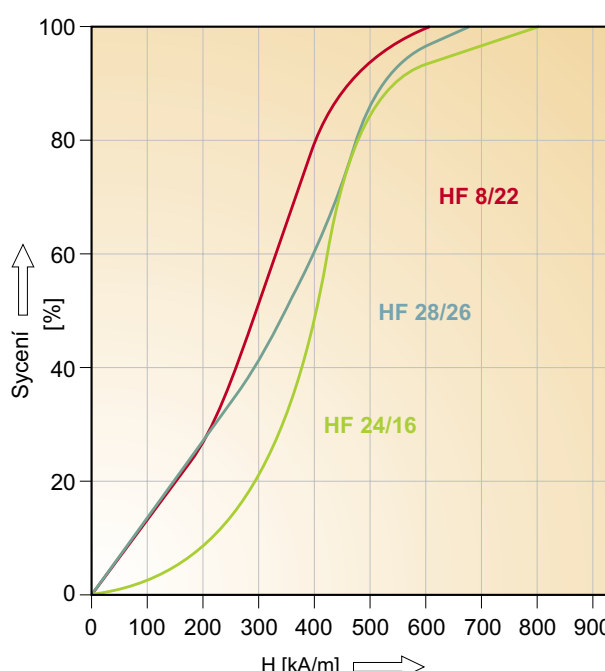
Sintrované permanentní magnety NdFeB



Sintrované permanentní magnety SmCo



Magneticky tvrdé ferity



Některé odborné výrazy a jejich význam.

Původně se usuzovalo, že magnetismus představuje samostatný fyzikální jev. V souvislosti s postupným získáváním poznatků o elektrických jevech a masovým využíváním elektrické energie v běžné praxi je stále více zřejmá úzká provázanost mezi elektrickými a magnetickými jevy a naopak. K lepšímu pochopení fyzikálních základů permanentních magnetů jsou v této kapitole dle možností co nejsrozumitelněji vysvětleny některé často používané odborné termíny.

Anizotropie

- obecně vyjadřuje rozdílnost vlastností materiálu v geometricky různých směrech. Konkrétně v případě anizotropních permanentních magnetů se liší množství energie nezbytné pro jejich magnetování v různých směrech, čehož je dosahováno spolupůsobením silného magnetického pole při lisování tělesa magnetu z feritového prášku popř. suspenze. Ve směru působení tohoto magnetického pole pak lze výlisk snáze magnetovat a dosahuje se i podstatně větší hodnoty remanentní magnetické indukce B_r (viz prioritní směr a přednostní osa orientace). Nejvíce se využívá magnetokrystalová anizotropie a tvarová anizotropie

B - magnetická indukce

- viz magnetická indukce

Barium (Ba)

- chemický prvek II.skupiny Mendělejevovy periodické soustavy prvků (alkalické zeminy). Nejdůležitější surovinou je baryt (těživec; řecky barys = těžký). Při výrobě feritových magnetů se přidává ve formě uhličitanu barnatého k oxidu železitému a při kalcinaci pak vzniká sloučenina $BaFe_{12}O_{19}$ (barnatý ferit).

$(B \cdot H)_{\max}$ - maximální energetický součin

- nejvyšší možná hodnota součinu hodnot magnetické indukce B a intenzity magnetického pole H v oblasti demagnetizační křivky. Jeho hodnota je rovna ploše největšího obdélníku vepsatelného do demagnetizační křivky. Při zjišťování tohoto součinu vycházíme z bodu dotyku demagnetizační křivky s hyperbolou ze soustavy energetických křivek. Čím vyšší je hodnota $(B \cdot H)_{\max}$ materiálu, tím menší pak může být při jinak stejných podmínkách objem magnetu, potřebného pro určitou aplikaci.

Curie teplota

- přechodová teplota, při které ztrácí feromagnetická látka svůj magnetismus (pojmenováno podle Madame Curie). Po překročení této teploty dochází k přeměně feromagnetické látky na paramagnetickou.

Demagnetizace

- snižování hodnoty remanentní magnetické indukce B_r až do dokonale demagnetované stavu, což lze provést následujícími způsoby:

1. Stejnoseměrným magnetickým polem s opačnou orientací.
2. Zahřátím minimálně na Curie teplotu T_c (u feritů 450°C), což způsobí úplné odemagnetování - pozor však na tepelné šoky, jejichž následkem mohou zejména odemagnetovávané feritové magnety praskat.
3. Ionizujícím zářením.
4. Tlumeným střídavým magnetickým polem.

Demagnetizační faktory (N)

- spojíme-li pracovní bod magnetu se začátkem souřadnicového systému, dostaneme korekční přímku. Úhel mezi druhou ordinátou (osou B) a korekční přímkou je korekční úhel. N je bezrozměrný a nabývá hodnoty mezi 0 (B_r , uzavřený magnetický obvod) a 1 (úplně otevřený magnetický obvod).

Demagnetizační křivka

- část hysterezní křivky, probíhající ve druhém kvadrantu pravoúhlého souřadného systému. Průběh demagnetizační křivky a její konečné hodnoty B_r (remanence) a H_c (koercitivita) určují podstatné magnetické hodnoty trvalého magnetu. Princip značení magnetického materiálu podle DIN IEC 60404-8-1 (dříve DIN 17410).

Fluxmetr

- přístroj pro měření magnetického toku - viz též měření magnetického toku

G - gauss

- jednotka magnetické indukce v mezinárodní soustavě jednotek CGS. Pojmenována po matematiku Friedrichu Gaussovi.

$$1\text{G} = 10^{-4}\text{ T}$$

$$1\text{ T} = 1000\text{ mT}$$

$$1\text{ mT} = 10\text{ G}$$

H - intenzita magnetického pole

- intenzita magnetického pole - viz koercitivní intenzita (síla) magnetického pole

Hustota (specifická hmotnost)

- udává se v $[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$ nebo $[\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}]$.

Hustota energie ($B \cdot H$)

Součin hodnoty magnetické indukce B a koercitivní intenzity magnetického pole H . Znázorněno jako vepsaný obdélník pod demagnetizační křivkou - viz též $(B \cdot H)_{\max}$

Hystereze

- uzavřená plocha vymezená oddělenými křivkami pro magnetování a demagnetování, většinou mezi hodnotami, které se nacházejí v oblasti nasycení. Tato oblast je označována jako (mezní) hysterezní křivka. Většinou používáno pro znázornění $B = f(H)$ nebo $J = f(H)$. Důležitými body jsou remanence B_r ($H = 0$) a koercitivní intenzita (síla) pole H_c ($B = 0$).

Hysterezní smyčka

- znázorňuje průběh magnetické indukce jako funkci intenzity magnetického pole H , tj. $J = f(H)$ nebo $B = f(H)$, přičemž ve druhém případě je vnější pole zároveň obsaženo v hodnotě B . Při prvním namagnetování stoupá B příp. J na tzv. nové křivce (viz též obr.).

Indukce magnetická (B)

- jednotkou v mezinárodní měrové soustavě SI je tesla (T), dříve gauss (G). Magnetickou indukci se rozumí hustota magnetického pole, indukovaného vnějším magnetickým polem ve feromagnetickém materiálu.

Intenzita magnetického pole (H)

viz též koercitivní intenzita magnetického pole

Ireverzibilní

- nevratný čili neopakovatelný. Při ireverzibilní změně, např. vlivem teploty, se hodnoty magnetických veličin při návratu k výchozí teplotě nikdy nevrátí na výchozí hodnoty.

Izostatický

- lisování prášku v elastické formě za všestranného tlaku v kapalině při několika tisících barech.

Izotropie

- homogenita fyzikálních (zde magnetických) vlastností ve všech směrech.

J - magnetická polarizace

- viz též magnetická polarizace

Kalibrace

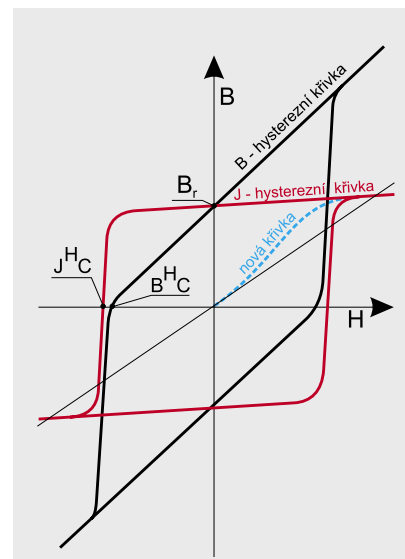
- obvykle obnáší tolerance magnetického toku asi $\pm 10\%$. Pro určité aplikace je tudíž žádoucí nastavit magnetický tok na užší toleranci.

Keramické permanentní magnety

- magneticky tvrdé ferity z keramických magnetických materiálů, např. barnaté a strontnaté ferity, též spěkaná kysličíková feromagnetika. Při manipulaci se chovají jako keramické produkty, tzn. jsou křehké, nesnášejí nárazy na tvrdou podložku i mezi sebou vzájemně.

