

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/149



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4097
Naslov projekta	Visoko koercitivni Nd-Fe-B plasto vezani magneti za avtomobilsko aplikacijo.
Vodja projekta	4355 Spomenka Kobe
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7560
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1682 KOLEKTOR GROUP Vodenje in upravljanje družb d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.04 Materiali 2.04.02 Kovinski materiali
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V raziskovalnem projektu je bil glavni namen izdelati v laboratoriju ter v nadaljevanju prenesti v proizvodnjo visoko koercitivne magnete Nd-Fe-B v visokotemperaturnem območju, t. j. med 100°C in 150°C. Postopek izboljšave magnetnih lastnosti je temeljil na t. i. difuzijskem procesu, pri čemer pride do difuzije težkih redkih zemelj (Dy, Tb) iz površine trakov dobljenih s postopkom hitrega kaljenja zlitine proti notranjosti trakov. Pri tem se Dy ali Tb vgrajuje v

tetragonalno kristalno strukturo na mesto Nd, in nastane (Nd,Dy)₂Fe₁₄B ali (Nd,Tb)₂Fe₁₄B faza. Z Dy ali Tb bogata faza 2:14:1 ima zaradi višje kristalne anizotropije močnejši odpor proti demagnetizacijskemu polju in s tem posledično višjo koercitivnost. T.i. difuzijski proces smo študirali na osnovi konvencionalno sintranih magnetov, ki imajo velikost zrn 5 µm –10 µm. Difuzijski proces, ki temelji na predhodnem postopku elektroforetske depozicije (EPD) je omogočil doseganje odličnih magnetnih lastnosti; rezultat je bil več kot 30% izboljšanje koercitivnosti, obenem pa smo dosegli manj kot 1% padec remanence, kar je s konvencionalnim sintranjem nemogoče doseči. Obenem smo porabili 10-krat manj dragih težkih redkih zemelj kot jih za doseganje enakih koercitivnosti porabijo pri konvencionalnem postopku. Z uporabo elektroforetske depozicije (EPD) kot potrebnega pogoja za nadaljnjo difuzijo na mejah med zrnji smo nadaljevali na magnetnem vzorcu iz hitro kaljenih trakov z nanokristaliničnimi zrnji Nd₂Fe₁₄B. Kot izhodna struktura so bili uporabljeni prosto nasuti trakovi (prah), na katere smo nanесли vir Dy ali Tb (DyF₃, Dy₂O₃, Tb₃O₄, TbF₃). Težke redke zemlje (Dy, Tb) zaradi njim lastnega visokega polja anizotropije omogočajo doseganje visokih koercitivnosti. Na hitro kaljene trakove Nd-Fe-B smo nanесли vir Dy ali Tb (DyF₃, Dy₂O₃, Tb₃O₄, TbF₃) s postopkom elektroforetske depozicije. V prvem primeru je bil cilj s pomočjo pulznega sintranja doseči 100% gostoto magneta, ki mora imeti po sintranju oz po temperaturni obdelavi izboljšane magnetne lastnosti pri visokih temperaturah. V drugem delu pa je bil nanos vira Dy ali Tb z elektrodepozicijo enega ali drugega elementa iz raztopine. Po nanosu Dy ali Tb na osnovo, ki so bili tokrat trakovi Nd-Fe-B, je bil cilj izvesti uspešen difuzijski proces, katerega posledica bo višja koercitivnost magneta. To smo s sistematičnim setom eksperimentov tudi dosegli.

ANG

Nd-Fe-B permanent magnets play an important role in rapidly-growing renewable energy sector. Unfortunately, their magnetic properties undesirably decrease with increasing operating temperature. To overcome this negative effect heavy-rare-earth elements (HRE), such as dysprosium and terbium, are added in a tetragonal Nd₂Fe₁₄B crystal structure. The addition of HRE results in a significant improvement of the coercivity (H_{ci}) due to the increase of the intrinsic resistance to demagnetization. However, due to the extremely high-prices of the HRE elements, scientists seek for solutions, which will allow the magnets to maintain their properties at low amounts of HRE. We invented a sophisticated method of microstructure modification by so called grain-boundary diffusion process (GBDP) based on electrophoretic deposition followed by additional thermal treatment. GBDP is based on the diffusion of Dy or Tb along grain-boundaries into the outer parts of Nd₂Fe₁₄B grains, thus forming core-shell grains with HRE-rich shell and Nd-Fe-B core. The further goal of our project was to directly correlate the magnetic properties with the microstructure feature properties, such as grain boundaries, triple pockets and core-shell grains by employing advanced characterization of GBDP magnets with the state of the art electron microscopy techniques. The result of the proposed research enabled us to determine the least possible amount of HRE (Dy/Tb) in the Nd-Fe-B magnets, which still provide excellent magnetic properties at operating temperatures. Second part of the project was focused on consolidation of melt-spun ribbons coated by DyF₃. We have developed and patented a method for manufacturing fully dense Nd-Fe-B magnets by the wet coating of Nd-Fe-B melt-spun ribbons with DyF₃ powder followed by spark plasma sintering and subsequent thermal treatment. For producing Nd-Fe-B magnets with no HRE in the grain boundaries we used a Zn₉₃Al₇ alloy and Zn metal. SPS was used as the consolidation method. The amount of low-melting-point alloy or Zn was varied to achieve the highest possible density with the minimal loss of active magnetic material. We achieved 98% density. The Br and BH_{max} increase up to 40 wt. % and then start to decrease. The coercivity was not affected when varying the amount of binder.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V raziskovalnem projektu je bil glavni namen izdelati v laboratoriju ter v nadaljevanju prenesti v proizvodnjo visokokoercitivne magnetne Nd-Fe-B v visokotemperaturnem območju, t. j. med 100°C in 150°C. Postopek izboljšave magnetnih lastnosti je temeljil na t. i. difuzijskem procesu, pri čemer pride do difuzije težkih redkih zemelj (Dy, Tb) iz površine trakov dobljenih s postopkom hitrega kaljenja zlitine proti notranjosti trakov. Pri tem se Dy ali Tb vgrajuje v

tetragonalno kristalno strukturo na mesto Nd, in nastane (Nd,Dy) $_2$ Fe $_{14}$ B ali (Nd,Tb) $_2$ Fe $_{14}$ B faza. Z Dy ali Tb bogata faza 2:14:1 ima zaradi višje kristalne anizotropije močnejši odpor proti demagnetizacijskemu polju in s tem posledično višjo koercitivnost. T.i. difuzijski proces smo študirali na osnovi konvencionalno sintranih magnetov, ki imajo velikost zrn 5 μ m – 10 μ m. Difuzijski proces, ki temelji na predhodnem postopku elektroforetske depozicije (EPD) je omogočil doseganje odličnih magnetnih lastnosti; rezultat je bil več kot 30% izboljšanje koercitivnosti, obenem pa smo dosegli manj kot 1% padec remanence, kar je s konvencionalnim sintranjem nemogoče doseči. Obenem smo porabili 10-krat manj dragih težkih redkih zemelj kot jih za doseganje enakih koercitivnosti porabijo pri konvencionalnem postopku.

Z uporabo elektroforetske depozicije (EPD) kot potrebnega pogoja za nadaljnjo difuzijo po mejah med zrnji smo nadaljevali raziskave na popolnoma drugačnem sistemu, in sicer na magnetnem vzorcu iz hitro kaljenih trakov z nanokristaliničnimi zrnji Nd $_2$ Fe $_{14}$ B. V prvem primeru smo hitro kaljene trakove Nd-Fe-B pred postopkom EPD zgoščevali (stiskali) v porozno cilindrično strukturo, v drugem primeru pa so bili kot izhodna struktura uporabljeni le prosto nasuti trakovi (prah), na katere smo nanесли vir Dy ali Tb (DyF $_3$, Dy $_2$ O $_3$, Tb $_3$ O $_4$, TbF $_3$). Težke redke zemlje (Dy, Tb) zaradi njim lastnega visokega polja anizotropije omogočajo doseganje visokih koercitivnosti. Na hitro kaljene trakove Nd-Fe-B smo nanесли vir Dy ali Tb (DyF $_3$, Dy $_2$ O $_3$, Tb $_3$ O $_4$, TbF $_3$) s postopkom elektroforetske depozicije. V prvem primeru je bil cilj s pomočjo pulznega sintranja doseči 100% gostoto magneta, ki mora imeti po sintranju oz po temperaturni obdelavi izboljšane magnetne lastnosti pri visokih temperaturah. V drugem delu pa je bil nanos vira Dy ali Tb z elektrodepozicijo enega ali drugega elementa iz raztopine. Po nanosu Dy ali Tb na osnovo, ki so bili tokrat trakovi Nd-Fe-B, je bil cilj izvesti uspešen difuzijski proces, katerega posledica bo višja koercitivnost magneta. To naj bi omogočilo uporabo magnetov v elektromotorjih pri povišani temperaturi.

