

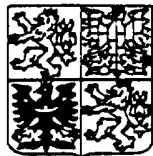
PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

281 163

ČESKÁ
REPUBLIKA

(19)



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **784-92**

(22) Přihlášeno: 16. 03. 92

(30) Právo přednosti:
18. 03. 91 AT 91/596

(40) Zveřejněno: 15. 12. 93

(47) Uděleno: 14. 05. 96

(24) Oznámeno udělení ve Věstníku: 17. 07. 96

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.⁶:
H 01 F 1/04

(73) Majitel patentu:
VACUUMSCHMELZE GMBH, Hanau, DE;

(72) Původce vynálezu:
Diebold Adolf dipl. Ing., Waldhofen/Ybbs,
AT;
Pacher Oskar dr., Graz, AT;
Heiss Siegfried dr., Waldhofen/Ybbs, AT;

(54) Název vynálezu:
**Slinovaný permanentní magnetický
materiál, zejména ve formě slinovaného
permanentního magnetu a způsob výroby
tohoto magnetu**

(57) Anotace:
Tvrký magnetický podíl SE₂Fe₁₄B, ve kterém
může být až 40 % atomů železa nahrazeno
atomy kobaltu, činí alespoň 65 objemových pro-
cent a tento tvrdý magnetický podíl je tvořen
alespoň dvěma magnetickými fázemi, přičemž
alespoň jedna magnetická fáze je jako centrální
fáze tvořena povrchově vyhlazenými nebo difuz-
ně zaformovanými zrny se sníženou povrchovou
energií, na kterých je jako periferní fáze uložena
alespoň jedna další magnetická fáze, přičemž
paramagnetická mezifáze, nacházející se mezi
tvrdými magnetickými fázemi, má respektive
mají ve srovnání s magnetickými fázemi vyšší
koncentraci vzácných zemin.

CZ 281 163 B6

Slinovaný permanentní magnetický materiál, zejména ve formě slinovaného permanentního magnetu a způsob výroby tohoto magnetu

Oblast techniky

Vynález se týká slinovaného permanentního magnetického materiálu, zejména ve formě slinovaného permanentního magnetu, obsahujícího 8 až 30 atomových procent vzácných zemin a 2 až 28 atomových procent boru, přičemž zbytek je tvořen železem nebo železem a kobaltem. Vynález se také týká způsobu výroby uvedeného slinovaného permanentního magnetu.

Dosavadní stav techniky

Permanentní magnety, popřípadě permanentní magnetické materiály, zhotovené v podstatě ze slitiny železa (Fe) a popřípadě kobaltu (Co), boru (B) a vzácných zemin (SE - Seltene Erde) slinovacím postupem, jsou s výhodou používány v případě, kdy je žádoucí vysoká koercitivní síla, vysoká remanence a/nebo vysoký energetický součin ($BH_{\max}$) permanentních magnetů. Při výrobě těchto permanentních magnetů se nejdříve metalurgicky z taveniny připraví složka, která tvoří nebo která obsahuje permanentní magnetickou fázi typu $SE_2Fe_{14}B$, ve které může být určitý podíl atomů železa nahrazen atomy kobaltu a která se potom převede na prášek a tento prášek se po případném smíšení s přísadami slinuje v magnetickém poli na surový výlisek, který se potom slinuje, přičemž se slinované těleso podrobí alespoň jednomu dalšímu tepelnému zpracování.

V evropském patentovém spisu EP-B1-0126802 jsou popsány slinované permanentní magnety typu B-R (R znamená alespoň jeden prvek vzácných zemin včetně yttria), ve kterých je železo částečně nahrazeno kobaltem. Uvedené prvky jsou v průběhu použitého způsobu výroby v magnetické fázi homogenně rozděleny a tepelným zpracováním nebo zráním slinovaného tělesa se má dosáhnout zlepšení magnetických hodnot. Náhradou železa kobaltem se dosáhne zvýšení Curieova bodu popřípadě Curieovy teploty (T_C) magnetického materiálu, přičemž však, jak je známo, dochází se zvyšujícím se obsahem kobaltu v magnetické fázi ke snižování koercitivní síly uvedeného magnetického materiálu, což nepříznivě ovlivňuje shora uvedený energetický součin.

Za účelem získání permanentních magnetů se zlepšenými magnetickými vlastnostmi při okolní teplotě je v evropském patentovém spisu EP-B1-0101552 navrženo použít kobaltu-prostou slitinu s obsahem Fe-B-R, která obsahuje alespoň jednu stabilní sloučeninu ternárního systému Fe-B-R, ve kterém R znamená alespoň jeden prvek vzácných zemin včetně yttria. Hlavní magnetická fáze musí přitom být intermetalickou sloučeninou s konstantním složením, což předpokládá homogenní rozdělení legovacích prvků v uvedené hlavní magnetické fázi. Nehledě na vysoké náklady spojené s výrobou takové homogenní výchozí slitiny a na značný rozptyl magnetických hodnot magnetických materiálů, které byly připraveny slinovacím postupem, dochází u uvedeného kobaltu-prostého magnetického materiálu k významnému zhoršení magnetických parametrů při teplotě stoupající v teplotním rozmezí od okolní teploty a do

teploty 200 °C, přičemž Curieova bodu je v tomto případě dosaženo již při teplotě asi 300 °C.