Koercitivní intenzita magnetického pole (koercivita)

- jednotkou je kA/m nebo A/cm. Je to ona intenzita magnetického pole H_c , která způsobí odmagnetování namagnetovaného feromagnetického materiálu tj. vynulování hodnoty remanentní magnetické indukce neboli remanence B_r . Rozlišují se koercitivní intenzity magnetického pole H_{cJ} a H_{cB} . Toto rozlišení má technický význam u všech magnetů s velkou koercivitou a menší remanencí. Koercivita H_{cJ} vyplývá z hysterezní smyčky $J = f(H)$ - viz obrázek $f(H) =$ funkce H .



Permeabilita vakua, (μ_0)

$$\mu_0 = 1256 \cdot 10^{-6} \text{ H/m} = 1 \text{ G/Oe} = 1,256 \text{ mT/kA.m}^{-1}$$

Magnetická indukce (B)

- hustota magnetických siločar - viz též Tesla.

$$B \text{ (T)} = \text{magnetický tok } \Phi \text{ (Wb)} : \text{plocha průřezu } A \text{ (m}^2\text{)}$$

Magnetická polarizace (J)

- rozdíl mezi magnetickou indukcí ve feromagnetické látce B a ve vakuu B_0

$$J = B - B_0 = \mu_0 \cdot \mu_0 \cdot H - \mu_0 H.$$

Magnetický obvod

- cesta, kterou prochází magnetický tok. Skládá se z trvalého magnetu, pólových nástavců, vzduchové mezery a rozptylových polí.

Magnetický pól

- plocha na zdroji magnetického pole, ze které vystupuje (tzv. severní pól) nebo do které vstupuje magnetický tok (tzv. jižní pól). Podle definice ukazuje severní pól (např. střelky kompasu) na magnetický severní pól Země.

Magnetický tok (Φ)

- je tok magnetického pole plochou, součin magnetické indukce a plochy ($\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$)

1 Vs = 10^8 Maxwell = 1 Weber (v mezinárodní měrové soustavě SI)

1 Maxwell = 10^{-8} Vs (v mezinárodní měrové soustavě GCS)

Magnetování

- proces, při kterém dochází ke zmagetování dosud nemagnetické látky působením vnějšího magnetického pole, jehož intenzita $\mathbf{H}$ má být např. u tvrdých feritů nejméně trojnásobkem koeritivní intenzity magnetického pole $\mathbf{H}_c$ daného materiálu. Magnetovací čas může být velmi krátký - bez feromagnetických pólových nástavců stačí impuls kratší než 1 milisekunda

Magnetismus

- jevy magnetismu jsou spojeny s pohybem nosičů elektrických nábojů. Elektrony rotují (spin) a obíhají kolem jádra atomu, čímž vytvářejí elementární magnetické momenty. Tyto elementární magnetické momenty se vektorově sčítají a tvoří magnetický moment atomu. Je-li součet nula, je látka diamagnetická. U látek paramagnetických, feromagnetických, antiiferomagnetických a ferimagnetických je součet momentů od nuly odlišný.

1. Paramagnetismus se vyskytuje u látek z atomů s nejméně nenasycenou valenční elektronovou vrstvou (O_2 , Al, Pt, Ti), různé přechodové kovy, kovy ze vzácných zemin a aktinidy). Atomy mají permanentní magnetický moment. Sousední atomy nejsou vzájemně spojeny. Vystavením vnějšího pole se orientují atomy se svými atomy do směru tohoto pole.

Platí: $1 + 4 \cdot 10^{-4} > \mu_r > 1 + 10^{-8}$

2. Feromagnetismus se vyskytuje u látek, u kterých vedle určitého počtu elektronů ve valenční sféře elektronového obalu atomu existuje určitý poměr mezi meziatomovou vzdáleností a poloměrem atomu (Fe, Co, Ni, sloučeniny jako AlNiCo). Sousední atomy se sdružují paralelně a tvoří domény, jimž je vlastní celkový magnetický moment určité velikosti a směru.

Platí: $5 \cdot 10^{-5} > \mu_r > 100$

3. Antiiferomagnetismus. Také zde se tvoří elementární domény, avšak se dvěma rozdílnými podmřížkami, jejichž magnetické momenty jsou antiparalelní, tzn. opačné a stejně velké. Látky tohoto druhu se chovají jako paramagnetické látky (a-Mn, FeO, Fe_2O_3 , FeS, CoO).

4. Ferimagnetismus. Jako u antiiferomagnetismu se tvoří elementární domény s opačně usměrněnými momenty z různých podmřížek. Momenty jsou však různě velké a vzniká feromagnetická reakce. (Kubické ferity jako MnO. FeO jsou magneticky měkké, hexagonální ferity jako BaO. $6Fe_2O_3$ jsou magneticky tvrdé.

Maxwell

- jednotka magnetického toku v mezinárodní měrové soustavě CGS - viz též magnetický tok. Pojmenováno po fyzikovi Maxwellovi.

Měření hustoty magnetického toku (indukce)

- se provádí Teslometrem resp. Gaussmetrem. Přístroj pracuje s Hallovou sondou a bez pohybu sondy ukazuje přímo magnetickou indukci.

Měření magnetického toku

- se provádí fluxmetrem. Dříve přístroj s otočnou cívkou bez řídicí síly měrového systému, čímž byl zjišťován magnetický tok nezávisle na rychlosti pohybu cívky. Moderní fluxmetry pracují s operačními zesilovači namísto mechanických systémů.

Oe - oersted

- jednotka intenzity magnetického pole v mezinárodní měrové soustavě CGS. Pojmenováno po dánském fyzikovi Oerstedovi. Pro přepočít: $1 \text{ Oe} = 0,796 \text{ A/cm}$.

Permanentní (trvalý) magnet

- je magnet, který si po předchozím namagnetování zachová svůj magnetismus buď úplně nebo aspoň zčásti. Dnešní magnety mají koercivitu několikrát lepší a tím jsou i stabilnější nežli magnety, vyráběné před několika desetiletími. Jejich koercivity H_c se nacházejí nad 1 kA/m . Vysokoercozivní magnety jako SmCo a NdFeB mají hodnoty H_c až přes 2000 kA/m .

Permeabilita (μ)

- „magnetická vodivost“ resp. „propustnost“. Je to poměr magnetické indukce B k intenzitě magnetického pole v daném materiálu H . Ve vakuu je to konstanta: -permeability vakua $\mu_0 = 1,256 \text{ mT (kA/m)}$. V neferomagnetických materiálech vychází v závislosti na materiálu absolutní permeabilita, přičemž je rozšířena o relativní permeabilitu. Platí: $B = \mu H = \mu_0 \mu_r H$. Rozlišují se diamagnetické látky ($\mu_r < 1$), paramagnetické látky ($\mu_r > 1$) a feromagnetické látky ($\mu_r \gg 1$) s hodnotami mezi 1 a 100000.

Pracovní bod

- je bod na demagnetizační křivce, jehož přiřazené hodnoty B a H jsou směrodatné pro výpočet. V zásadě platí: čím větší je délka magnetu ve směru magnetování, o to výš je položen pracovní bod. V uzavřeném magnetickém obvodu, ze kterého nevystupuje žádné pole, by byl pracovní bod na ose B . Hodnota B pak odpovídá hodnotě B_r (remanenci) – viz též velikostní resp. rozměrový poměr.

Pracovní přímka

- je spojnice mezi pracovním bodem a nulovým bodem v diagramu $B = f(H)$ nebo $J = f(H)$.

Prioritní směr magnetování (též přednostní osa magnetizace)

- je onen směr, ve kterém permanentní magnet dosáhne svých nejlepších magnetických parametrů. U kruhových a válcových magnetů bývá prioritní směr axiální, u hranolů přes výšku tzn. kolmo na největší plochu, u segmentů radiální nebo diametrální směr. U magneticky tvrdých feritů je prioritní směr vytvářen slisováním prášku popř. suspenze v magnetickém poli.

Remanentní magnetická indukce B_r

- se udává v T nebo mT (tesla) v mezinárodní měrové soustavě SI (dříve gauss v mezinárodní měrové soustavě CGS). Zbytkové magnetování v magnetickém materiálu, který byl v uzavřeném obvodu namagnetován až do nasycení. Pod zdánlivou remanenci se rozumí hodnota, která vyplyne u částečně otevřeného magnetického obvodu.

Reverzibilní (neboli vratná) permanentní permeabilita ($\mu_{rev.}$)

odpovídá přibližně reverzibilní permeabilitě a znamená poměr $\Delta B : \Delta H$ v následujícím obrázku. Z toho vychází sklon opakované resp. reprodukovatelné křivky. To je sklon té křivky, na které se magnet znovu zreprodukuje, např. po otevření a zavření magnetického obvodu. Pracovní bod (**P**) v otevřeném systému by měl ležet nad kolenem. Pro lepší porozumění relativní permeability je tento v obrázku znázorněn pod kolenem.