Hitro kaljenje litine kot metode za procesiranje osnovnega materiala za izdelavo plasto magnetov nam omogoča tudi zagotavljanje tehnoloških pogojev za doseganje ultra-fine mikrostrukture. S fino zrnato mikrostrukturno dosegamo višje koercitivnosti in nižji temperaturni koeficient koercitivnosti, kar naj bi omogočilo tudi uporabo pri relativno visokih temperaturah. Obe visoko inovativni ideji skupaj dajeta zelo optimistično napoved za doseganje visoke koercitivne sile plasto-vezanih trajnih magnetov na osnovi Nd-Fe-B (blizu 1600 kA/m pri sobni temperaturi) in razcvet raziskav tudi na tem področju in ne le na področju sintranih magnetov. Osnovni magnetni prahovi proizvedeni z ultra-hitrim kaljenjem litine ter s tem plasto-vezani magneti imajo veliko prednosti pred sintranimi magneti.

Dosedanje magnetne lastnosti dosežene na prahovih (trakcih dobljenih z ultrahitrim taljenjem litine) presegajo želene končne lastnosti (koercitivnosti in energijske produkte plasto vezanih magnetov) do te mere, da tudi redčenje osnovnega magnetnega materiala s primernim vezivom ne bo znižalo vrednosti pod zastavljenim ciljem, ki je blizu 1600 kA/m. Količina dodanega veziva po dosedanjih podatkih in predhodnih izkušnjah pri izdelavi plasto magnetov iz prahu procesiranega po HDDR postopku ne presega 10 volumskih procentov.

Poleg tega pa smo zastavljene cilje nadgradili še z novim postopkom izdelave magnetov t.j. »spark plasma sintering« SPS in dosegli odlične magnetne lastnosti.

Uspešno smo določili parametre za optimalno SPS sintranje hitro kaljenih Nd-Fe-B trakov (prahov) za pripravo permanentnih magnetov. Z dodatkom 2 utežnih % Dy smo koercitivnost zvišali kar za 33 % oziroma na 2,65 T, kar je približno 6 % več od komercialnega MQU-G materiala (2,50 T), ki vsebuje kar 3,7 utežnih % Dy. Ob tem se je remanentna magnetizacija zmanjšala le za 7%.

Nadaljnje raziskave smo posvetili pripravi prahu, ki bi imel zvišano koercitivnost pri manjši vsebnosti dodane težke redke zemlje in bi bil primeren za uporabo v plasto vezanih magnetih. Elektroforetsko nanašanje v kombinaciji s sedimentacijo

Z difuzijskim postopkom smo se želeli približati ideji visokokoercitivnih trakov, ki bi bili primerni za uporabo v plastomagnetih. Pri takšnem postopku je potrebno hitro kaljene trakove MQUF najprej obdati s prahom DyF $_3$ in jih nato pod kontroliranimi pogoji termično obdelati. Pri eksperimentih smo za nanos DyF $_3$ uporabili metodo elektroforetskega nanašanja v kombinaciji s sedimentacijo,

MQUF trakove smo nasuli na bakreno elektrodo in jo potopili na dno elektroforetske celice v kateri je bila etanolna suspenzija z delci DyF $_3$. Velikost DyF $_3$ - delcev se je gibala med 15 in 25 μ m. Koncentracija suspenzije je bila 25 %. Protielektroda (katoda) je prav tako bakrena in je med izvajanjem eksperimenta potopljena v suspenzijo. Elektroforetsko nanašanje je

kratkotrajen postopek in traja le nekaj sekund. V našem primeru je nanašanje trajalo 10 s. Po končanem nanosu smo obe elektrodi dvignili iz suspenzije in MUQF trakove, obdane s prahom DyF3 posušili v toplim zrakom. Šele po sušenju postane nanos DyF3 lepo viden. Končna masa DyF3 je predstavljala 5–7 ut. % MUQF trakov.

Temperaturna obdelava.

Temperaturna obdelava trakov je potekala po različnih segrevalnih režimih v visokem vakuumu, saj so NdFeB trakovi izredno dovzetni za kisik. Niti visok vakuum niti zaščitna atmosfera argona nista preprečila oksidacije pragov zaradi njihove velike površine zato smo v nadaljevanju prahove spravili v vakuumirano stekleno ampulo in dodali še kos čistega titana, ki bi ob morebitni prisotnosti kisika le tega vezal na svojo površino in preprečil oksidacijo NdFeB trakov. Kot slepo vrednost smo z enakim temperaturnim režimom obdelovali MUQF trakove brez DyF3.

Za izvedbo difuzijskega postopka smo uporabili dve različni vrsti temperaturnih režimov, in sicer dvostopenjskega in enostopenjskega. Prvi korak dvostopenjskega temperaturnega režima je segrevanje s hitrostjo 10°C/min. Drugi korak je temperaturna obdelava pri določeni temperaturi, sledi ohlajanje (10°C/min) do četrtega koraka, kjer gre za temperaturno obdelavo pri 600 °C. Zadnji korak je hitro ohlajanje do sobne temperature. Enostopenjski režim je enostavnejši, sestavljen iz treh korakov. Prvi in zadnji korak sta hitro segrevanje in ohlajanje do želene temperature. V vmesnem koraku se vrši temperaturna obdelava na določeni temperaturi. Sistematsko smo določili optimalne čase in temperature pri obeh režimih. Vzorci so bili nato namagneteni s pomočjo magnetnega pulzerja in magnetne meritve izvedene s pomočjo magnetometra z vibrirajočim vzorcem pri 100 °C. Demagnetizacijske krivulje so prikazane na slikah v prilogi. Med vsemi poskusi smo najboljše magnetne rezultate dobili z enostopenjsko temperaturno obdelavo pri 650°C. Optimalen čas temperaturne obdelave je 10 min. Koercitivnost trakov pred obdelavo znaša 1060 kA/m, medtem ko po difuzijskem postopku z DyF3 naraste na 1090 kA/m. Pri optimiziranju količine in velikosti delcev DyF3 se je koercitivnost še nekoliko izboljšala, presenetljivo se je zvišala tudi remanentna magnetizacija. Pri 100 oC smo dosegli 1115 kA/m za koercitivnost in remanentno magnetizacijo 75 emu/g (Slika v prilogi).

Za zaščito prahov Nd-Fe-B smo uporabili enostavno tehniko prekrivanja prahov z monomolekularnim slojem organskega filma (TEOS) in na ta način dosegli zadostno pasivacijo površine, tako da jih je mogoče v proizvodnji uporabljati pri atmosferskih pogojih. Istočasno smo dosegli za 20% večjo tečljivost prahu, kar je prav tako velikega pomena za proizvodnjo. Pasivacija površine prahov je s tem postopkom postala zadostna in je mogoče z neodimom bogato fazo na mejah med zrnji nadomestiti z alternativnimi fazami.

Študirali smo tudi uporabo kovin oz. zlitin z nizkim tališčem, ki bi nadomestile plastiko/smolo pri vezavi visoko koercitivnih magnetnih prahov in s tem omogočile njihovo uporabo pri še višjih temperaturah ter dodatno preprečevale korozijo. Uporabili smo Zn in Zn93Al7 zlitino. Iz kovin oz. zlitin smo pripravili trakce (prahove) z metodo ultra hitrega kaljenja litine in nato obe osnovni komponenti kovinskih prahov mešali v različnih razmerjih obeh sestavin ter določevali optimalno količino dodane kovine oz. zlitine. Tako pripravljene mešanice prahov smo najprej stiskali do zelene gostote in jih zatem zgoščevali s sintranjem v plazmi. Določevali smo optimalno temperaturo in čas sintranja. Dosegli smo 98% gostoto. Pri dodajanju kovinskega veziva remanenca in energijski produkt rasteta do količine veziva 40% nato pa se začneta zniževati. Na koercitivno silo magnetnih prahov dodatek kovinskega veziva ne vpliva.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Program dela v raziskovalnem projektu je bil v celoti realiziran in celo presežen. Rezultate raziskav lahko razdelimo v štiri najpomembnejše tematike:

i) uspešno smo zaključili študijo vpliva dodanega Dy sintranim magnetom z metodo elektrolitskega nanašanje fluoridov težkih redkih zemelj iz suspenzije in kasnejšo termično obdelavo, ki omogoča difuzijo po mejah med zrnji. Za potrditev že prej uveljavljene hipoteze o minimalni porabi težke redke zemlje, če jo dodajamo na način ki omogoči t.i. jedro lupina mikrostrukturo smo eksperimente ponovili na komercialnih vzorcih. Koercitivna sila komercialnega Nd-Fe-B magneta se je iz začetnih 1000 kA/m pri vzorcu brez dodane težke redke zemlje v primeru dodanega TbF3 zvišala na 2000 kA/m. Količina porabljene težke redke zemlje je bila 10 krat manjša kot je to po klasičnem metalurškem postopku, kjer proizvajalci

dodajajo težko redko zemljo v začetno zlitino.

ii) uspešno smo tudi zaključili študijo izboljšave koercitivnosti prahov (trakci taljene litine) Nd-Fe-B z dodajanjem različnih količin DyF₃;

iii) s kasnejšim sintranjem tako oblečenih prahov v plazmi (1 min na 700 st. C) in termično obdelavo smo dosegli odlične rezultate. 25 % izboljšanje koercitivne sile smo dosegli z dodatkom 2,2 ut. % Dy in termično obdelavo na 600 st. C/ 10 ur. Dosežena je bila koercitivnost 2000 kA/m. Postopek smo patentirali.

iv) eden od zastavljenih ciljev projekta je bil, da se v celoti izognemo uporabi težke redke zemlje, ki v fazi na mejah med zrni omogoča doseganje visokih koercitivnosti tako, da jo zamenjamo s kovinami oz. zlitinami z nizko temperaturo tališča.