Dále je z evropského patentového spisu EP-A1-0265006 znám způsob výroby slinovaných permanentních materiálů, při kterém se stechiometricky složený krystalický materiál $\text{RE}_2(\text{FeCO})_{14}\text{B}$ (RE zde znamená prvek vzácných zemin) mele s dalším materiálem, přičemž tento další materiál vytvoří v průběhu tepelného zpracování, popřípadě v průběhu slinovacího postupu na povrchu zrn magnetické fáze $\text{RE}_2(\text{FeCO})_{14}\text{B}$ druhou, nemagnetickou tekutou fází. Tím se má dosáhnout toho, že je možné nastavit přesné chemické složení při homogenním rozdělení všech prvků magnetické fáze v magnetickém materiálu nezávisle na uvedené druhé fázi, která může mít zvláštní tavně-technické vlastnosti a/nebo složení. Nevýhodou této formy provedení však je, že vyžaduje značné náklady spojené s přípravou slitiny a že takto připravený materiál vykazuje špatnou reprodukovatelnost magnetických hodnot.

Cílem vynálezu je odstranit shora uvedené nedostatky známých magnetů nebo magnetických materiálů obsahujících vzácné zeminy, (Fe,CO),B a způsobů jejich výroby a získat slinované permanentní magnety, které by vykazovaly vysoké magnetické nasycení, vysokou koercitivní sílu a vysoký energetický součin při dobré tepelné stabilitě a vysokém Curieovu bodu. Dalším cílem vynálezu je možnost jednoduchého nastavení Curieova bodu permanentních magnetů nebo magnetických materiálů podle daných požadavků.

Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu je slinovaný permanentní magnetický materiál, zejména ve formě slinovaného permanentního magnetu, obsahující 8 až 30 atomových procent vzácných zemin, 2 až 28 atomových procent boru, přičemž zbytek je tvořen železem a kobaltem, jehož podstata spočívá v tom, že jeho tvrdý magnetický podíl $\text{SE}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, ve kterém může být až 40 % atomů železa nahrazeno atomy kobaltu, činí alespoň 65 objemových procent a tento tvrdý magnetický podíl je tvořen alespoň dvěma magnetickými fázemi, přičemž alespoň jedna magnetická fáze je jako centrální fáze tvořena povrchově vyhlazenými nebo difuzně zaformovanými zrny se sníženou povrchovou energií, na kterých je jako periferní fáze uložena alespoň jedna další magnetická fáze, přičemž paramagnetická mezifáze nebo paramagnetické mezifáze, nacházející se mezi tvrdými magnetickými fázemi, má, respektive mají ve srovnání s magnetickými fázemi vyšší koncentraci vzácných zemin.

Materiál podle vynálezu výhodně obsahuje mezi alespoň jednou magnetickou fází a paramagnetickou fází nebo paramagnetickými fázemi vměstky nebo/a přísady sloučenin vzácných zemin a popřípadě kovy, boridy, například borid železa nebo borid hliníku, a oxidy, například oxidy lehkých kovů, jako například oxid hlinitý nebo oxidy vzácných zemin.

Difuzně zaformovaná zrna centrální magnetické fáze nebo centrálních magnetických fází mají průměr 10 až 100 μm , výhodněji 10 až 60 μm , zejména 15 až 30 μm .

Magnetická periferní fáze nebo magnetické periferní fáze je, respektive jsou na difuzně zaformovaných hranicích zrn magnetické centrální fáze nebo magnetických centrálních fází výhodně uloženy ve formě slupek.

Centrální magnetická fáze nebo centrální magnetické fáze nebo/a periferní magnetická fáze nebo periferní magnetické fáze výhodně obsahují odlišné prvky vzácných zemin nebo/a mají odlišné koncentrace kobaltu.

Výhodně má alespoň jedna centrální magnetická fáze vyšší koncentraci kobaltu než magnetická periferní fáze nebo magnetické periferní fáze, která, respektive které jsou výhodně chudé na kobalt, popřípadě prosté kobaltu.

Výhodně místní koncentrace kobaltu na hranicích zrn nebo v hraniční oblasti zrn mezi fázemi s odlišným obsahem kobaltu vykazují difuzně-kineticky vytvořené přechody.

Výhodně je podíl vzácných zemin v magnetických fázích tvořen lehkými vzácnými zeminami, zejména neodymem, přičemž podíl vzácných zemin v mezifázi nebo v mezifázích, které mohou obsahovat přísady boridů nebo/a oxidů nebo/a kovů, je tvořen těžkými vzácnými zeminami, zejména dysprosiem.

Předmětem vynálezu je také způsob výroby shora uvedeného magneticky vyrovnaného slinovaného permanentního magnetu jeho základní materiál je vyroben metalurgicky z taveniny a jehož podstata spočívá v tom, že se alespoň dva základní materiály, tvořící v magnetu magnetickou fází, s odlišnými chemickými složeními roztaví a ponechají ztuhnout a takto získané základní materiály se rozdrtí na prášek, přičemž se alespoň jeden základní materiál rozdrtí na prášek s menším průměrem zrna, potom se přidají přísady a prášky základních materiálů se smísí a získaná směs se za vyrovnaní v magnetickém poli slisuje na výlisek a tento výlisek se slinuje, potom se slinuté těleso podrobí difuznímu žíhání a popřípadě alespoň jednomu dalšímu tepelnému zpracování.