($\Delta = \text{delta}$)

Reverzibilní

- vratný čili opakovatelný. Reverzibilní teplotní chování znamená např., že permanentní magnet po zahřátí a následném ochlazení na výchozí teplotu opět dosáhne původních magnetických parametrů.

Rozptylový magnetický tok

- viz též užitečný magnetický tok

Siločáry

- obvyklé názorné označování pro magnetické silové čáry, které lze dobře zviditelnit např. železnými pilinami.

Sintrování

- tepelné opracování při vysokých teplotách, kdy jsou výlisky z prášku či suspenze zhušťovány a homogénizovány. U tvrdých feritů 1200°C , u vzácných zemin $1050 \div 1200^{\circ}\text{C}$.

Stabilizace

- úprava permanentního magnetu za definované teploty nebo ošetření v magnetickém poli, aby se zabránilo změnám magnetického toku během pozdějších vnějších vlivů.

Strontium

- chemický prvek ze II. skupiny (zemito-alkalické kovy). Vyskytuje se v minerálech strontianit a celestin. Strontium se přidává ve formě uhličitanu strontnatého namísto baria a dává tvrdým feritům obzvláště vysokou koercivitu.

Susceptibilita, magnetická (χ)

- popisuje závislost mezi magnetováním a magnetickou silou pole.

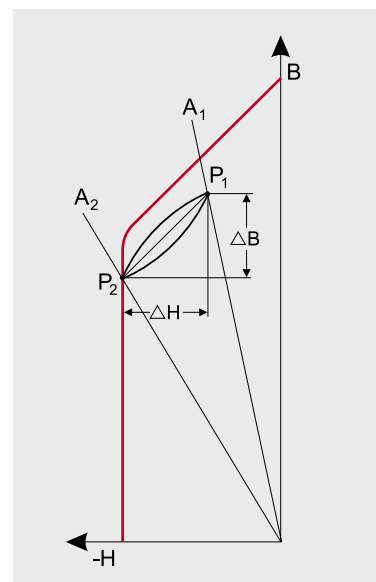
Platí: $M = \chi \cdot \mu_0 H$ a $\mu_r = \chi + 1$

Sycení

- (exaktně sytící polarizace) Nejvyšší dosažitelná magnetická polarizace permanentního magnetu.

Teplota aplikace (pracovní teplota)

- je nejvyšší teplota, které může být permanentní magnet vystaven, aniž by došlo k trvalé ztrátě magnetizace. Ostatní faktory jako mechanické nebo chemické vlivy mohou maximální pracovní teplotu dále omezit. Tato teplota platí pro permanentní magnety s dostatečně velkým poměrem $h : D$ a nevypovídá nic o demagnetizačních pochodech, podmíněných rozměrově.



Teplotní koeficient

- udává u magnetických materiálů změnu remanence a koercivity v závislosti na teplotě.

T - tesla

- jednotka hustoty toku resp. magnetické indukce.

1 tesla = 1 Vs/m² = 10000 gauss

Pojmenováno po Nikolovi Teslovi.

Magneticky tvrdý ferit

- barnatý nebo strontnatý ferit s chemickým složením MeO 6Fe₂O₃, přičemž MeO je oxidem kovu (hexaferit). Hexaferity BaO 6Fe₂O₃ a SrO 6Fe₂O₃ krystalují v hexagonální krystalické soustavě.

Úhel zkreslení (korekce)

- úhel mezi pracovní přímkou a osou B v B = f(H) -diagramu..

Užitečný magnetický tok

- je část magnetického toku, který protéká užitečnou vzduchovou mezerou. Tok, který neprotéká vzduchovou mezerou, se nazývá rozptylovým magnetickým tokem.

Velikostní (rozměrový) poměr h : D

- výška válcového magnetu k jeho průměru. Tento poměr má význam u tzv. „otevřených“ magnetických obvodů, což jsou magnety bez železných pólových nástavců. V dále uvedených křivkách jsou hodnoty **h : D** udány tak, že pro každou tuto hodnotu může být odečtena platná relativní remanence. U velmi malého poměru **h : D** (od 0,3) jsou tyto hodnoty pouze hodnotami přibližnými, které byly zjištěny měřením. Exaktní výpočet je možný pouze na elipsoidách.

U čtvercových nebo přibližně čtvercových magnetů se průměr počítá podle vzorce

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} \quad S \dots \text{plocha}$$

Vzduchová mezera

- je prostor mezi póly magnetu nebo magnetického systému, ve kterém existuje magnetické pole. Čím užší je vzduchová mezera, o to víc homogennější je pak toto magnetické pole.

W - weber

- jednotka magnetického toku v mezinárodní měrové soustavě SI. Pojmenována po prof. Wilhelmu Weberovi.

1 weber = 1 Vs = 10⁸ maxwell.

Zkreslení (korekce)

- je úhel pracovních přímk, vzniká např. otevřením nebo zavřením magnetického obvodu.

Toxikologie a radioaktivita.

Feritové permanentní magnety náleží k materiálové skupině sintrovaných oxidových keramik a jejich použití nepůsobí téměř žádné ohrožení zdraví. Některé isotropní permanentní magnety obsahují bariem a za určitých podmínek, např. v kyselém prostředí, mohou být minimální množství této látky uvolněna. Jelikož je bariem těžký kov, je vhodné přednostně používat permanentní magnety strontnaté.

O toxicitě kovů ze vzácných zemin a jejich sloučenin je známo velmi málo. Platily dlouho za naprosto nejedovaté a byly dokonce z části používány v medicíně k terapeutickým účelům. Jako zdroj nebezpečí v oblasti mechanického opracování je významné vdechování prachu, zvláště obsahuje-li kobalt. Vdechováním rozpustných solí jako ve vzduchu vznášejících se látek dochází k jejich nepatrnému vstupu do krevního oběhu. Resorpce nepatrného množství při vstupu do trávicího ústrojí je brána naproti tomu jako nevýznamná. Ve vyhláškách o pitné vodě nejsou uvedeny žádné mezní hodnoty pro kobalt. Pokusy prokázaly odolnost permanentních magnetů SmCo vůči neutrálním a alkalickým médiím. Z důvodu metalického charakteru sloučenin není dána žádná odolnost vůči kyselinám. Přírodní samarium, hlavní součást permanentních magnetů SmCo, obsahuje asi 15% z isotopu ^{147}Sm . Přesto jsou zevní kontakty naprosto bezproblémové. Permanentní magnety NdFeB jsou známy jako velmi korozivní a rozkládají se už ve vlhké atmosféře. Třebaže jsou kusy bezpečné, měli bychom se přesto vyvarovat příjmu prachu a volných částic.

Vliv radioaktivního záření na permanentní magnety.

Jsou-li permanentní magnety vystaveny radioaktivnímu záření, může dojít k narušení jejich struktury defekty. Tím mohou být ovlivněny strukturně závislé vlastnosti jako koercitivní intenzita magnetické pole (H_c), magnetická indukce (B) a remanentní magnetická indukce (B_r) přímo, vnitřní vlastnosti jako sytící magnetování a Curie-teplota nepřímo. Magneticky měřitelné změny vznikají teprve při dosažení definované intenzity záření, která je variabilní podle druhu materiálu. Neexistují-li doposud ještě žádné spolehlivé mezní hodnoty, byly prokázány v jednotlivých experimentech při silných ozářeních poškození či změny. Například způsobuje záření v oblasti $5,4 \cdot 10^{18}$ termických a $1,2 \cdot 10^{17}$ rychlých neutronů na cm^2 při 50°C tříprocentní snížení sytícího magnetování u Fe_2O_3 , který je základním kamenem magneticky tvrdých feritů. Magnety NdFeB vykazují ztrátu magnetování o více než 50% při protonovém záření s ekvivalentním zatížením $4 \cdot 10^6$ rad a totální ztrátu při hodnotě $4,5 \cdot 10^7$ rad. Magnety SmCo ukázaly signifikantní poruchy teprve při hodnotách 10^9 až 10^{10} rad, přičemž $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ je citlivější než SmCo_5 .

Chemická odolnost.

Trvalé magnety náleží k materiálové skupině oxidová keramika (ferity), kovů (sintrované magnety ze vzácných zemin) nebo k plastem pojené keramice či plastem pojenému kovu. Tomu odpovídají i jejich chemické a fyzikální vlastnosti. Podle způsobu použití může být požadována povrchová ochrana formou povlakování.

Barnaté a strontnaté magneticky tvrdé ferity.

Oxidová keramika je relativně odolná vůči vlhkosti, rozpouštědlům, louchům, slabým kyselinám, solím, mazadlům a škodlivým plynům. V určitých aplikačních oblastech se doporučuje použití strontnatého feritu, neboť bariem je těžký kov.

Permanentní magnety SmCo_5 a $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$.