Na osnovi sistematične študije in dobljenih rezultatov smo se na koncu študije odločili za Zn in Zn₉₃Al₇ zlitino. Iz kovin oz. zlitin smo pripravili trakce (prahove) z metodo ultra hitrega kaljenja litine in nato obe osnovni komponenti kovinskih prahov mešali v različnih razmerjih obeh sestavin ter določevali optimalno količino dodane kovine oz. zlitine. Pri dodajanju kovinskega veziva remanenca in energijski produkt rasteta do količine veziva 40% nato pa se začeta zniževati. Na koercitivno silo magnetnih prahov dodatek kovinskega veziva ne vpliva.

v) za zaščito na kisik in vlago občutljivih prahov Nd-Fe-B smo uporabili enostavno tehniko prekrivanja prahov z monomolekularnim slojem organskega filma (TEOS) in na ta način dosegli zadostno pasivacijo površine, tako da jih je mogoče v proizvodnji uporabljati pri atmosferskih pogojih. Istočasno smo dosegli za 20% večjo tečljivost prahu, kar je prav tako velikega pomena za proizvodnjo.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Ni bilo sprememb.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	25708071	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Difuzija po mejah med zrni sintranih Nd-Fe-B magnetov na osnovi elektroforetske depozicije	
	ANG	The grain-boundary diffusion process in Nd-Fe-B sintered magnets based on the electrophoretic deposition of DyF ₃	
	Opis	Eden najpomembnejših dosežkov v zadnjem letu je študija t. i. difuzijskega procesa na magnetih Nd-Fe-B. Gre za proces po sintranju, pri katerem pride pri povišanih temperaturah do zamenjave atomov Nd z Dy v tetragonalni kristalni strukturi 2:14:1. Do substitucije pride v zunanjem sloju zrn, kar privede do mikrostrukture tipa »jedro-ovoj«. Jedro predstavlja faza Nd₂Fe₁₄B, ovoj pa visokokoercitivna faza, bogata z Dy – (NdDy)₂Fe₁₄B. Da lahko izvajamo t. i. difuzijski proces, je potrebno na magnetne nanesti plast bogato z Dy. V našem primeru smo uporabljali prah DyF₃, ki smo ga na površino konvencionalno sintranega magneta Nd-Fe-B nanesli z elektroforetskim nanašanjem. Magneti Nd-Fe-B z nanosom prahu DyF₃ so bili temperaturno obdelani. Izračun koncentracije Dy v magnetih po t. i. difuzijskem postopku je pokazal, da je v magnetu cca 0.6 wt. % Dy in da so magnetne lastnosti primerljive oz. boljše kot v primeru magnetov proizvedenih po postopku prašne metalurgije, ki so vsebovali 6-10 wt. % Dy. Zaradi tega dejstva je t. i. difuzijski postopek, ki temelji na elektroforetskem nanašanju, izredno uporaben postopek, ki vodi do velike izboljšave koercitivnosti (do 30 %) ob minimalni izgubi remanentne magnetizacije.	
		In the study, the so-called grain-boundary diffusion process (GBDP) was introduced. This is a post-sintering process, where the diffusion of Dy or Tb along grain-boundaries and into the outer parts of Nd ₂ Fe ₁₄ B grains occurs and this contributes to a higher local constant of crystalline anisotropy and	

		ANG	consequently higher coercivity. The result is a "core-shell" microstructure where the core is represented by the Dy-free Nd ₂ Fe ₁₄ B phase and the shell is rich on Dy (NdDyFe ₁₄ B). When rough calculations were made, to figure out how high is the Dy-concentration after GBDP, it was determined that in a whole magnet there is 0,6 wt. % of Dy and magnetic properties are even better or as good as in the case of magnet produced by the conventional powder metallurgy route that contain 6-10 wt. % of Dy. For this reason, GBDP based on EPD is an extremely attractive process, which leads to a large coercivity-improvement (up to 30 %) with a small drop in remanence. The highest coercivities achieved so far were 20 KOe.
	Objavljeno v		Elsevier Applied Science; Intermetallics; 2012; Vol. 23; str. 158-162; Impact Factor: 1.857; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.8; A': 1; WoS: EI, PM, PZ; Avtorji / Authors: Soderžnik Marko, Žužek Rožman Kristina, Kobe Spomenka, McGuinness Paul J.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	25799207	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mikrostrukturalna karakterizacija s terbijem dopiranih Nd-Fe-B sintranih magnetov
		ANG	Microstructural and compositional characterization of terbium-doped Nd-Fe-B sintered magnets
	Opis	SLO	Implementirali smo izpopolnjene metode visokoločljivostne vrstične elektronske mikroskopije (FEGSEM) ter kvalitativne in kvantitativne elektronske mikroanalize (EDS, WDS) za preiskave materialov na submikrometrski oziroma nanometrski skali in metode uporabili pri analizi modificiranih permanentnih sintranih magnetih na osnovi Nd(Tb)FeB.
		ANG	We have successfully implemented the advanced, improved methods of high-resolution scanning electron microscopy (FEGSEM) and energy-dispersive and wavelength-dispersive X-ray spectroscopies (EDS, WDS) for the materials characterization on submicrometer and nanometer-scale and used them in characterization of Tb-doped NdFeB sintered permanent magnets.
	Objavljeno v		Elsevier; Materials characterization; 2012; Vol. 67, no. 1; str. 27-33; Impact Factor: 1.880; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.757; A'': 1; A': 1; WoS: QF; Avtorji / Authors: Samardžija Zoran, McGuinness Paul J., Soderžnik Marko, Kobe Spomenka, Sagawa Masato
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	27437351	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	MCGUINNESS, Paul J., SODERŽNIK, Marko, ŽAGAR, Kristina, KOCJAN, Andraž, KOBE, Spomenka. Metoda za izdelavo popolnoma gostih magnetov Nd-Fe-B s povečano koercitivnostjo in gradientno mikrostrukturo. Munich: European Patent Office, 20. dec. 2013.
		ANG	MCGUINNESS, Paul J., SODERŽNIK, Marko, ŽAGAR, Kristina, KOCJAN, Andraž, KOBE, Spomenka. Method of manufacturing fully dense Nd-fe-B magnets with enhanced coercivity and gradient microstructure. Munich: European Patent Office, 20. dec. 2013.
	Opis	SLO	Razvili smo visoko-koercitivne trajne magnete na osnovi Nd-Fe-B, in sicer s prekrivanjem komercialno dostopnih rotacijsko kaljenih MQU-F trakov z optimizirano sestavo z DyF ₃ v izopropanolu, ki so bili nato sintrani s pulzirajočim tokom ter toplotno obdelani. Najvišje povečanje H _{ci} smo dobili ob dodatku 2,2 ut. % Dy, t.j. od 1580 na 2025 kA/m, kar pomeni 25 % izboljšanje. Ob dodatku več kot 3 ut. % Dy je izboljšanje koercitivnosti začelo upadati, medtem ko je bila koercitivnost sintranega magneta z 4,8 ut. % Dy nižja od tistega brez dispropozija in se je s časom toplotne obdelave

		še zniževala.
	ANG	Highly coercive permanent Nd-Fe-B-based magnets were successfully developed from commercially available MQU-F rapidly quenched ribbons with optimized composition by wet coating with DyF ₃ in isopropanol and subsequent spark plasma sintering and heat-treatment. Highest H _{ci} enhancement was obtained at 2.2 wt.% Dy-fraction, i.e. from 1580 to 2025 kA/m, which is 25 % improvement. When more than 3 wt.% of Dy was added, the coercivity enhancement started to decrease, whereas at 4.8 wt.% the coercivity of as-sintered magnet was lower than it was for non-coated one and it was further decreasing with annealing time.
	Objavljeno v	prijavljen evropski patent
	Tipologija	2.24 Patent
4.	COBISS ID	26335271 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO KOBE, Spomenka. Nadomestilo redkih zemelj in originalne inženirske rešive - ROMEO, an European concerted effort : presented at International Conference and Exhibition on CESA Congress, Automotive Electronics, 5 December 2012, Paris, France. 2012.
	ANG	KOBE, Spomenka. Replacement and origin magnet engineering options - ROMEO, an European concerted effort : presented at International Conference and Exhibition on CESA Congress, Automotive Electronics, 5 December 2012, Paris, France. 2012.
	Opis	SLO Kot koordinatorka projekta ROMEO sem na povabilo organizatorjev predstavila cilje in smernice projekta ter sodelovala na okrogli mizi posvečeni materialom, ki se uporabljajo v avtomobilski industriji.
	ANG	As the coordinator of European project ROMEO, I was invited to present the goals of the project and directions in European efforts to round off the Chinese restrictions in rare earth metals. I have also contributed to the round table discussion on materials used in automotive industry.
	Objavljeno v	zbornik
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
5.	COBISS ID	268167424 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO SODERŽNIK, Marko. Razvoj optimalne mikrostrukture tipa "jedro-ovoj" za visoko koercitivne magnete Nd-Fe-B z minimalno vsebnostjo težkih redkih zemelj : doktorska disertacija = Ljubljana: [M. Soderžnik], 2013. XII, 110 str., ilustr
	ANG	SODERŽNIK, Marko. The development of an optimum core-shell microstructure for high-coercivity Nd-Fe-B magnets with minimum heavy-rare-earth content : doctoral dissertation = Ljubljana: [M. Soderžnik], 2013. XII, 110 str., ilustr
	Opis	SLO Tema doktorske disertacije je študij postopkov priprave Nd-fe-B magnetov z minimalno vsebnostjo dodane težke redke zemlje. Rezultati so pokazali, da je s postopkom elektroforetske depozicije in posebne termične obdelave mogoče pripraviti magnete z enakimi lastnostmi in desetkrat manjšo količino dodane težke redke zemlje kot je to pri standardnem metalurškem postopku. Ti magneti so primerni za uporabo pri višjih temperaturah in kot taki za uporabo v vetrnih elektrarnah in električnih ter hibridnih vozilih.
	ANG	The subject of PhD Thesis was the study of processing parameters to produce Nd-Fe-B magnets with a drastic reduction of heavy rare earth. We successfully prepared the magnets by using electrophoretic deposition followed by sophisticated thermal treatment and achieved the excellent properties with ten times smaller amount of heavy earth added as it is the case in standard metallurgical process. Those magnets can be used at