Výhodně se roztaví dva základní materiály s vyšší koncentrací vzácných zemin, než jaká odpovídá magnetické fázi $SE_2(FeCo)_{14}B$, přičemž se výhodněji tyto materiály vyrobí se složením $SE_{16}(Fe,Co)_{77}B_7$, $SE_{15}(Fe,Co)_{77}B_8$ nebo $SE_{14}(Fe,Co)_{80}B_6$, kde (Fe,Co) znamená podíl železa, který může být popřípadě nahrazen kobaltem.

Výhodně je alespoň jeden základní materiál legován kobaltem, přičemž podíl železa je až ze 40 % nahrazen kobaltem.

Výhodně je podíl vzácných zemin základních materiálů tvořen lehkými vzácnými zeminami.

Výhodně je jeden nebo několik základních materiálů rozemlet, respektive rozemlety na hrubý prášek s průměrem zrna 10 až 100 μm , výhodněji 10 až 60 μm , zejména 15 až 30 μm , přičemž alespoň jeden další základní materiál je rozemlet na jemný prášek s průměrem zrna 0,5 až 8 μm , zejména 3 až 8 μm .

Základní materiál nebo alespoň jeden ze základních materiálů, který, respektive které byly rozemlety na hrubý prášek, výhodně má, respektive mají ve srovnání se základním materiálem nebo alespoň jedním ze základních materiálů, který, respektive které byly rozemlety na jemný prášek, odlišné vzácné zeminy nebo/a odlišný obsah kobaltu.

Výhodně se k hrubému nebo/a jemnému prášku základních materiálů, výhodněji před mletím nebo smíšením nebo při mletí nebo smíšení přidají přísady, určené k uložení do fázového rozmezí, v pevné nebo/a kapalně formě, například organokovové sloučeniny, a tyto přísady se v práškové směsi homogenně rozdělí.

Výhodně se k práškovým základním materiálům jako přísady přidají sloučeniny těžkých vzácných zemin a popřípadě kovy, boridy, například železa nebo/a hliníku, oxidy, například oxid hliníkový nebo oxidy vzácných zemin, a další sloučeniny kovů.

Výhodně se surový výlisek vylišovaný z homogenní práškové směsi obsahující přísady slinuje a potom difuzně žihá při teplotě, která je nižší než slinovací teplota.

Výhodně se zrna hrubého prášku nebo hrubých prášků difuzně zaformují, potom se na vyhlazených površích zrn dosáhne mikrostrukturně orientovaného, výhodněji slupkovitého uložení fáze vytvořené z jemného prášku.

Výhodně se roztaví základní materiály s danými obsahy kobaltu, potom se prášky vyrobené z těchto základních materiálů mísí v daných poměrech v závislosti na požadovaných magnetických parametrech permanentního magnetu.

U slinutého permanentního magnetu a magnetického materiálu a při provádění způsobu jeho výroby se synergicky dosáhne celé řady výhod, přičemž se dalekosáhle potlačí nežádoucí účinky jednotlivých opatření a významně se zvýší soubor magnetických vlastností takto získaného permanentního magnetu nebo magnetického materiálu, uvažovaných jako celek. Vědecké zdůvodnění těchto kombinačních účinků a jejich příčiny nejsou dosud zcela objasněny; přitom se však v podstatě jedná o fyzikálně-chemické účinky ve spojení s magneokinetikou.

Příklad provedení vynálezu

Jak již bylo uvedeno, je u permanentního magnetu nebo magnetického materiálu podle vynálezu tvrdý magnetický podíl tvořen více magnetickými fázemi, které jsou, jak se naprosto překvapivě ukázalo, ve výhodné vzájemné interakci. Důležité přitom je, aby jedna nebo více magnetických fází tvořily centrální nebo jádrovou fázi z povrchově vyhlazených, popřípadě difuzně zaformovaných zrn, přičemž podle nejnovějších poznatků může dojít difuzí k povrchové rekrytalizaci a další magnetický podíl se orientuje jako periferní fáze, uložená na centrální fázi, popřípadě přiřazená k této fázi. Tím se dosáhne vyššího podílu magnetického objemu v materiálu a snížení tvorby doménových stěn a/nebo posunu doménových stěn, což má za následek zvětšení koercitivní síly a proto i energetického součinu. Paramagnetická mezifáze nebo

vazná fáze musí mít vyšší koncentraci vzácných zemin než magnetická fáze a popřípadě obsahuje vměstky a/nebo přísady, čímž se dosáhne dalšího blokování doménových stěn. Mimořádných magnetických vlastností magnetického materiálu se dosáhne v případě, kdy zrna centrální nebo jádrové fáze mají průměr 10 až 100 μm , a kdy okolo těchto zrn je magnetická periferní fáze (nebo magnetické periferní fáze) uložena ve formě slupky.

Jestliže dvě nebo více magnetických fází obsahují rozdílné prvky vzácných zemin a/nebo různé koncentrace kobaltu a zejména kdy alespoň jedna centrální nebo jádrová fáze obsahuje vyšší koncentraci kobaltu, potom se synergicky dosáhne vyšší magnetické nasycení při vyšší koercitivní síle permanentního magnetu. Dobrá magnetická stabilita při vysokých magnetických parametrech se získá v případě, kdy místní koncentrace kobaltu na hranicích zrn, popřípadě v oblasti hranice zrn mezi fázemi s odlišným obsahem kobaltu vykazuje difuzně kineticky vytvořené přechody, to znamená nadúměrný vzestup z nižší hladiny s následným asymptotickým vyrovnaním na vyšší hladinu. Vzdor orientované vrstvě mezi dvěma magnetickými fázemi je pravděpodobně na základě rozdílné výměnné vazby magnetických momentů difuzně-kineticky vytvořeným přechodem koncentrace kobaltu v oblasti hranice zrn vytvořena energetická bariéra působící na doménové stěny.