Tyto kovové permanentní magnety jsou téměř beze zbytku tvořeny stabilními intermetalickými fázovými částicemi. Jsou při nízkých teplotách relativně odolné vůči vlhkosti, rozpouštědlům, louchům, slabým kyselinám, solím, mazadlům a neutrálním škodlivým plynům. Magnety jsou ovšem napadány koncentrovanými kyselinami a solnými roztoky. Vodík vede dlouhodobě k rozkládání a ke ztrátě magnetických vlastností. Kovovým nebo plastovým povrstvením se lze chemických účinků vyvarovat nebo je podstatně omezit.

Sintrované permanentní magnety NdFeB.

Vedle intermetalických fázových částic obsahuje strukturální stavba těchto trvalých magnetů volný neodým. Tomu nelze z výrobně-technických důvodů úplně zamezit. Jako téměř všechny kovy ze skupiny vzácných zemin je i tento ve své volné formě extrémně náchylný ke korozi a ke spontánní přeměně na práškový oxid nebo hydroxid neodymu doprovázené výrazným vzrůstem objemu. Permanentní magnety NdFeB jsou již napadány působením vzdušné vlhkosti. Materiál je však vůči většině rozpouštědel relativně stabilní, na soli a kyseliny reaguje ovšem extrémně silně korozivně. Působením vodíků materiál křehne. Reakce probíhá spontánně za vzniku tepla a silného vzrůstu objemu. Magnetické vlastnosti se ztrácejí.

Povlakování.

Plastem pojené permanentní magnety NdFeB.

Obsahují feromagnetický materiál NdFeB a epoxidovou pryskyřici nebo polyamid. Volný neodým, který se vyskytuje v sintrovaných materiálech, se zde nachází jen v nepatrném podílu a tyto permanentní magnety jsou proto značně odolnější, nežli srovnatelný sintrovaný materiál. Vysokým podílem plastového pojiva (až do 20% objemu), který feromagnetický materiál obklopuje, jsou ještě více chráněny citlivé částice. Povrchová koroze, která se eventuálně vyskytuje, vniká pouze velmi pomalu dále do tělesa permanentního magnetu. Proto jsou permanentní magnety tohoto druhu použitelné pro většinu aplikací. V kritických aplikacích se provádí ochrana povrchu doplňkovým plastovým povrstvením. Zhoršování funkce v důsledku odlupování materiálu se zabrání a dále se zvýší odolnost permanentních magnetů vůči chemickým vlivům.

Kovové povlakování.

Vrstva korozivzdorného kovu se nanáší nejčastěji galvanicky. Tato ochrana povrchu je vhodná pro permanentní magnety SmCo a NdFeB. Ochranná vrstva zvětšuje zpravidla „vzduchovou“ mezeru a vrstva niklu vytváří ještě navíc „magnetický zkrat“. Tímto je způsobeno snížení magnetické indukce až do 5%.

Povlakování plastem.

Převážně používané povrstvení parylenem (příp. epoxidovou pryskyřicí) je vhodné pro veškeré feromagnetické materiály a vytváří těsný a uzavřený povlak. Povrstvení skýtá účinnou ochranu vůči korozi a vlhkosti, neboť váže volné částice na povrchové ploše. Zůstane stabilní při trvalé teplotě ve vzduchu do 110°C, nebo při absenci kyslíku do 220°C. Povlakování se provádí při pokojové teplotě, tím jsou vyloučena termická poškození permanentních magnetů. Ani během úpravy ani po úpravě nevznikají odpadní plyny nebo odpadní vody, zatěžující životní prostředí.

Příklady použití.

Permanentní magnety mají tak rozsáhlé oblasti užití, že zde lze vyjmenovat pouze některé příklady aplikací.

Pohony

Motory buzené trvalými magnety (stejnoseměrné, lineární, krokové, synchronní)

Výpočetní technika

Klávesnicové magnety, pevné disky apod.

Elektrotechnika

Hallovy sondy, relé atd.

Energetika

Dynama, jističe, spínače, generátory, větrné elektrárny apod.

Jemná mechanika

Bezdotyková ložiska, spojky, hodiny, relé apod.

Transportní technika

Výtahy, dopravníky, čerpadla apod.

Přístroje v domácnosti

Mikrovlnné trouby, myčky, pračky, timery apod.

Humánní a veterinární medicína

Tomograf, veterinární magnety, extenzní magnety, rovnání zubů atd.

Automobilová technika

ABS, airbagy, spouštěče, kapalinové stavoznak, tachogenerátory, senzory klikových a vačkových hřídelí, regulace hladin, polohování řadící páky, polohování volantu, regulace světlometů, malé motory (stěrače, stahování oken apod.), motory pro elektricky poháněná vozidla a mnoho dalších

Magnetické systémy

Upínací a přidržné systémy (hračky, plánovací tabule apod.), separační systémy, uzavírací systémy, filtry, bezdotyková míchadla, hysterezní brzdy pro fitnessové přístroje atd.

Strojírenství

Brzdy s elektro-permanentními magnety, čelní a radiální bezdotykové spojky, hysterezní a vířivé spojky a brzdy, tiskařské válce, filtrační systémy, roboty, textilní stroje a další..

Telekomunikace

Rozhlasové a televizní přístroje, mikrofony, sluchátka, reproduktory, telefonní zařízení, video, CD atd.

Měření a regulace

Elektronické váhy, magnetické ventily, elektroměry, plynoměry, vodoměry, indikace plného stavu atd.

Letectví, astronautika, lodní doprava

Kompasy, navigační přístroje, pohony

Senzory

Hallovy senzory, magnetorezistivní senzory, impulzové senzory atd.

Ekologie

Čištění odpadních vod, úprava vody, separační systémy

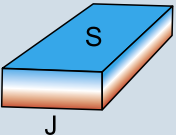
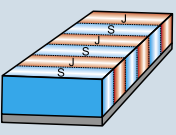
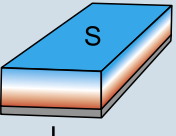
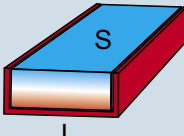
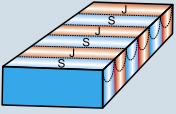
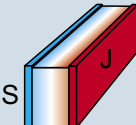
Stanovení přídržné síly u trvalých magnetů.

Při stejném druhu feromagnetického materiálu a stejném objemu permanentního magnetu lze dosáhnout rozdílných upínacích sil vhodnou volbou způsobu magnetování nebo přiložením pólových nástavců na těleso permanentního magnetu.

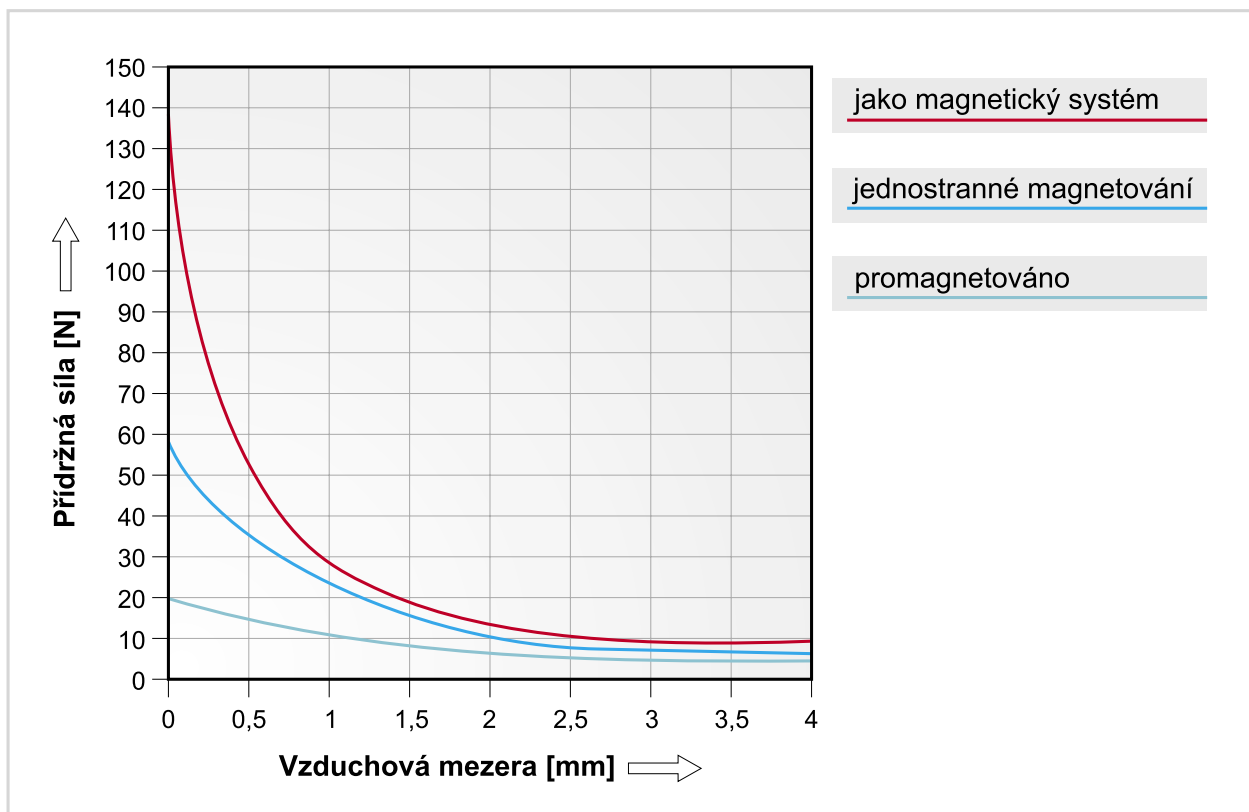
Dále uvedené hodnoty parametrů permanentních magnetů platí pro magneticky tvrdé anizotropní ferity. Kromě znázorněných příkladů, které platí pouze pro určité aplikace, existuje mnoho dalších variant. Uvedené hodnoty faktoru přídržné síly jsou jen orientační a jsou závislé na tloušťce magneticky měkkých pólových nástavců, na objemu permanentního magnetu, jakož i na uspořádání magnetického systému.