		higher temperatures for the application in wind turbines and electric and hybrid vehicles.
Objavljeno v	Doktorska disertacija	
Tipologija	2.20 Zaključena znanstvena zbirka podatkov ali korpus	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	25564967	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zamenjava redkih zemelj in originalne inženirske rešitve
		ANG	Replacement and original magnet engineering options
	Opis	SLO	Kot ekspert evropske komisije sem bila povabljen, da na trilateralnem sestanku med EU, Japonsko in ZDA predstavim raziskovalne smernice evropskih strokovnjakov na področju reševanja tako imenovane krize redkih zemelj.
		ANG	As the expert of European Commission I was invited to present the directions in European reach to deal with so called »rare earth crisis« at the trilateral meeting of EU, Japan and US in Boston, USA.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	s. n.]; Japan-EU workshop "Substitution of Britical Ray Materials"; 2011; 1 str.; Avtorji / Authors: Kobe Spomenka	
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)	
2.	COBISS ID	27122215	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zamenjava redkih zemelj in originalne inženirske rešitve
		ANG	Replacement and original magnet engineering options
	Opis	SLO	KOBE, Spomenka. Replacement and original magnet engineering options : presented at 3rd Trilateral EU-US-Japan Conference on Critical Materials: towards New Models in Efficient Management of Critical Materials 29-30 May 2013, Brussels. 2013.
		ANG	KOBE, Spomenka. Replacement and original magnet engineering options : presented at 3rd Trilateral EU-US-Japan Conference on Critical Materials: towards New Models in Efficient Management of Critical Materials 29-30 May 2013, Brussels. 2013.
	Šifra	D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov	
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Kobe Spomenka	
	Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa	
3.	COBISS ID	28182823	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zlitine z nizko temperaturo tališča za vezane Nd-Fe-B magnete
		ANG	Low melting point alloys for bonded Nd-Fe-B magnets
	Opis	SLO	Za izdelavo Nd-Fe-B magnetov brez vsebnosti redke zemlje na mejah med zrni smo uporabili Zn in zlitino Zn97Al7. Za zgoščevanje smo uporabili sintranje v plazmi. Spreminjali smo vsebnost kovine oz. zlitine z nizkim tališčem in dosegli optimalne vrednosti remanentne magnetizacije in energijskega produkta z dodatkom 40% vezivne faze. Količina te faze ni vplivala na vrednosti koercitivne sile.
			For producing Nd-Fe-B magnets with no HRE in the grain boundaries we

	ANG	used a Zn93Al7 alloy and Zn metal. SPS was used as the consolidation method. The amount of low-melting-point alloy or Zn was varied to achieve the highest possible density with the minimal loss of active magnetic material. We achieved 98% density. The Br and BHmax increase up to 40 wt. % and then start to decrease. The coercivity was not affected when varying the amount of binder.
Šifra	D.06	Zaključno poročilo o tujem/mednarodnem projektu
Objavljeno v	2014; Avtorji / Authors: Kelhar Luka, Kobe Spomenka, McGuinness Paul J.	
Tipologija	2.13	Elaborat, predštudija, študija

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Od pomembnih rezultatov projektne skupine, relevantnih na projektu plastomagnetnih kompozitov, lahko na strani industrijskega partnerja izpostavimo razvoj dveh aplikacij. Glavni razvojni dosežek industrijskega partnerja iz projektne skupine je razvoj integriranega magnetnega kompozita, ki ga prikazuje slika 1 (dodana kot priponka): Integrirana rotor in senzor za motorsko aplikacijo

Levi del je sestavljen iz plastomagnetnega kompozita na osnovi duroplasta in v motorju služi kot delovni rotor, desni del pa je iz plastomagnetnega kompozita na osnovi termoplasta in služi kot dajalnik signala senzorju za hitrost vrtenja in pozicijo komutacije. Razvojni dosežek predstavljene aplikacije je v dveh dejstvih:

- Sestavitev treh komponent (gredi, rotorja in dajalnika signala) v enem procesnem koraku.
- Integracija dveh plastomagnetnih kompozitov, z različnim mehanizmom polimerizacije/ utrjevanja.

Drugi relevanten dosežek, je razvoj tehnologije brizganja multipolnih rotorjev, kjer amplitudo in geometrijo magnetnega polja definiramo v enem procesnem koraku, v orodju.

Princip je prikazan na slikah 2 in 3 (Slike dodani kot priponki). Slika 2 prikazuje simulacijo orodja, ki služi za oblikovanje magnetnega materiala z določeno jakostjo in geometrijo magnetnega polja (v tem primeru 8 polni rotor).

Na podlagi izračunanih parametrov orodja, se s simulacijo izdelka to je brizganega plastomagnetnega rotorja (slika 3) določi magnetne karakteristike, ki jih bo pri izbranem plastomagnetnem kompozitu ter procesnih parametrih, realni izdelek dosegel.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Magnetni materiali na osnovi zlitin redkih zemelj in elementov prehoda kot najmočnejši znani magneti predstavljajo velik izziv predvsem zaradi potencialne uporabe v hibridnih električnih vozilih, električnih vozilih in vetrnih turbinah kar je izrednega ekološkega pomena (čisto okolje, prihranek energije).

Projekt je bil usmerjen k izjemnim izzivom na področju materialov in tehnologij s ciljem pridobiti nova znanja za razvoj boljših trajno magnetih materialov od obstoječih z zvišanjem koercitivne sile ne da bi se pri tem zmanjšala remanenca ter s tem zvišanjem energijskega produkta sintranih in plastovezanih Nd-Fe-B magnetov. Končni cilj projekta je bil ne le optimizirati obstoječe tehnologije vendar predvsem preseči meje do sedaj znanega in z izhodiščem v znanem procesnem sistemu sintranih magnetov odkrivati nove možnosti za doseganje vrhunskih lastnosti tudi plastovezanih magnetov z inovativnostjo podprto s teoretičnimi raziskavami. Osnova za to aplikativno usmerjeno osnovno raziskavo je bila kombinacija dosežene nanostrukturne matrice z vodenim uvajanjem težkih redkih zemelj na meje med zrni in ne v sama zrna.

V smislu premika mej ima ta projekt tudi zelo visok znanstveni pomen. Raziskave na področju plastovezanih trajnih magnetov na osnovi redkih zemelj in elementov prehoda so obtičale. Izjemen prodor so v zadnjih letih dosegle le raziskave na Japonskem vendar na področju sintranih magnetov. Inovativne ideje predlaganega projekta, so omogočile zelo močno

izboljšane lastnosti tako na področju sintranih magnetov kot tudi plastovezanih in so rezultirale v izjemnem globalnem znanstvenem prodoru.

Tematika naše raziskave je bila v tesni povezavi s tematiko mednarodnega projekta, katerega končni cilj je bila izdelava trajnih magnetov na osnovi redkih zemelj za uporabo v vetrnih elektrarnah in električnih ter hibridnih vozilih. Zaradi izjemnih razmer na trgu težkih redkih zemelj (Dy, Tb), ki so nujno potrebne za doseganje vrhunskih magnetnih lastnosti pri temperaturah med 100 in 200°C, je bil eden od ciljev raziskave zmanjšati oziroma se v celoti izogniti uporabi tega strateškega materiala ob tem pa doseči enake vrhunske lastnosti. Skupina na IJS je dosegla zmanjšanje količine potrebnega Dy oz. Tb za desetkratno vrednost. To smo dosegli s pomočjo elektroforetske depozicije. Za popolno nadomestitev težkih redkih zemelj na mejah med zrnji pa smo raziskali možnost uporabe zlitin z nizkim tališčem, kot n. pr. Al-Cu, Al-Cu-Zn, Al-Cu-Si, ki bi na mejah med zrnji nadomestile sedanjo fazo bogato z TRZ. Bistvo vsebnosti težke redke zemlje na mejah med zrnji je ta, da z reakcijo z zrnji, kjer pride do izmenjave Nd z Dy dosežemo zelo tanko plast na površini zrn (jedro-lupina), ki lokalno zvišuje polje anizotropije ne vpliva pa na notranjost zrn in zato ne pride do izmenjalne sklopitve, ki sicer zmanjšuje remanentno magnetizacijo. Pomanjkljivost dodajanja TRZ v osnovno magnetno spojine je namreč v tem, da pride do antiferomagnetne sklopitve Dy oz. Tb z Fe v rešetki RE₂Fe₁₄B kar vodi k opaznemu znižanju nasičene magnetizacije in s tem remanence. Ta pa je prav tako bistvenega pomena za visokoenergijske magnetne. Vse cilje raziskave smo v celoti izpolnili, postopek patentirali, objavili članke v mednarodnih revijah z IF nad povprečjem področja, imeli vabljen predavanja na mednarodnih konferencah. Dve publikaciji sta še v tisku.