Jestliže je v rámci výhodné formy vynálezu podíl vzácných zemin v magnetických fázích v podstatě tvořen lehkými vzácnými zeminami (LSE), zejména neodymem, a jestliže podíl vzácných zemin v mezi-fázi nebo ve vazné fázi obsahuje těžké vzácné zeminy (SSE), potom se dosáhne obzvláště vysokých parametrů magnetů.

Jak již bylo shora také uvedeno, je předmětem vynálezu také způsob výroby magneticky vyrovnaného slinovaného permanentního magnetu nebo magnetického materiálu s obsahem vzácných zemin, jehož základní, popřípadě výchozí materiál je vyroben metalurgicky z taveniny.

Výhody dosažené vynálezem spočívají zejména v tom, že se připraví, na prášek rozdrtí a smísí alespoň dva základní, popřípadě výchozí materiály, tvořící magnetické fáze, s rozdílným chemickým složením a proto i s rozdílnými magnetickými vlastnostmi, čímž může být dosaženo interakce uvedených základních materiálů, která příznivě ovlivňuje magnetické parametry vyrobených permanentních magnetů. Přitom se některý základní materiál rozemele na prášek s malou velikostí částic, popřípadě na jemný prášek, který potom při slinování surového výlisku, slisovaného při vyrovnaní v magnetickém poli, dříve měkne, popřípadě stává se plastickým, čímž se dosáhne dobrého kontaktu s částicemi, popřípadě zrna hrubého prášku. To je důležité pro dosažení účinného difuzního zpracování, popřípadě žihání, při kterém je takto příznivě ovlivněno vytvoření fázového rozhraní.

Obzvláště s ohledem na oxidaci, ke které dochází při mletí, se ukázalo výhodným zvolit vyšší koncentraci vzácných zemin v základních materiálech, než jaká by odpovídala magnetické fázi typu $\text{SE}_2(\text{FeCo})_{14}\text{B}$, přičemž bylo zjištěno, že obzvláště vhodná jsou složení $\text{SE}_{16}(\text{Fe,Co})_{77}\text{B}_7$, $\text{SE}_{15}(\text{Fe,Co})_{77}\text{B}_8$ a $\text{SE}_{14}(\text{Fe,Co})_{80}\text{B}_6$. Jestliže je alespoň jeden základní materiál legován kobaltem a podíl železa v magnetické fázi je až do 40 % nahrazen kobaltem,

potom se dosáhne obzvláště dobré tepelné stability a vysoké Curieovy teploty vyrobených permanentních magnetů.

Jestliže je v rámci dalšího výhodného provedení obsah vzácných zemin v podstatě tvořen lehkými vzácnými zeminami, potom se dosáhne zvýšené remanence a zvýšeného energetického součinu vyrobených permanentních magnetů. Za účelem dosažení obzvláště dobrých magnetických parametrů se ukázalo příznivým rozemlít jeden nebo více základních materiálů na hrubý prášek s průměrem zrna 10 až 100 μm , výhodně 10 až 60 μm a zejména 15 až 30 μm , a alespoň jeden další základní materiál rozemlít na jemný prášek s průměrem částic 0,5 až 8 μm a zejména 3 až 8 μm , přičemž magnetické parametry vyrobeného permanentního magnetu nebo magnetického materiálu ještě dále zlepšují rozdílné obsahy kobaltu v hrubém a jemném prášku.

Jestliže se v rámci dalšího výhodného provedení vynálezu přidají k uvedeným práškům jako přísady sloučeniny těžkých vzácných zemin, například Dy_2O_3 a/nebo boridy, například Fe_2B , a/nebo kovy, například hliník, a/nebo oxidy, například Al_2O_3 , a/nebo oxidy vzácných zemin, a zejména v případě, kdy jsou prášky těmito látkami mechanicky legovány, potom se dosáhne dalšího snížení tvorby doménových stěn a posunu doménových stěn, jakož i vyšší koercitivní síly.

Obzvláště důležitým znakem vynálezu je difuzní zpracování slinovaného magnetu nebo magnetického materiálu, které se výhodně provádí při teplotě, která je nižší než slinovací teplota a výhodně oscilačním žihacím postupem, protože přitom dochází k zaformování zrn, popřípadě vyhlazení povrchu zrn hrubého prášku a k mikrostrukturně orientovanému v podstatě slupkovitému uložení fáze tvořené jemným práškem na uvedené vyhlazené povrchy hrubého prášku, což přináší podstatné zlepšení magnetických parametrů vyrobených permanentních magnetů.

V praxi může být výhodné, a to i s ohledem na konkrétní požadované hodnoty jednotlivých magnetických vlastností, směšovat jednotlivé prášky s odlišným složením, zejména s odlišnými obsahy kobaltu, v určitých vzájemných poměrech podle požadovaných vlastností vyráběných permanentních magnetů. Tímto způsobem lze jednoduchým způsobem a obzvláště hospodárně vyrobit permanentní magnety s magnetickými vlastnostmi, které jsou takto specificky vytvořené pro požadované použití magnetů.

Přehled obrázků na výkrese

V následující části popisu bude vynález blíže objasněn pomocí připojeného výkresu, kde na obr. 1 a obr. 2 jsou proudová schémata dvou specifických příkladných provedení způsobu výroby permanentních magnetů podle vynálezu.