Rádi Vám pomůžeme najít vhodnou konfiguraci magnetického systému nebo optimální způsob namagnetování.

Faktory přídržné síly v závislosti na provedení magnetického systému a magnetování:

obrázek	způsob magnetování	faktor přídržné síly	obrázek	způsob magnetování	faktor přídržné síly
	promagnetováno	1		magnetování jednostranné vícepólové s pólovým nástavcem	3,5
	promagnetováno s nástavce z měkkého železa	1,3		promagnetování s pólovým nástavcem ve tvaru „U“	5,8
	magnetování jednostranné (vícepólové)	3		promagnetování se dvěma pólovými nástavci	8

Přídržná síla promagnetovaného trvalého magnetu je závislá na použitém materiálu, jakož i na jeho objemu (plocha . výška). Pomocí grafu lze zjistit přídržné síly promagnetovaného permanentního magnetu. Zjištěné hodnoty jsou střední hodnoty při nulové vzduchové mezeře (tzn. permanentní magnet se přímo dotýká železa) při svislém odtahu.



U kruhových, válcových nebo hranolových permanentních magnetů se vypočítává přidržná plocha v cm^2 . Potom se stanoví poměr jejich výšky h a průměru D - u čtvercových nebo přibližně čtvercových permanentních magnetů určíme odpovídající průměr D výpočtem:

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} \quad S \dots \text{plocha}$$

Je-li tato hodnota stanovena, postupuje se v diagramu svisle až ke křivce pro příslušný feromagnetický materiál. Vodorovně směrem vlevo se pak lze odečíst hodnotu měrné upínací síly F_1 [N/cm^2], kterou vynásobíme vypočtenou hodnotou přidržné plochy S [cm^2] a získáme hodnotu celkové přidržné síly permanentního magnetu F [N].

Příklad:

válcový permanentní magnet anizotropní (feromagnetický materiál **FD 28/20** čili **HF 24/23**) má průměr $D = 27 \text{ mm}$ a výšku $h = 10 \text{ mm}$.

Výpočet přidržné plochy S :

$$S = 3,14 \cdot D^2 / 4 = 3,14 \cdot 2,7^2 / 4 = 5,725 \text{ cm}^2$$

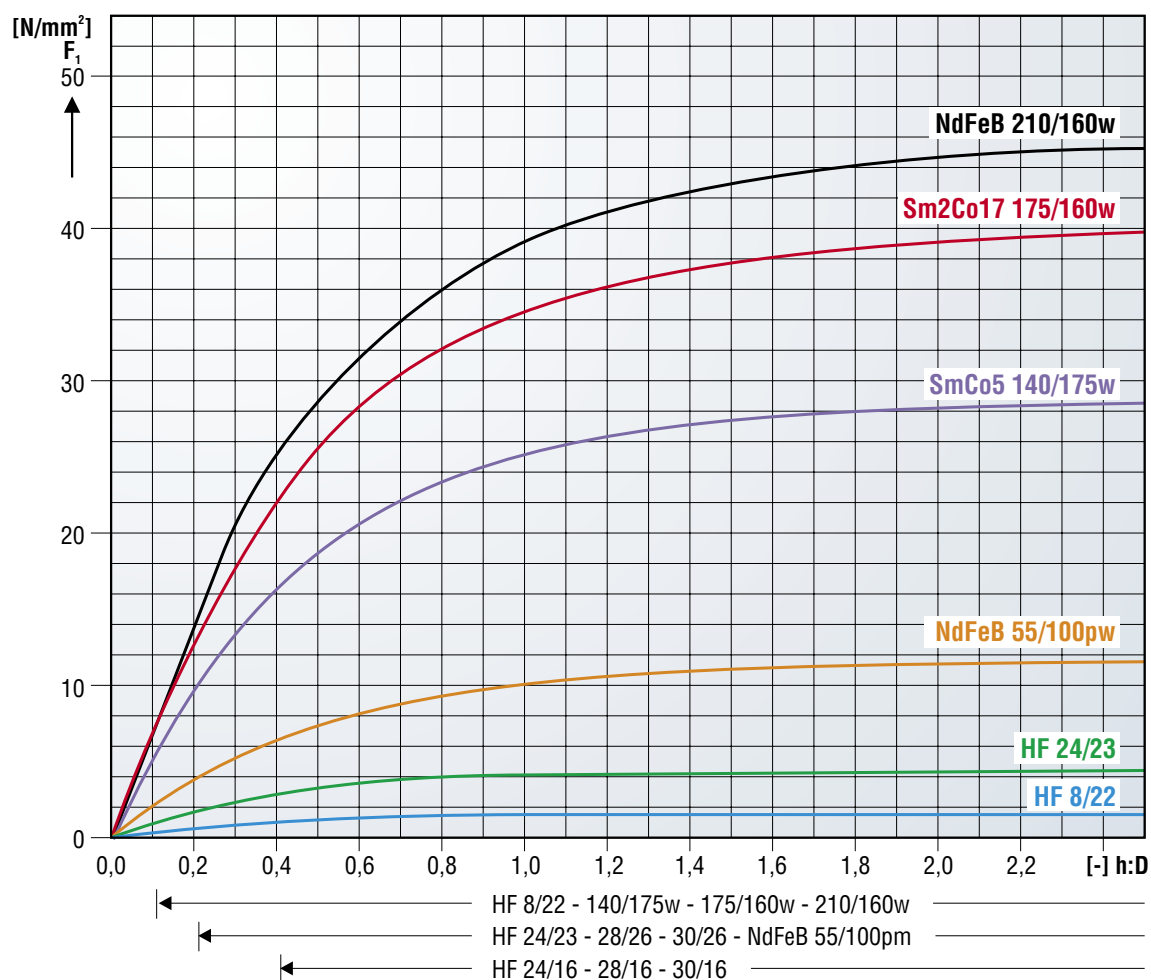
Výpočet poměru $h:D$:

$$h : D = 10 / 27 = 0,37$$

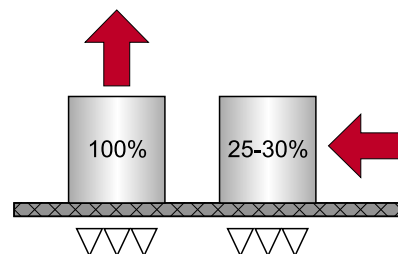
Z diagramu vyplývá pro poměr $h : D = 0,37$ hodnota měrné upínací síly $F_1 = 2,4 \text{ N}/\text{cm}^2$. Celková upínací síla magnetu:

$$F = F_1 \cdot S = 2,4 \cdot 5,725 = 13,75 \text{ N}$$

Podle použitého materiálu musí být dodržena určitá minimální hodnota poměru $h : D$, která je zřejmá ze spodní části tabulky resp. diagramu.



Poměr přídržné síly k posuvné síle



Závislost přídržné síly na druhu materiálu, ze kterého jsou zhotoveny pólové nástavce

Koeficient	materiál
1,0	12 013 (technicky čisté železo)
0,94	11 373
0,82	11 343
0,75	11 500
0,70	11 700
0,6 ÷ 0,3	legované a nástrojové oceli

Stanovení hodnoty magnetické indukce (hustoty magnetického toku).

Při stanovení hodnoty magnetické indukce (hustoty magnetického toku) permanentních magnetů rozdílných rozměrů a zhotovených z odlišných materiálů, má značný význam poměr výšky **h** a průměru **D** daného trvalého magnetu. Tomuto poměru odpovídá pracovní bod, tzn. bod na demagnetizační křivce, který představuje magnetickou indukci (hustotu magnetického toku) **B** a intenzitu (sílu) magnetického pole **H** v pracovním režimu trvalého magnetu. Obecně platí, že čím delší je permanentní magnet ve směru magnetizace, tím více se pracovní bod přibližuje hodnotě remanentní magnetické indukce **B_r**. Při použití uzavřeného magnetického obvodu prakticky splývá pracovní bod permanentního magnetu s hodnotou remanentní magnetické indukce **B_r**. Empiricky zjištěné poměry **h : D** bývají uváděny v příslušných demagnetizačních křivkách feromagnetických materiálů.