ANG

Magnetic materials based on intermetallic alloys between rare earth and transition metals, as strongest known permanent magnets up to now, represent a great challenge mainly because their application in hybrid electric vehicles, electric vehicles and wind turbines, which is of vital ecological importance (clean environment, energy saving)

The project was focused to exceptional challenges in the field of materials and technologies with the final goal to gain new knowledge for development better sintered and bonded permanent Nd-Fe-B magnets with increased coercivity without losing the magnetization.

The final goal of the project was not only to optimize the existing technologies but above all to exceed boundaries of knowledge with the starting-point on existing knowledge in the field of sintered magnets discover new possibilities to achieve topmost properties also in the field of bonded magnets with highly innovative approach. The basis for applied oriented basic research is a combination of nanostructured matrix with directed introduction of heavy rare earth at the grain boundaries and not the grains.

Nd-Fe-B permanent magnets play an important role in rapidly-growing renewable energy sector. Unfortunately, their magnetic properties undesirably decrease with increasing operating temperature. To overcome this negative effect heavy-rare-earth elements (HRE), such as dysprosium and terbium, are added in a tetragonal Nd₂Fe₁₄B crystal structure. The addition of HRE results in a significant improvement of the coercivity (H_{ci}) due to the increase of the intrinsic resistance to demagnetization. However, due to the extremely high-prices of the HRE elements, scientists were seeking for solutions, which would allow the magnets to maintain their properties at low amounts of HRE. We invented a sophisticated method of microstructure modification by so called grain-boundary diffusion process (GBDP) based on electrophoretic deposition followed by additional thermal treatment. GBDP is based on the diffusion of Dy or Tb along grain-boundaries into the outer parts of Nd₂Fe₁₄B grains, thus forming core-shell grains with HRE-rich shell and Nd-Fe-B core. We managed to directly correlate the magnetic properties with the microstructure feature properties, such as grain boundaries, triple pockets and core-shell grains by employing advanced characterization of GBDP magnets with the state of the art electron microscopy techniques. The result of the proposed research enabled us to determine the least possible amount of HRE (Dy/Tb) in the Nd-Fe-B magnets, which still provide excellent magnetic properties at operating temperatures.

Part of the project was focused on consolidation of melt-spun ribbons coated by DyF₃. We have developed and patented a method for manufacturing fully dense Nd-Fe-B magnets by the wet coating of Nd-Fe-B melt-spun ribbons with DyF₃ powder followed by spark plasma sintering and subsequent thermal treatment. The maximum coercivity of 2.5 T, represents a 25% increase over the coercivity of the as-sintered, pure MQU-F sample. By coating of MQU-F powders with RE₂F₃ and subsequent heat treatment we managed to increase the coercivity and remanence of powders used for bonded magnets. The results of the project were patented, published in

journals with IF higher than average, presented as invited talks at international conferences. Two additional publications were submitted.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Močna ekonomija je najboljša promocija katerekoli države in novi sintrani in plastovezani trajni magneti na osnovi redkih zemelj in elementov prehoda z vrhunskimi lastnostmi in nova tehnologija na tem področju bosta zagotovo močno prispevala k prepoznavanju slovenske znanosti in ekonomije. Istočasno pa se bodo odprle nove možnosti za slovensko ekonomsko in izobraževalno področje.

Posredni pomen projekta za družbo je v prihranku energije in čistejšemu okolju, dolgoročno pa bo njegov prispevek v bistveno zvišani kvaliteti okolja in življenja.

Akutno stanje na področju fosilnih goriv pomeni zelo močan izziv pri prehodu na hibridna in električna vozila katerih najpomembnejši del pa so prav magneti na osnovi redkih zemelj in elementov prehoda. Ti magneti so prav tako pomembni tudi za vetrne elektrarne.

Okolju prijazna vozila, ekološko pridobivanje elektrike predstavlja izziv najbližje prihodnosti in Slovenija z vrhunskim raziskovalnim potencialom in zelo močnim industrijskim potencialom prav na tem področju lahko postane eden najpomembnejših evropskih in tudi svetovnih akterjev.

ANG

A strong economy is the best promotion for any country, and the technology of sintered and bonded permanent magnets based on rare earth and transition metals will importantly contribute to a better recognition of Slovenian science and its economy. At the same time it will open up new opportunities for Slovenian economic and educational institutes.

The indirect impact of the project on society is in energy saving and in a major contribution to improved environmental conditions.

Critical future situation in the field of fuel, based on fossil's stock, is pushing the boundaries in the era of hybrid electric vehicles, electric vehicles. The clean energy demands for the solution such as wind turbines. In all this most important future industry permanent magnets are the vital part and this is why the world's research is focused on achieving better and stronger magnets.

Slovenia with its top research potential in the field and worldwide known industry can become one of the most important European and World players.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	Delno ▼
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.04	Dvig tehnološke ravni	

	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen

F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.32	Mednarodni patent	

	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih ▼
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih ▼
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Ni dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	Ni uporabljen ▼
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen ▼
	Uporaba rezultatov	V celoti ▼

Komentar

Pod drugo smatramo popularizacijo doseženih rezultatov tako doma kot tudi navedenem strokovnem področju.

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☒	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☒	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☒	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☒	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☒	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☒	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☒	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☒	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☒	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☒	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☒	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☒	☐	☐	☐	

G.02.11.	Nov investicijski zagon					
G.02.12.	Drugo:					
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti					
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti					
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij					
G.03.04.	Drugo:					
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja					
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja					
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave					
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti					
G.04.05.	Razvoj civilne družbe					
G.04.06.	Drugo:					
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura					
G.07.02.	Prometna infrastruktura					
G.07.03.	Energetska infrastruktura					
G.07.04.	Drugo:					
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv	Kolektor	
	Naslov	Vojkova 10, SI-5280 Idrija	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		9.234.540 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		25 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
		SODERŽNIK, M., et al., Grain boundary diffusion process in Nd-Fe-B magnets by dipping and EPD. V:	

		1.	Energy & materials criticality workshop : August 22-25, 2013, Santorini, Greece, 2013, p. 17	B.04
		2.	Koordiniranje evropskega projekta ROMEO	D.01
		3.	Prijava evropskega patenta	F.32
		4.	Razvoj tehnologije brizganja multipolnih rotorjev	F.09
		5.	Razvoj integriranega magnetnega kompozita	F.06
	Komentar	V prilogi		
	Ocena	Rezultati pšprojekta v poročanem obdobju kažejo primerljive (Br, BHmax) in boljše (jHc) magnetne karakteristike, kot ekvivalentne plasto tehnologije. Sroškovni vidik komercializacije tehnologije SPS bo potrebno še optimizirati.		

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Priloga

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V letu 2012 smo uspešno pridobili evropski projekt v vrednosti 4 mio. EUR, ki ga tudi koordiniramo. Pri projektu »Replacement and Original Magnet Engineering Options« (ROMEO) je bila naša glavna naloga predvsem študij možnosti spremembe sestave faznih mej v visokokoercitivnih trajnih magnetih na osnovi Nd-Fe-B in karakterizacija njihovih fizikalnih lastnosti. Ti magneti se uporabljajo za električna in hibridna vozila ter vetrne elektrarne. Projekt, katerega konzorcij vključuje vse najpomembnejše evropske raziskovalne inštitucije in najpomembnejše proizvajalce magnetov ter njihove končne uporabnike (KOLEKTOR, VACUUMSCHMELZE, SIEMENS, VALEO, DAIMLER), ima dva glavna cilja, tj. (1) drastično zmanjšati ali v celoti eliminirati uporabo težkih redkih zemelj v Nd-Fe-B-magnetih in (2) izumiti popolnoma nove materiale, ki bodo po svojih lastnostih med feritnimi trajnimi magneti in magneti na osnovi redkih zemelj ter elementov prehoda.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Spomenka Kobe

ŽIG

Liubliana

12.3.2015

Kraj in datum:

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/149

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

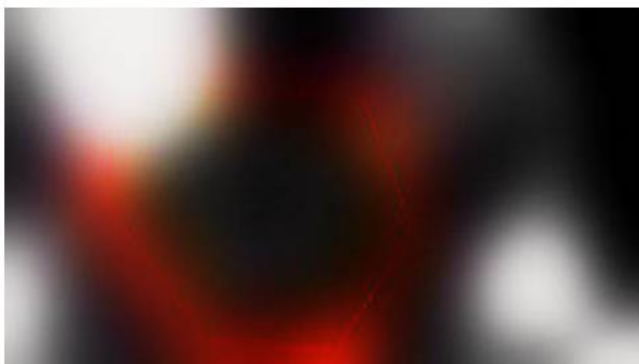
EB-16-E1-BC-9F-1A-50-A6-1D-1B-5B-53-BA-0B-E9-99-74-4A-F1-29