Při způsobu zobrazeném na obr. 1 se výchozí materiál 1 rozele v mlecím stupni 3 na velikost částic 10 až 100 μm . Druhý výchozí materiál 2 se v mlecím stupni 4 rozele na velikost částic 0,5 až 8 μm . Ve směšovacím a homogenizačním stupni 5 se ke směsi rozemletých prášků přidají přísady mezifáze 6. Získaná směs se ve vyrovnávacím stupni 7 magneticky vyrovná, potom se slisuje

v lisovacím stupni 8 na hrubý výlisek, který se ve slinovacím stupni 9 slinuje na slinuté těleso, které se tepelně zpracuje v tepelně zpracovatelském stupni 10.

Při způsobu zobrazeném na obr. 2 se výchozí materiál 11 rozemele v mlecím stupni 16 na velikost částic 10 až 100 μm . Druhý výchozí materiál 12 se rozemele za přidání přísad 14 v mlecím stupni 13 na velikost částic 0,5 až 8 μm . Takto rozemletý druhý výchozí materiál se mechanicky leguje v legovacím stupni 15 a takto legovaný výchozí materiál se zavede do mlecího stupně 16. Oba výchozí materiály se za přidání přísad mezifáze 18 promísí a homogenizují v homogenizačním stupni 17. Takto získaný homogenizát se potom magneticky vyrovná ve vyrovnávacím stupni 19, slisuje v lisovacím stupni 20, slinuje ve slinovacím stupni 21 a tepelně zpracuje v tepelně zpracovatelském stupni.

Vynález je také dále objasněn pomocí následujících tabulek 1, 2, 3a a 3b, ve kterých jsou uvedeny obsahy legujících přísad a střední hodnoty magnetických měření tělísek permanentních magnetů.

V tabulce 1 jsou uvedena složení základních materiálů vyjádřená stechiometricky.

V tabulce 2 jsou pod označeními V1 až V7 uvedeny magnetické hodnoty a složení srovnávacích (referenčních) permanentních magnetů.

V tabulkách 3a a 3b jsou pod označením 1 až 23 uvedeny magnetické hodnoty a složení permanentních magnetů nebo magnetických materiálů podle vynálezu.

Tabulka 1

Základní materiál	Označení
$\text{Nd}_{16}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{77}\text{B}_7$	A
$\text{Nd}_{15}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{77}\text{B}_8$	B
$\text{Nd}_{14}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{80}\text{B}_6$	C
$(\text{Nd}_{1-y}\text{Dy}_y)_7\text{Fe}_7\text{B}_7$	D
$(\text{Nd}_{1-y}\text{Dy}_y)_{16}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{78}\text{B}_6$	E

Tabulka 2

Č.	Magnetická základní fáze				Magnetické hodnoty			
	Ozn.	x	y	Průměr zrna (μm)	iHc (kA/m)	BH_{max} (kJ/m^3)	Mr (T)	Tc ($^{\circ}\text{C}$)
V1	A	0,3	-	13	235	133	1,10	550
V2	E	0,3	0,3	14	1 020	191	1,03	535
V3	D	-	0,2	10	1 989	215	1,07	315
V4	E	0,1	0,1	15	808	250	1,17	390
V5	B	0,2	-	10	245	165	1,12	435
V6	A	0	-	16	750	285	1,21	305
V7	C	0,2	-	18	210	140	1,15	430

Tabulka 3a

Č.	Centrální fáze					Periferní fáze				Přísady		Magnetické hodnoty			
	Ozn.	x	y	Průměr zrn (μm)	Podíl (%)	Ozn.	x	y	Průměr zrn (μm)	Druh	Podíl (hmot.%)	iHc (kA/m)	BH _{max} (kJ/m ³)	Mr (T)	Tc (°C)
1	A	0,2	-	20	50	A	0	-	4		-	520	265	1,2	423
2	A	0,2	-	25	50	A	0	-	6	Dy ₂ O ₃	1,5	610	250	1,15	420
3	A	0,2	-	30	70	A	0	-	3		-	420	230	1,19	435
4	A	0,2	-	15	70	A	0	-	5	Dy ₂ O ₃	2	650	255	1,14	437
5	B	0,2	-	15	50	A	0	-	8		-	510	268	1,21	425
6	B	0,2	-	25	50	A	0	-	5	Dy ₂ O ₃	2	640	245	1,14	428
7	B	0,2	-	15	50	D	-	0,1	7		-	815	262	1,18	422
8	B	0,2	-	15	50	D	-	0,1	3	Dy ₂ O ₃	2	1 015	255	1,15	425
9	B	0,2	-	25	70	D	-	0,2	3	Dy ₂ O ₃	2	1 130	240	1,16	440
10	C	0,1	-	24	50	D	-	0,2	5		-	1 620	235	1,12	380
11	C	0,1	-	23	50	D	-	0,2	6	Dy ₂ O ₃	2	2 115	205	1,05	382
12	C	0,1	-	28	70	D	-	0,2	8		-	1 430	245	1,14	410
13	C	0,1	-	20	70	D	-	0,2	4	Dy ₂ O ₃	2	1 805	220	1,08	415
14	E	0,2	0,1	18	50	D	-	0,2	3		-	1 130	248	1,15	430
15	E	0,2	0,1	20	50	D	-	0,2	3	Dy ₂ O ₃	2	1 535	241	1,13	432
16	E	0,2	0,1	22	50	D	-	0,2	5	Al	1	1 320	242	1,14	435
17	E	0,3	0,1	18	50	D	-	0,2	7	Al	1	1 210	256	1,15	455
18	A	0,2		25	25	D	-	0,15	6	Dy ₂ O ₃	2	1 590	243	1,14	430
	D		0,1	26	25					Al					