Na hodnotu magnetické indukce (hustoty magnetického toku) má zásadní vliv také poměr mezi velikostí vzduchové mezery **s** (tj. vzdáleností od povrchu magnetu) a průměrem permanentního magnetu **D**, vyjádřený tzv. geometrickým faktorem **f** :

$$f = s / D \quad [-, m, m]$$

S pomocí těchto základních parametrů a diagramů, vyjadřujících vzájemné vztahy mezi nimi, lze přibližně řešit jednoduché úlohy, jak je demonstrováno na dvou následujících příkladech:

Příklad č.1

Zadání:

Permanentní magnet, vyrobený z magneticky tvrdého anizotropního feritu **FD 28/20 (HF28/20)** má průměr **D = 22 mm** a výška **6 mm**

Úkol:

Stanovte hodnotu magnetické indukce (hustoty magnetického toku) ve vzdálenosti **s = 2 mm** od pólu permanentního magnetu.

Řešení:

Nejprve zjistíme hodnotu poměru **h : D**

$$h : D = 6 : 22 = 0,27$$

Nyní stanovíme geometrický faktor: **f = s : D = 2 / 22 = 0,09**

Závěr:

V diagramu pro hodnotu poměru **h : D = 0,27 (0,25)** lze na křivce pro anizotropní materiál **HF 24/23** při geometrickém faktoru **0,09** odečíst hodnotu magnetické indukce (hustoty magnetického toku) cca **60 ÷ 65 mT**.

Příklad č. 2:

Zadání:

Pro ovládání Hallova senzoru je nutná hodnota magnetické indukce (hustoty magnetického toku) **B = 80 mT** ve vzdálenosti (vzduchová mezera) **s = 2 mm** od pólu permanentního magnetu.

Úkol:

Určete, jaké feromagnetické materiály jsou vhodné pro výrobu potřebného permanentního magnetu a jaké by měl mít rozměry?

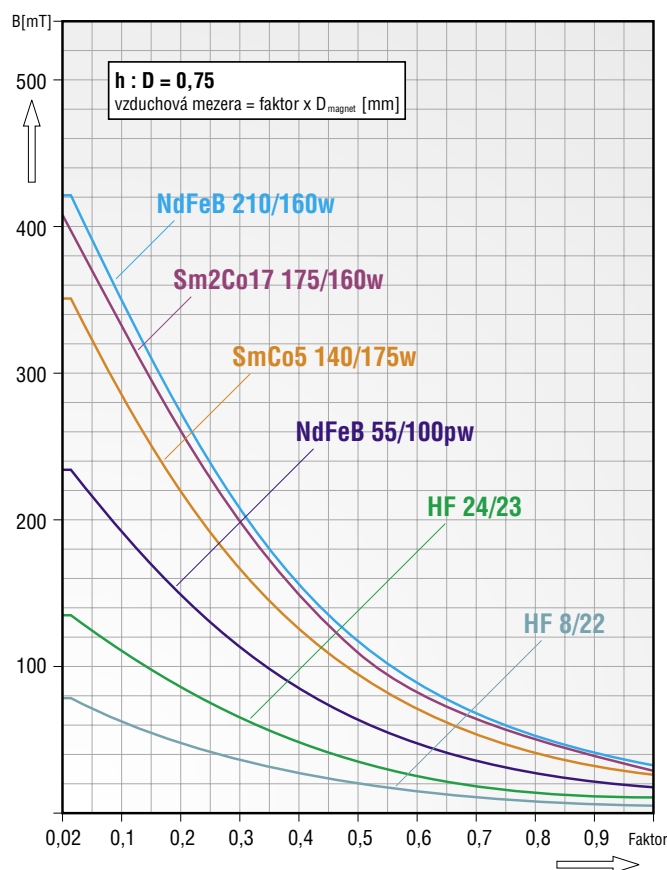
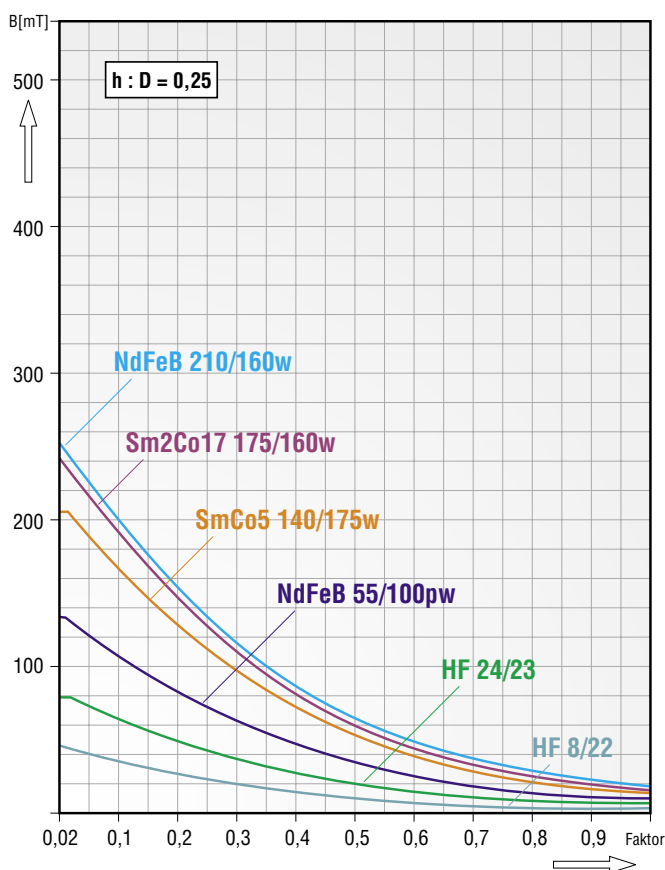
Řešení:

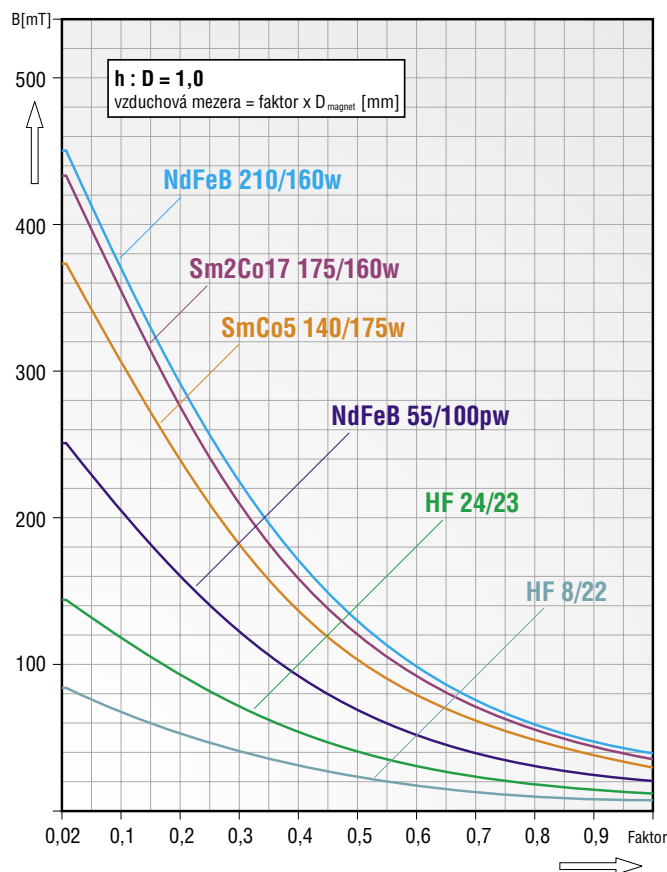
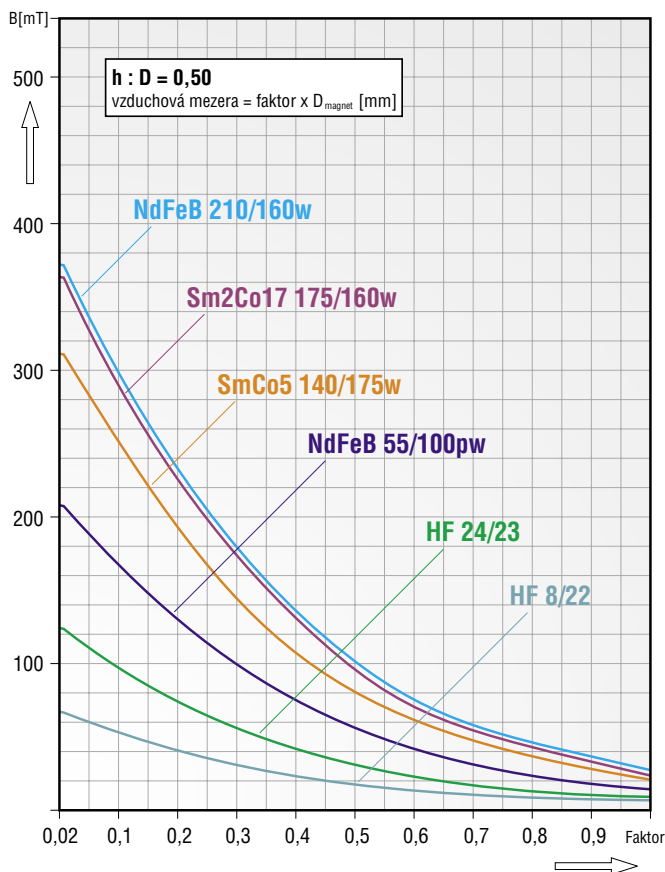
Jelikož nejsou zadány žádné další požadavky na konstrukci magnetického obvodu, lze poměr $h : D$ permanentního magnetu zvolit zcela libovolně - např. $h : D = 0,5$. Pro daný účel můžeme použít feromagnetické materiály, jejichž křivky v diagramu pro poměr $h : D = 0,5$ protínají úroveň, odpovídající hodnotě magnetické indukce $B = 80 \text{ mT}$ (tj. všechny s výjimkou materiálu **HF 8/22**). Zvolíme-li např. materiál **HF 24/23** (resp. **FD 28/20**), zjistíme z průběhu jeho křivky, že hodnotě magnetické indukce $B = 80 \text{ mT}$ odpovídá hodnota geometrického faktoru $f = 0,17$. Ze vzorce ro výpočet geometrického faktoru pak zjistíme požadovaný průměr permanentního magnetu:

$$D = s / f = 2 / 0,17 = 11,76 \text{ mm.}$$

Závěr:

Permanentní magnet, zhotovený z materiálu **HF 24/23** by měl mít průměr $D = 12 \text{ mm}$. Ze zvoleného poměru $h : D = 0,5$, vyplývá výška permanentního magnetu $h = 6 \text{ mm}$. Obdobným způsobem bychom stanovili rozměry potřebného permanentního magnetu i v případě zvolení jiného použitelného feromagnetického materiálu.



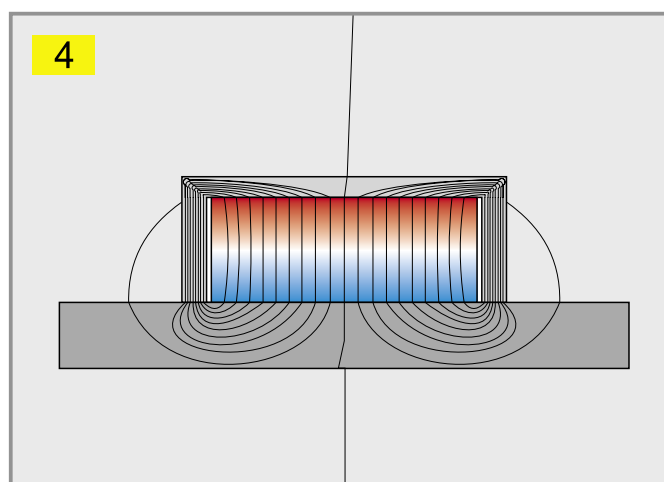
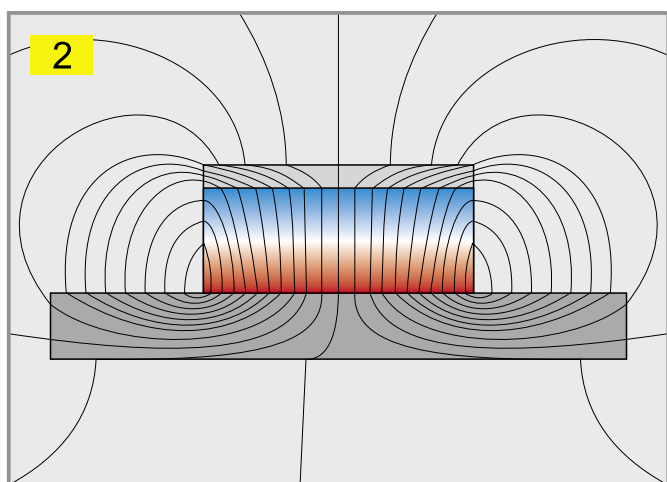
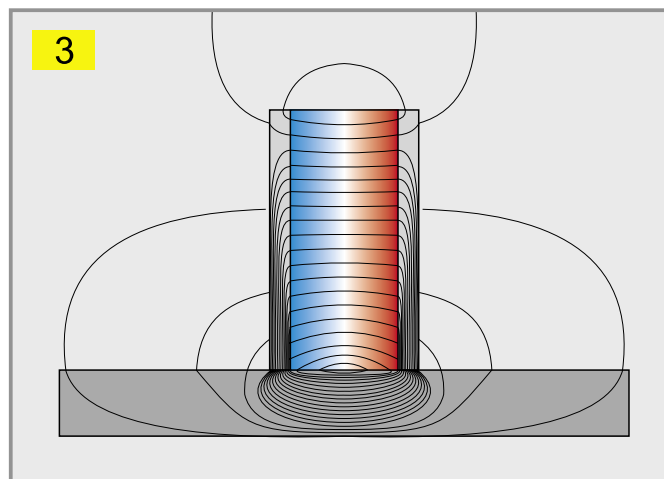
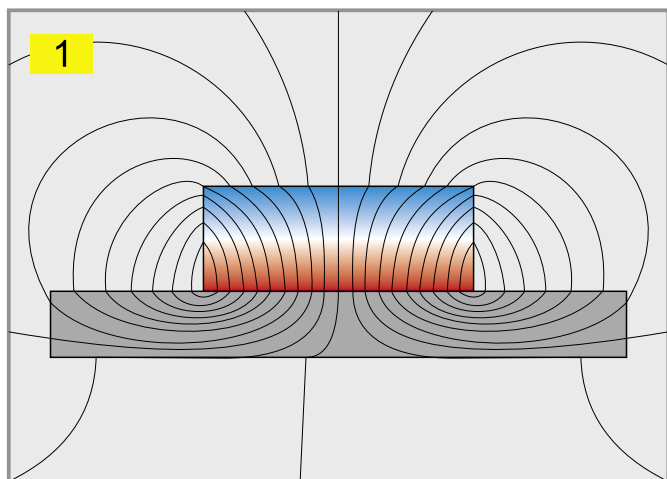


Magnetické systémy.

Jako magnetický systém je označován permanentní magnet, opatřený jedním nebo více vodičky resp. pólovými nástavci z magneticky měkkého železa. Tvarem a velikostí permanentního magnetu a jeho pólových nástavců lze magnetický tok ovlivnit tak, že vystupuje do okolního prostředí pouze na předem stanoveném místě a tam dosahuje optimálního účinku. Jak lze s pomocí magneticky měkkého železa zvýšit upínací resp. přídržnou sílu, bylo již znázorněno dříve (viz „Stanovení přídržné síly trvalých magnetů“).

Nejčastěji používané typy magnetických systémů:

1. Tzv. „otevřený magnetický obvod“, ve kterém nejsou použity žádné magneticky měkké příložky, magnetický tok není odkloněn resp. soustředěn a vystupuje rovnoměrně z celého povrchu permanentního magnetu.
2. Permanentní magnet na magneticky měkkém železe. Velká část magnetického toku prochází magneticky měkkým železem, neboť jeho magnetická vodivost je podstatně větší, než magnetická vodivost okolního vzduchu.
3. Magnet se dvěma pólovými nástavci z magneticky měkkého železa, často používaný při upínání fero-magnetických předmětů.
4. Magnetický systém, u kterého je zřetelně patrné, že téměř veškerý magnetický tok je soustředěn do magneticky měkkého železa. Pouze velmi malý počet siločar magnetického pole vybočuje ze systému do okolního prostředí. Také tento tzv. hrníčkový nebo zvonovitý typ magnetického systému se užívá převážně v upínacích systémech.



Bezpečnostní pokyny.

Velmi důležité pro manipulaci s trvalými magnety !!!

Následující informace musí být bezpodmínečně zpřístupněny všem pracovníkům, kteří jakýmkoliv způsobem s magnetickými materiály manipulují nebo je zpracovávají.