Priloga 1

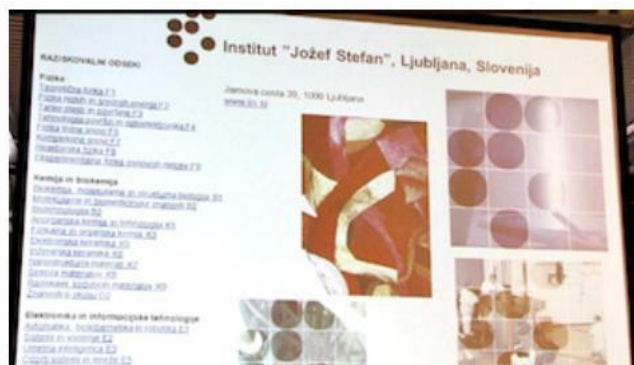
JE NAŠE ZNANJE RES TAKO MALO VREDNO? - Javna izjava, odmevi in povezave

DOSEŽKI 2014 - Kronološki pregled dosežkov Instituta v letu 2014

European Research Ranking - Institut "Jožef Stefan" uvrščen med deset najboljših inštitutov v Evropi



Dr. Marko Soderžnik, sodelavec Odseka za nanostrukturne materiale je v okviru evropskega projekta »Replacement and Original Magnet Engineering Options« - ROMEO (koordinatorka prof. dr. Spomenka Kobe) odločilno prispeval k uspehu projekta. Raziskave, ki so bile osnova za visoko inovativno tehnologijo, razvito na odseku in ki temelji na elektroforetski depoziciji in posebnem mehanizmu difuzije po mejah med zrni magnetnega materiala, so prispevale k temu, da so bile dosežene lastnosti, ki so končni cilj projekta. To tehnologijo zdaj skupaj s sodelavci iz nemškega Vacuumschmelze preizkušajo na pilotni liniji v Hanau. Končni rezultat so visokoenergijski magneti z minimalno vsebnostjo dragocenih težkih redkih zemelj, ki so ključni element motorja vetrne elektrarne Siemens.



Od 28 do 30. januarja 2015 je v Celju potekal sejem IFAM-Intronika 2015, ki pokriva številna področja, kot so avtomatika, robotika, elektronika, mehatronika, merilna tehnika in drugo. Letos se je ponovno predstavilo veliko število razstavljalcev. Odbor za znanost in tehnologijo pri Obrtni zbornici Slovenije, ki ga vodi g. Janez Škrlec, se je predstavil v okviru FERI – Univerze v Mariboru, predstavil pa je tudi partnerje: nekatere odseke Instituta "Jožef Stefan", Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Univerzo v Mariboru, Univerzo v Novi Gorici, Kemijski inštitut, Center odličnosti Namaste in druge.

TISKANE NOVICE



ŠTUDIJ Razpis



MEDNARODNA PODIPLOMSKA ŠOLA JOŽEFA STEFANA v sodelovanju z INSTITUTOM "JOŽEF STEFAN" razpisuje za študijsko leto 2014/2015 vpis na doktorski in magistrski študij.

PROJEKTI

Energetska sanacija stavb IJS na Reaktorskem centru v Podgorici

Poslovni objekt Odseka znanosti o okolju – O2 na

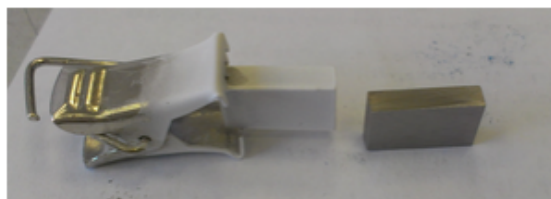
Priloga 2

Sie befinden sich hier: [» Home](#) [» News](#)[Home](#)[Who is who in EPD](#)[News](#)[New Publications](#)[International Conferences on
EPD](#)[Activities](#)[Contact](#)

News

Electrophoretic Deposition News from Slovenia

Dr Marko Soderžnik, working on the FP7 EU project entitled "Replacement and Original Magnet Engineering Options ([» ROMEO](#))", which is coordinated by Prof. Spomenka Kobe, substantially contributed to the success of the team at [» JOZEF STEFAN INSTITUTE \(JSI\)](#) in Slovenia. Fundamental research was the basis for a highly innovative technology, developed at JSI. The technology is based on electrophoretic deposition and a sophisticated heat-treatment method for selective diffusion along the grain boundaries of the magnet. This technology has resulted in the project's ambitious target magnetic properties being achieved. The process is now in the testing stage in industrial partners. The final result will be high-energy magnets with the minimum content of valuable heavy rare earths. These magnets will be used in a prototype demonstrator motors for wind turbines as part of the ROMEO project.



News

- EPD new from Slovenia ([more](#))
- EPD in industrial applications ([more](#))
- 5th EPD Conference in Austria ([more](#))
- New book on Electrophoretic Deposition ([more](#))

ELECTROPHORETIC.COM

Priloga 3

ANIZOTROPNI POLIMERNI MAGNETI NA OSNOVI REDKIH ZEMELJ

Vitalne komponente večine elektromehanskih strojev in elektronskih naprav so magneti, katerih izbira bistveno vpliva na učinkovitost, geometrijo, velikost in ceno sklopa, v katerega so vgrajeni. Čeprav je na današnjem trgu NdFeB-polimernih magnetov še vedno večina izotropnih, so razvojni napor, predvsem od jeseni 2010, po vsem svetu usmerjeni v razvoj anizotropnih NdFeB-magnetov.

Kolektor je med vodilnimi na področju razvoja tehnologije anizotropnega injekcijskega brizganja, prednost katerega je, da se že med procesom brizganja izdelajo tako oblika kot tudi magnetna usmeritev in da se magnet že med brizganjem namagnetira, zato je brez dodatne obdelave že pripravljen za vgradnjo.

Polimerne magnetne na osnovi redkih zemelj sestavljajo magnetni prah (NdFeB), za vezivno matrico pa ali termoplastični (poliamid, polifenilen sulfid) ali duroplastični (epoksidne smole) materiali, izdelani s tehnologijo injekcijskega brizganja ali enosnega stiskanja.

Prednost anizotropnih magnetov (pred izotropnimi, katerih jakost magnetnega polja je enaka v vseh smereh) je dvakrat večja jakost magnetnega polja v eni smeri, zaradi česar so lahko izdelki, ki uporabljajo anizotropne magnetne, manjši, kar je pomembna konkurenčna prednost trenda (predvsem avtomobilske industrije) v smeri manjše teže in volumna ter večje učinkovitosti.

Magnets are vital components of most electromechanical machines and electronic devices. The type used significantly affects the efficiency, geometry, size, and the total price of the whole product. Although the majority of NdFeB polymer magnets on the market today are still isotropic, since the autumn of 2010, great effort is being put into developing anisotropic NdFeB magnets all over the world.

Kolektor is one of the leaders in the field of R&D of the technology of anisotropic injection molding. Its main advantage lies in the fact that already during this process the desired shape as well as the magnetization direction of the magnet are produced, and that the magnet is already magnetized during molding, which means the magnet is ready to be used straight away without any additional processing.

Polymer magnets based on rare-earth elements are made of magnetic dust (NdFeB), while thermoplastics (polyamide, polyphenylene sulfide) or duroplast (epoxy resins) are used for the bonding matrix, and they are manufactured by injection molding or uniaxial compression molding.

The advantage of anisotropic magnets (compared to isotropic magnets, in which the strength of their magnetic field is equal in all directions) is their unidirectional magnetic field that is 2x stronger, and that allows for smaller dimensions of products using these magnets, which is an important competitive advantage in terms of the trends (particularly in automotive industry) to minimize weight and volume, and maximize efficiency.

„Na področju magnetov na osnovi redkih zemelj in elementov prehoda, tako plasto vezanih kot tudi sintranih, je trenutno največji trend zmanjšati vsebnost težkih redkih zemelj ali pa jih v celoti nadomestiti z drugimi elementi ob doseganju enakih ali boljših magnetnih lastnosti. Drug trend je razvoj novih materialov, ki bi bili po svojih lastnostih v razredu med magneti Nd-Fe-B in trdimi feriti. Razlog za te trende, ki dejansko povezujejo Evropo, Združene države in Japonsko v formalnem trilateralnem sodelovanju, je predvsem v tem, da je Kitajska s svojo politiko na področju trga redkih zemelj povzročila resno krizo pri dobavi in ceni predvsem težkih redkih zemelj.“

SPOMENKA KOBE, PhD

Institut »Jožef Stefan«, head of department for Nanostructured Materials, vodja odseka