Tabulka 3b

Č.	Centrální fáze					Periferní fáze				Přísady		Magnetické hodnoty			
	Ozn.	x	y	Průměr zrn (μm)	Podíl (%)	Ozn.	x	y	Průměr zrn (μm)	Druh	Podíl (hmot.%)	iHc (kA/m)	BH _{max} (kJ/m ³)	Mr (T)	Tc (°C)
19	E	0,3	0,1	22	70	D	-	0,2	4	Al	1	1 060	263	1,18	488
20	D	-	0	20	50	A	0	-	6	Dy ₂ O ₃	2	1 150	240	1,14	310
21	A	0,1	-	15	30	B	0	-	3	Dy ₂ O ₃	1,5	1 420	235	1,13	460
	E	0,3	0,1	30	15	D	-	0,15	5	AL	1				
22	A	0	-	28	35	E	0,1	0,2	6			550	260	1,20	400
	A	0,3	-	22	15	E	0,2	0,3	4						
23	B	0	-	25	60					E	0,2	0,3	4	Dy ₂ O ₃	1,5
	-				-	D	-	0,1							

Jak vyplývá ze středních hodnot shora uvedených měření, dosahuje se u permanentních magnetů podle vynálezu strukturou s více magnetickými fázemi s rozličným složením a s difuzně zaformovanými zrny vysokých magnetických parametrů při zvýšené Curieově teplotě. Vzájemná interakce mikrostrukturně orientovaných, na sobě uložených nebo k sobě přiřazených magnetických fází přitom vede synergeticky ke zlepšeným magnetickým vlastnostem ve srovnání s obvyklými dosud známými permanentními magnety s obsahem vzácných zemin.

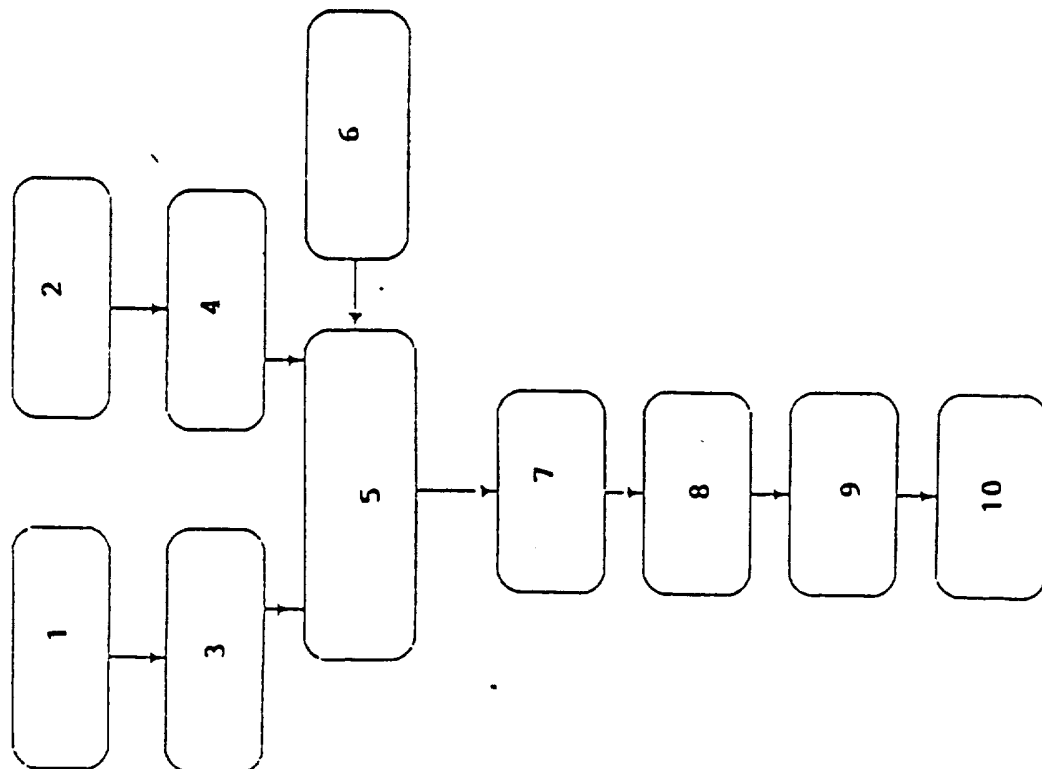
P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Slinovaný permanentní magnetický materiál, zejména ve formě slinovaného permanentního magnetu, obsahující 8 až 30 atomových procent vzácných zemin, 2 až 28 atomových procent boru, přičemž zbytek je tvořen železem nebo železem a kobaltem, v y z n a č e n ý t í m, že jeho tvrdý magnetický podíl $SE_2Fe_{14}B$, ve kterém může být až 40 % atomů železa nahrazeno atomy kobaltu, činí alespoň 65 objemových procent a tento tvrdý magnetický podíl je tvořen alespoň dvěma magnetickými fázemi, přičemž alespoň jedna magnetická fáze je jako centrální fáze tvořena povrchově vyhlazenými nebo difuzně zaformovanými zrny se sníženou povrchovou energií, na kterých je jako periferní fáze uložena alespoň jedna další magnetická fáze, přičemž paramagnetická mezifáze nebo paramagnetické mezifáze, nacházející se mezi tvrdými magnetickými fázemi, má, respektive mají ve srovnání s magnetickými fázemi vyšší koncentraci vzácných zemin.
2. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle nároku 1, v y z n a č e n ý t í m, že obsahuje mezi alespoň jednou magnetickou fází a paramagnetickou fází nebo paramagnetickými fázemi vměstky nebo/a přísady sloučenin těžkých vzácných zemin a popřípadě kovy, boridy, například borid železa nebo borid hliníku, a oxidy, například oxidy lehkých kovů, jako například oxid hlinitý nebo oxidy vzácných zemin.
3. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle nároků 1 nebo 2, v y z n a č e n ý t í m, že difuzně zaformovaná zrna centrální magnetické fáze nebo centrálních magnetických fází mají průměr 10 až 100 μm , výhodně 10 až 60 μm , zejména 15 až 30 μm .
4. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle nároků 1 až 3, v y z n a č e n ý t í m, že magnetická periferní fáze nebo magnetické periferní fáze je, respektive jsou na difuzně zaformovaných hranicích zrn magnetické centrální fáze nebo magnetických centrálních fází uloženy ve formě slupek.
5. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle jednoho z nároků 1 až 4, v y z n a č e n ý t í m, že centrální magnetická fáze nebo centrální magnetické fáze nebo/a periferní magnetická fáze nebo periferní magnetické fáze obsahují odlišné prvky vzácných zemin nebo/a mají odlišné koncentrace kobaltu.
6. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle jednoho z nároků 1 až 5, v y z n a č e n ý t í m, že alespoň jedna centrální magnetická fáze má vyšší koncentraci kobaltu než magnetická periferní fáze nebo magnetické periferní fáze, která, respektive které jsou výhodně chudé na kobalt, popřípadě prosté kobaltu.