- Mějte vždy na paměti silové působení permanentních magnetů, které se mohou vzájemně přitahovat (odpuzovat) i při poměrně značných vzájemných vzdálenostech. U větších magnetů navíc hrozí nebezpečí zranění v důsledku jejich velké hmotnosti.
- Trvalé magnety (feritové i vyrobené ze vzácných zemin) jsou obecně tvrdé a křehké předměty. Narazí-li zprudka vzájemně na sebe nebo na tvrdou podložku, mohou se roztržít na mnoho střepin s ostrými hranami. Při manipulaci s nimi proto zásadně používejte ochranné pracovní prostředky (ochranné brýle, obličejový štítek, ochranné rukavice, apod.). Obrusy a třísky z magnetů, vyrobených ze vzácných zemin, jsou samozápalné a jejich hořením se uvolňuje velké množství tepelné energie (vysoké teploty). Při opracovávání je nezbytné vydatné chlazení vodou.
- Silná magnetická pole mohou ovlivňovat činnost citlivých elektronických nebo i mechanických měřicích přístrojů a podobných zařízení. U obzvláště citlivých měřicích přístrojů mohou být i nevratně nežádoucím způsobem pozměněny jejich vlastnosti. V této souvislosti nutno upozornit na možnost ovlivnění činnosti elektronických implantátů, podporujících základní vitální funkce orgánů lidského těla (např. kardiostimulátor, inzulinová „pumpa“ atd.) s možnými fatálními následky pro nositele těchto implantátů! Při používání (ale i při skladování permanentních magnetů) proto dbejte na dostatečně velký odstup od uvedených citlivých zařízení. Bezpečné vzdálenosti jsou zpravidla uvedeny v průvodní dokumentaci případně by Vám je měli na požádání sdělit výrobci těchto zařízení.
- Magnetické pole může poškodit záznam informace na magnetických nosičích (audio a videokazety, disky, kreditní karty s magnetickým záznamovým proužkem apod.) a může tyto nosiče informace i trvale znehodnotit.
- Nepracujte s permanentními magnety v prostředí s nebezpečím výbuchu. Při manipulaci mohou vznikat elektrické výboje, které mohou iniciovat výbuch.
- Nemá-li dojít ke změně zejména magnetických parametrů permanentních magnetů, nesmí být po delší dobu vystaveny radioaktivnímu záření. Dbejte také na dodržení doporučených pracovních teplot, které jsou uvedeny v jednotlivých materiálových specifikacích výrobce magnetů. Magnety, vyrobené ze vzácných zemin, musí být skladovány v suchém prostředí. Trvalé magnety jsou podle druhu materiálu rozdílně odolné agresivnímu působení chemických činidel okolního prostředí.

Vliv na člověka.

Nejsou známy žádné standardní škodlivé efekty, které by byly vyvolány přímým stykem s permanentními magnety. U citlivých osob však může při styku s nimi dojít k alergické reakci na některou složku použitou při jejich výrobě. Nejsou nám rovněž známy zásadní negativní účinky magnetického pole na lidské tělo. Naopak jsou mnozí lidé přesvědčeni o tom, že právě magnetické pole může mít léčivé účinky.

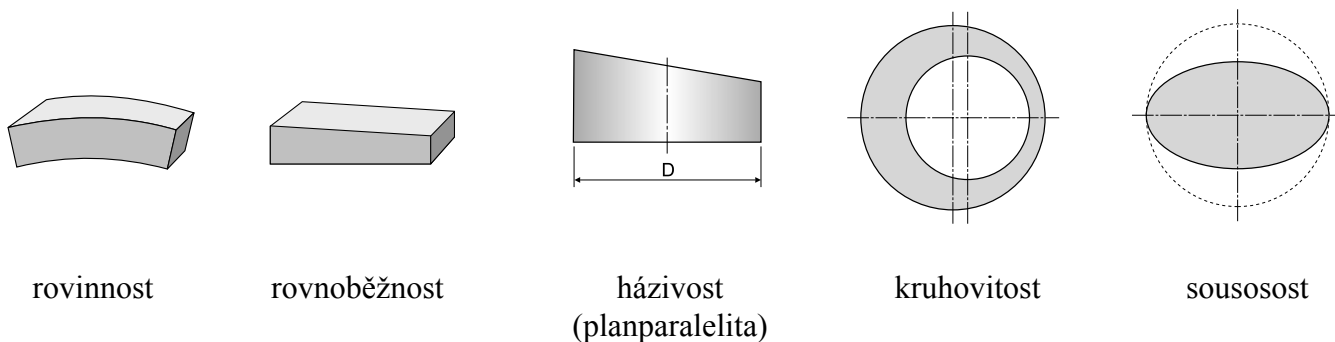
Máte-li dotazy ohledně nežádoucích i léčivých účinků magnetů, můžeme Vám doporučit, abyste se podle možnosti spojili s příslušným lékařským pracovištěm.

Pro zodpovězení jakýchkoli jiných dotazů, zejména odborných a bezpečnostních, jsme Vám rádi kdykoliv k dispozici.

Kvalita.

Dovolené výrobní tolerance mechanických parametrů permanentních magnetů.

Kromě dovolených výrobních tolerancí mechanických rozměrů (délky, šířky, výšky, rádiusů případně dalších rozměrů) jsou u permanentních magnetů výkresově definovány také dovolené výrobní odchylky geometrického tvaru a vzájemné polohy ploch tělesa magnetu, například:



Vzhledem k výrobním nákladům se často od dodatečného opracování upouští. Výjimkou jsou však anizotropní feritové magnety, jejichž pólové plochy se naopak většinou opracovávají.

Pro neopracované permanentní magnety jsou dovolené odchylky mechanických parametrů od jejich jmenovitých hodnot předepsány podnikovou normou PN 5-109. Obecně platí, že mechanické parametry dodávaných výrobků musí odpovídat dokumentům, vzájemně dohodnutým se zákazníkem (výkresy, technicko-přejímací podmínky, normy nebo katalog).

Výtah z PN 5-109

jmenovitý rozměr [mm]		dovolené úchytky [mm]	jmenovitý rozměr [mm]		dovolené úchytky [mm]
	do 4	$\pm 0,15$	nad 55	do 60	$\pm 1,00$
nad 4	6	$\pm 0,20$	60	70	$\pm 1,20$
6	8	$\pm 0,25$	70	80	$\pm 1,40$
8	10	$\pm 0,30$	80	90	$\pm 1,60$
10	13	$\pm 0,35$	90	100	$\pm 1,80$
13	16	$\pm 0,40$	100	110	$\pm 1,90$
16	20	$\pm 0,45$	110	125	$\pm 2,20$
20	25	$\pm 0,50$	125	140	$\pm 2,40$
25	30	$\pm 0,55$	140	155	$\pm 2,60$
30	35	$\pm 0,60$	155	170	$\pm 2,90$
35	40	$\pm 0,65$	170	185	$\pm 3,10$
40	45	$\pm 0,70$	185	200	$\pm 3,40$
45	50	$\pm 0,80$	200	225	$\pm 3,80$
50	55	$\pm 0,90$	225	250	$\pm 4,20$

Dovolené úchytky jsou oboustranné. Při volbě jednostranné úchytky je třeba oboustrannou úchytku násobit dvěma.

Mechanická poškození.

Trvalé feritové magnety jsou svou povahou velmi křehké. Ve výrobním procesu se proto nelze zcela úplně vyvarovat drobných mechanických poškození. Magnetické a mechanické vlastnosti jsou však tímto ovlivněny pouze nepatrně. Na konci výrobního procesu jsou permanentní magnety podrobeny rutinní vizuální kontrole vzhledu povrchu (bez optického zvětšení). Jemné vlasové trhlinky, jakož i drobná poškození povrchu (povrchové rýhy, výštipky, oddroleniny, apod.) do dvou procent velikosti pólové plochy, jsou při této kontrole povoleny. Na přání zákazníka lze dohodnout referenční vzorky.

Ulpívající částice.

Z výrobně-technických důvodů mohou na povrchu permanentních magnetů zůstat resp. ulpívat nepatrné částice prachu nebo feritového materiálu, které nelze úplně odstranit. Tyto však nemají žádný vliv na vlastní funkci magnetu.

Magnetické vlastnosti.

Hodnoty magnetických veličin, uvedené v nabídkovém katalogu, jsou závazné, pokud nebyly se zákazníkem písemně dohodnuty jiné hodnoty. Magnetické parametry odpovídají normě DIN IEC 60404-8-1 a jsou měřeny na broušených zkušebních permanentních magnetech v souladu s DIN EN 10 332 měřicím přístrojem zvaným hysteresigraf. U tvarově náročných aplikací, kdy nelze použít uvedené měřicí zařízení, se sjednává se zákazníkem odpovídající měřicí metoda. Standardně se provádí tato kontrola pouze statisticky na výběrovém vzorku výrobků na základě požadavku zákazníka, uvedeného v písemné dohodě, lze zajistit i kontrolu všech dodávaných výrobků.

Balení a doprava.

Výrobky se balí většinou do kartónových krabic s proložkami, čímž jsou dostatečně chráněny před poškozením. Podle přání zákazníka lze sjednat i balení jiné. Skupinová balení, obsahující zmagnetované výrobky, se musí skladovat tak, aby se zabránilo nežádoucím důsledkům vzájemného silového působení magnetů v jednotlivých baleních. Obaly musí být zřetelně označeny nápisy „křehké zboží“ případně „pozor - magnetické“. Na každém obalu musí být uvedeny údaje, potřebné pro přejímku a případnou reklamaci dodávky (adresa výrobce, počet kusů výrobku v daném balení, název případně identifikační kód výrobku, datum výroby a podpis pracovníka výstupní kontroly). Hmotnost jednoho uceleného balení nesmí překročit 15 kg brutto. Zásilka musí být řádně zajištěna proti poškození při přepravě.