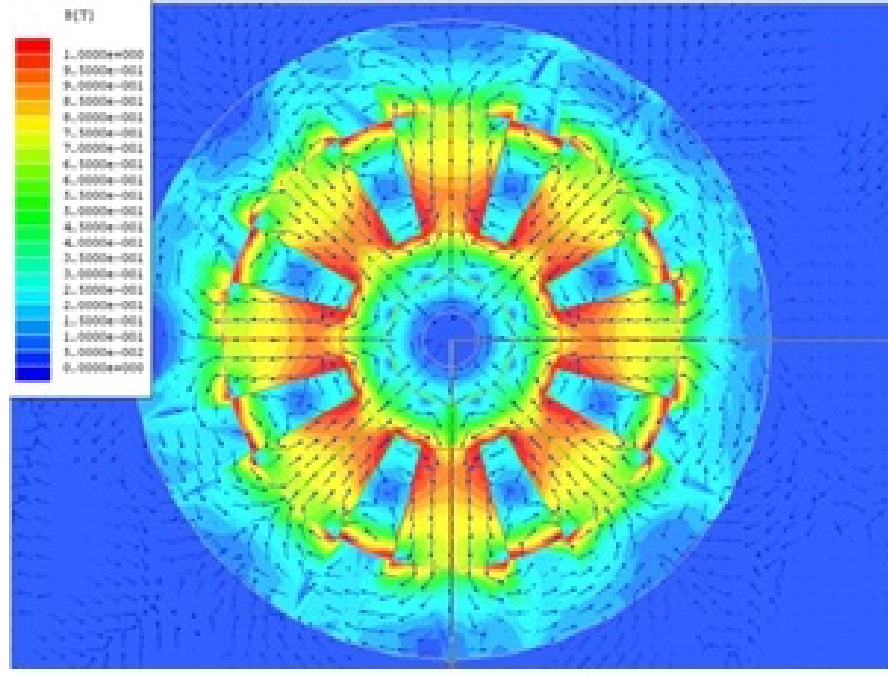
“A major trend in the field of rare earth and transition metals-based magnets, both bonded and sintered, is to reduce the content of heavy rare earths or entirely replace them with other elements, while still achieving equal or better magnetic characteristics. The second most prominent trend is to develop new materials with characteristics between Nd-Fe-B magnets and hard ferrite magnets. The reason for these trends, which connect Europe, the United States and Japan in a formal, trilateral collaboration, lies mainly in the fact that China's policies regarding the rare earth market caused a severe crisis in supply and price of heavy rare earth elements.”



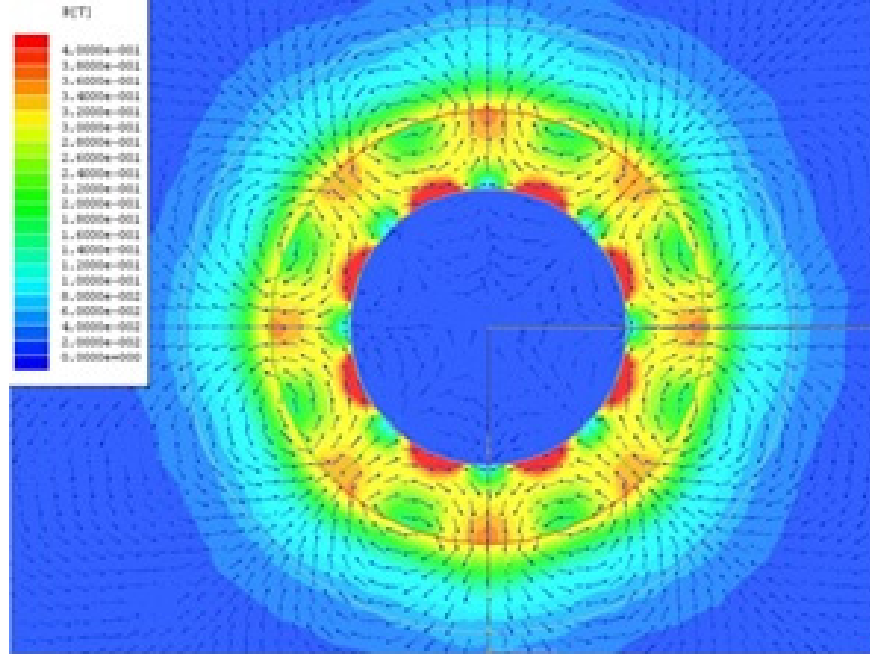
Priloga 4

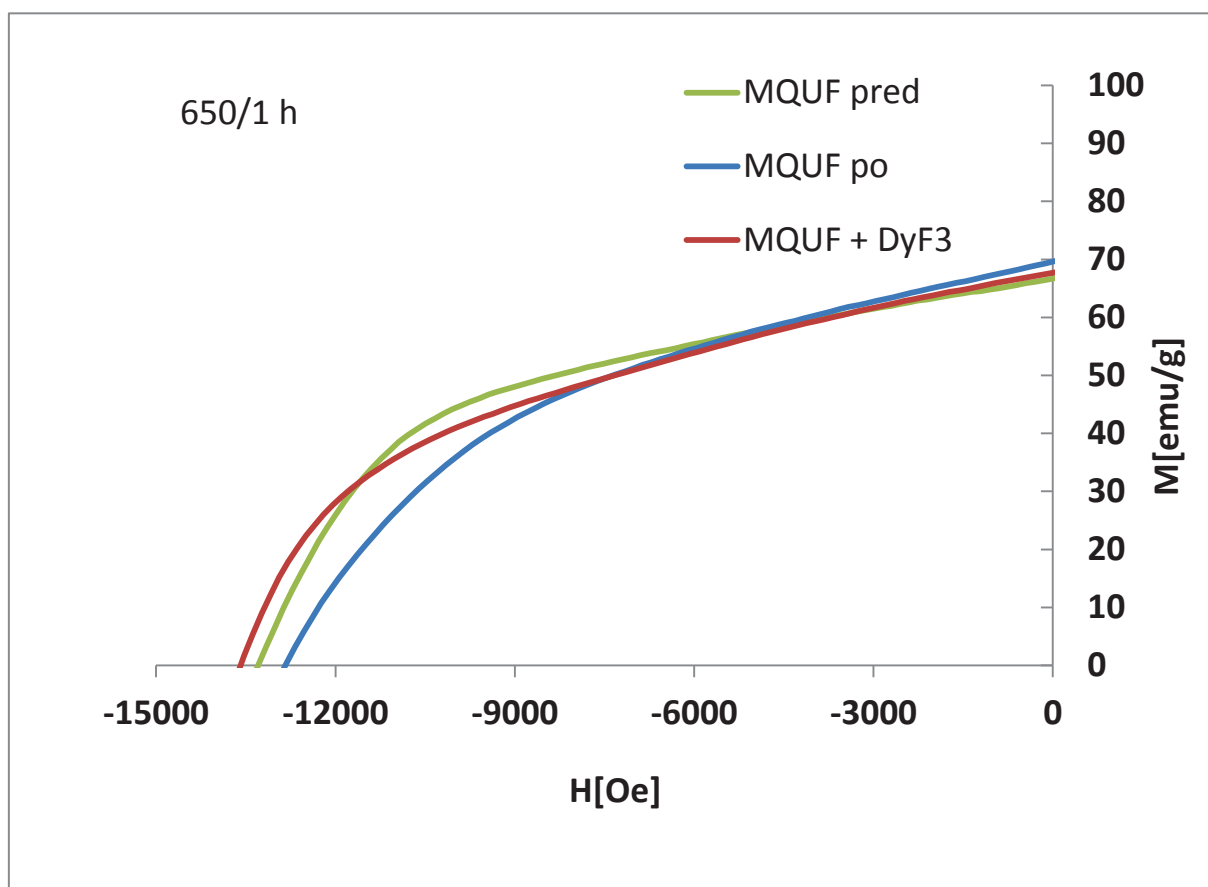
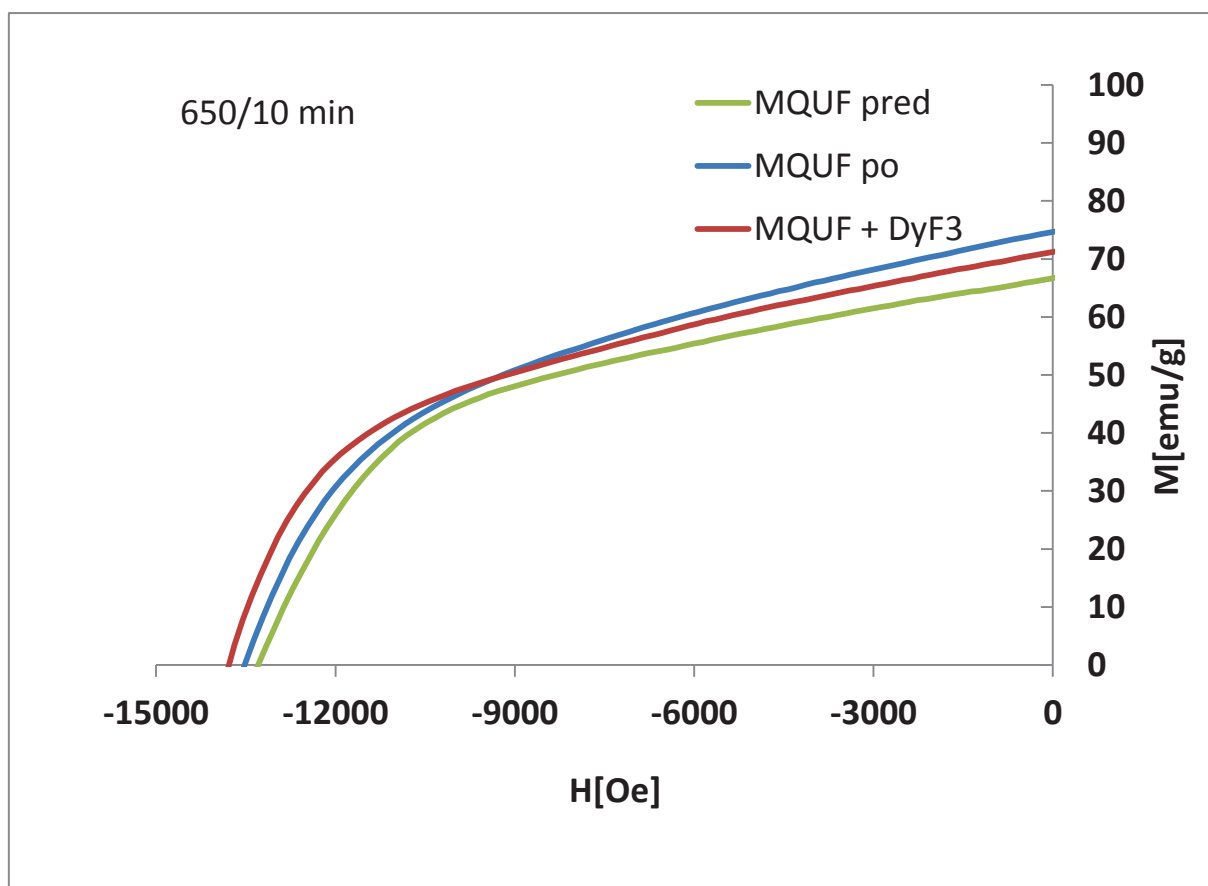