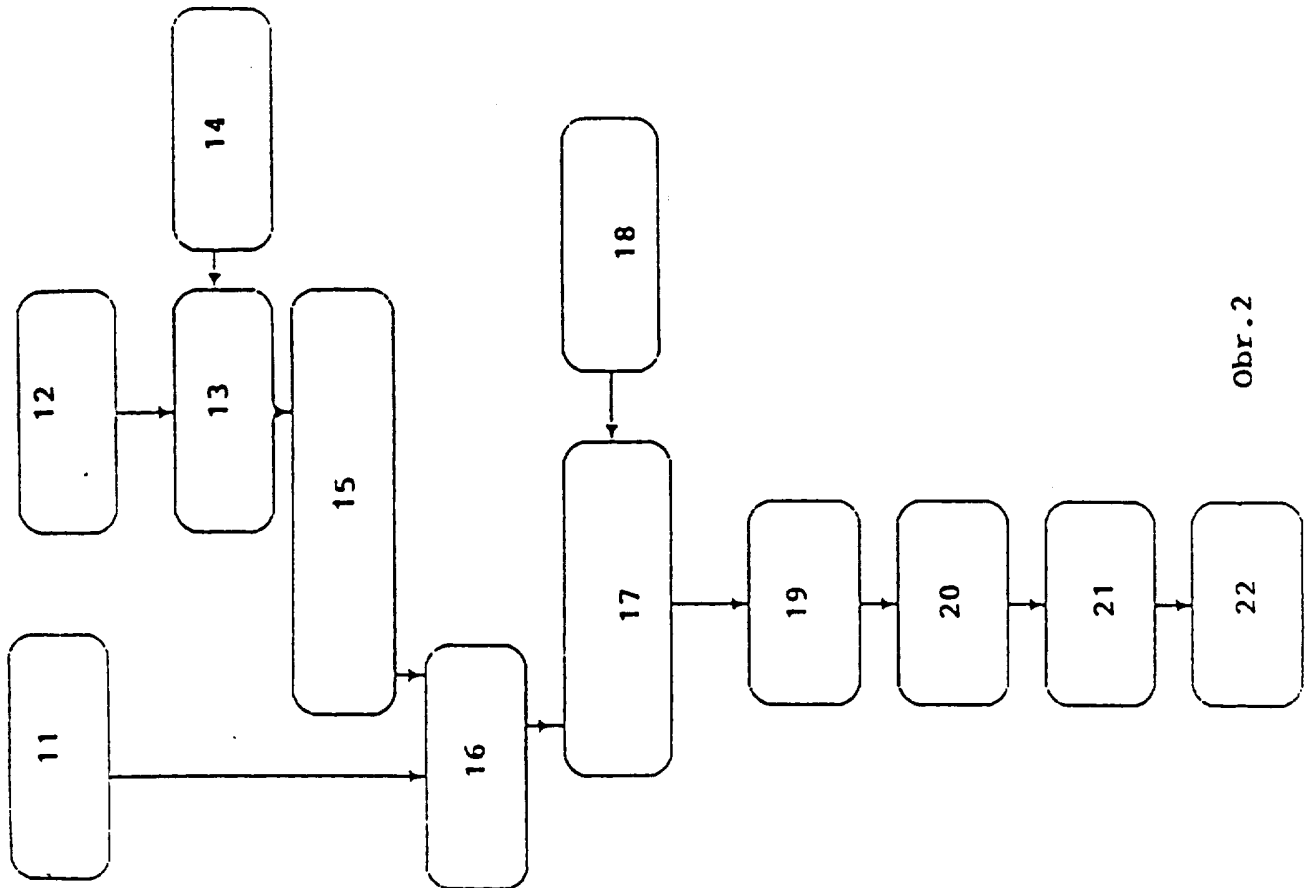
7. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle jednoho z nároků 1 až 6, **v y z n a č e n ý t í m**, že místní koncentrace kobaltu na hranicích zrn nebo v hraniční oblasti zrn mezi fázemi s odlišným obsahem kobaltu vykazují difuzně-kineticky vytvořené přechody.
8. Slinovaný permanentní magnetický materiál podle jednoho z nároků 1 až 7, **v y z n a č e n ý t í m**, že podíl vzácných zemin v magnetických fázích je tvořen lehkými vzácnými zeminami, zejména neodymem, přičemž podíl vzácných zemin v mezifázi nebo v mezifázích, které mohou obsahovat přísady boridů nebo/a oxidů nebo/a kovů, je tvořen těžkými vzácnými zeminami, zejména dysprosiem.
9. Způsob výroby vyrovnaného slinovaného permanentního magnetu podle nároků 1 až 8, jehož základní materiál je vyroben metalurgicky z taveniny, **v y z n a č e n ý t í m**, že se alespoň dva základní materiály, tvořící v magnetu magnetickou fázi, s odlišnými chemickými složeními roztaví a ponechají ztuhnout a takto získané základní materiály se rozdrtí na prášek, přičemž se alespoň jeden základní materiál rozdrtí na prášek s menším průměrem zrna, potom se přidají přísady a prášky základních materiálů se smísí a získaná směs se za vyrovnaní v magnetickém poli slisuje na výlisek a tento výlisek se slinuje, potom se slinuté těleso podrobí difuznímu žíhání a popřípadě alespoň jednomu dalšímu tepelnému zpracování.
10. Způsob podle nároku 9, **v y z n a č e n ý t í m**, že se roztaví dva základní materiály s vyšší koncentrací vzácných zemin, než jaká odpovídá magnetické fázi $\text{SE}_2(\text{FeCo})_{14}\text{B}$, přičemž se výhodně tyto materiály vyrobí se složením $\text{SE}_{16}(\text{Fe,Co})_{77}\text{B}_7$, $\text{SE}_{15}(\text{Fe,Co})_{77}\text{B}_8$ nebo $\text{SE}_{14}(\text{Fe,Co})_{80}\text{B}_6$, kde (Fe,Co) znamená podíl železa, který může být popřípadě nahrazen kobaltem.
11. Způsob podle nároků 9 nebo 10, **v y z n a č e n ý t í m**, že alespoň jeden základní materiál je legován kobaltem, přičemž podíl železa je až ze 40 % nahrazen kobaltem.
12. Způsob podle jednoho z nároků 9 až 11, **v y z n a č e n ý t í m**, že podíl vzácných zemin základních materiálů je tvořen lehkými vzácnými zeminami.
13. Způsob podle jednoho z nároků 9 až 12, **v y z n a č e n ý t í m**, že jeden nebo několik základních materiálů je rozemlet, respektive jsou rozemlety na hrubý prášek s průměrem zrna 10 až 100 μm , výhodně 10 až 60 μm , zejména 15 až 30 μm , přičemž alespoň jeden další základní materiál je rozemlet na jemný prášek s průměrem zrna 0,5 až 8 μm , zejména 3 až 8 μm .
14. Způsob podle jednoho z nároků 9 až 13, **v y z n a č e n ý t í m**, že základní materiál nebo alespoň jeden ze základních materiálů, který, respektive které byly rozemlety na hrubý prášek, má, respektive mají ve srovnání se základním materiálem nebo alespoň jedním ze základních materiálů, který, respektive které byly rozemlety na jemný prášek, odlišné vzácné zeminy nebo/a odlišný obsah kobaltu.

15. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 14, v y z n a č e n ý t í m, že se k hrubému nebo/a jemnému prášku základních materiálů, výhodně před mletím nebo smíšením nebo při mletí nebo smíšení přidají přísady, určené k uložení do fázového rozmezí, v pevné nebo/a kapalně formě, například organokovové sloučeniny, a tyto přísady se v práškové směsi homogenně rozdělí.
16. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 15, v y z n a č e n ý t í m, že se k práškovému základnímu materiálu nebo k práškovým základním materiálům jako přísady přidají sloučeniny těžkých vzácných zemin a popřípadě kovy, boridy, například železa nebo/a hliníku, oxidy, například oxid hlinitý nebo oxidy vzácných zemin, a další sloučeniny kovů.
17. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 16, v y z n a č e n ý t í m, že se surový výlisek vylišovaný z homogenní práškové směsi obsahující přísady slinuje a potom difuzně žihá při teplotě, která je nižší než slinovací teplota.
18. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 17, v y z n a č e n ý t í m, že se zrna hrubého prášku nebo hrubých prášků difuzně zaformují, potom se na vyhlazených površích zrn dosáhne mikrostrukturně orientovaného, výhodněji slupkovitého uložení fáze vytvořené z jemného prášku.
19. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 18, v y z n a č e n ý t í m, že se roztaví základní materiály s danými obsahy kobaltu, potom se prášky vyrobené z těchto základních materiálů mísí v daných poměrech v závislosti na požadovaných magnetických parametrech permanentního magnetu.

1 výkres



Obr. 1



Obr. 2

Konec dokumentu