Priloga 5



Priloga 6





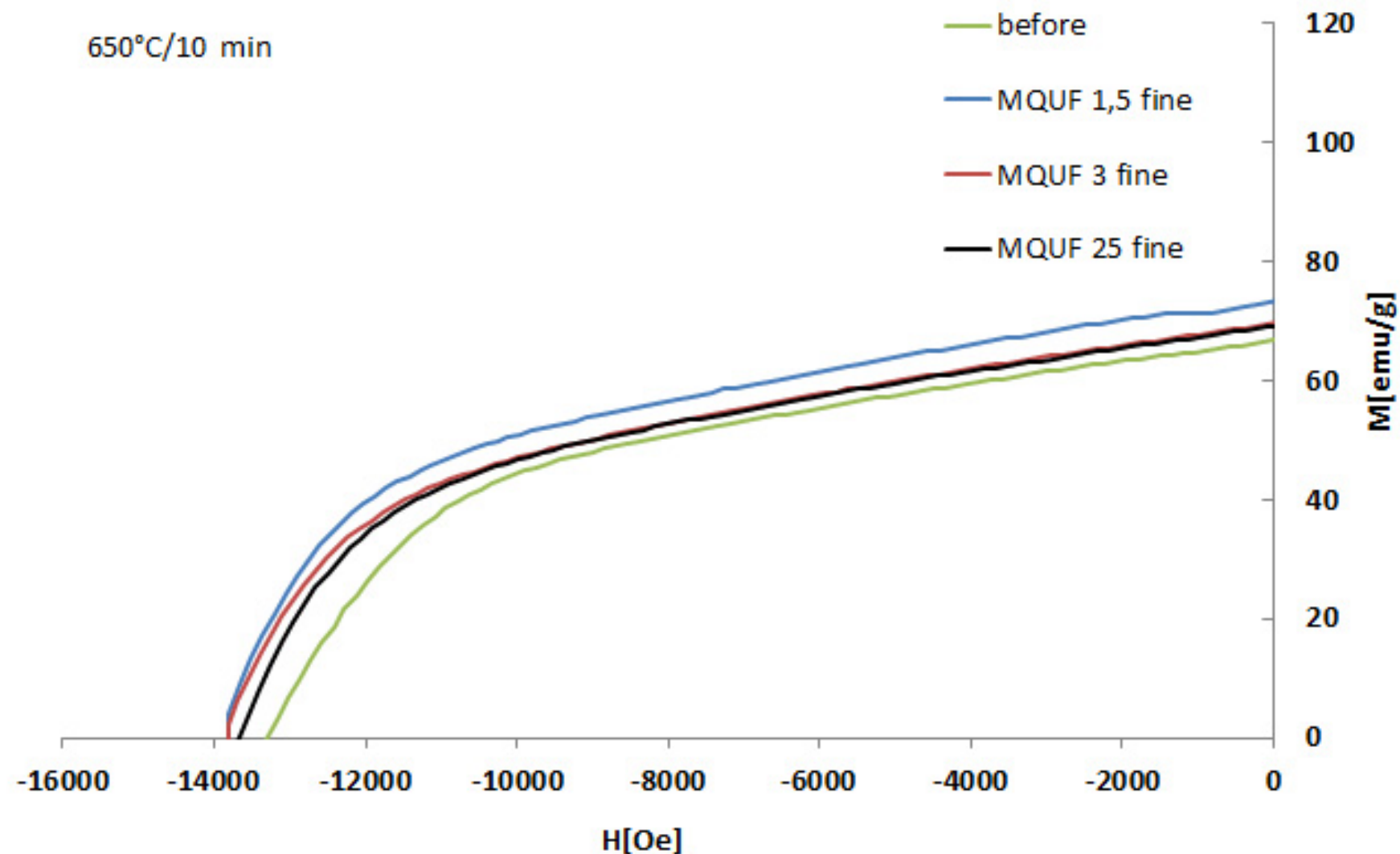
Sliki. Demagnetizacijske krivulje vzorcev po različnih termičnih obdelavah. Oznake pomenijo:

»MQUF pred« pomeni MQUF trakove pred temperaturno obdelavo

»MQUF po« pomeni MQUF trakove po temperaturni obdelavi

»MQUF + DyF₃« pomeni MQUF trakove z dodanim DyF₃ po temperaturni obdelavi

VSM @ 100°C (seal+Ti+fine particles)

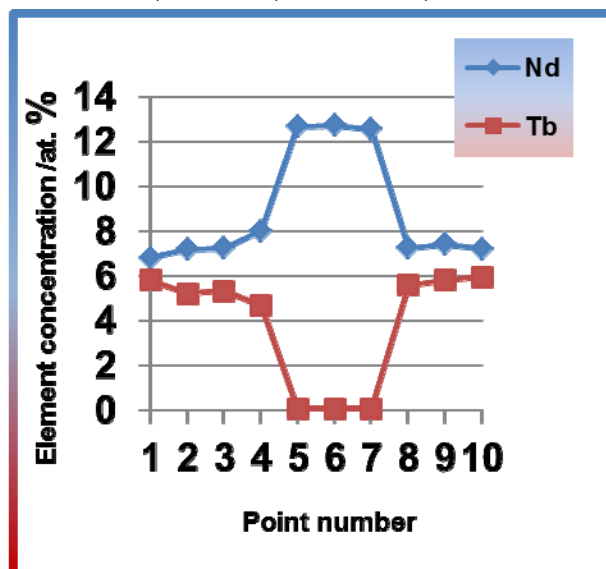
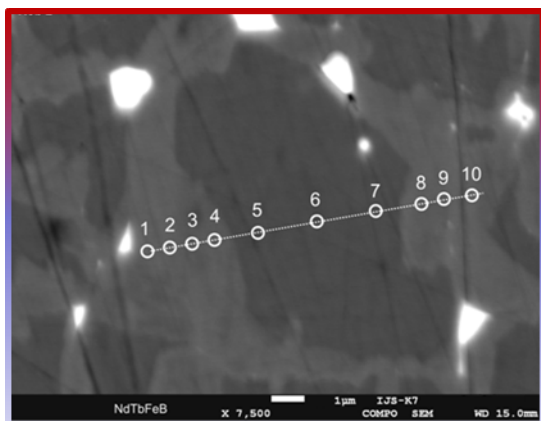


TEHNIKA

Področje: Materiali – Kovinski materiali

Dosežek 1: M. Soderžnik, K. Žužek-Rožman, S. Kobe, P.J.

McGuinness, *Intermetallics*, ISSN 0966-9795, 2012, vol. 23, 158-162.



Mikrostruktura vzorca z 0.2 mol. % dodanega Tb, ki predstavlja »jedro-ovoj« in pripadajoča linijska EDS analiza.

V okviru evropskega projekta "Replacement and Original Magnet Engineering Options" **ROMEO**, ki je bil podprt s financiranjem ARRS v okviru raziskovalnega projekta L2-4097 je bila ena izmed nalog izdelava demonstracijskega elektromotorja, ki temelji na osnovi trajnih magnetov Nd-Fe-B. Takšni magneti morajo izpolnjevati visoke zahteve industrijskih partnerjev. Magnetni materiali na osnovi Nd-Fe-B morajo zaradi odpornosti proti poljem razmagnetjenja pri višjih temperaturah od 100°C vsebovati težke redke zemlje kot sta Tb ali Dy. Zaradi znane krize redkih zemelj in še posebej težkih redkih zemelj je postal močan trend vseh raziskovalcev v svetu s tega področja, da se količina te redke zemlje drastično zmanjša. Količina dodane težke redke zemlje, ki je potrebna v osnovni zlitini, da ti materiali ohranijo svoje odlične lastnosti tudi pri visokih temperaturah, je tudi do 11 ut. %. Mi smo dosegli enake rezultate z 0.6 ut. %.

S tehnologijo, ki smo jo razvili na Odseku za nanostrukturne materiale, IJS, je možno zadostiti vsem zahtevanim kriterijem hkrati. Gre za t. i. difuzijski postopek, ki temelji na elektroforetski depoziciji prahu TbF₃. Procesna optimizacija je šla v smeri spreminjanja parametrov toplotne obdelave po EPD. Končne lastnosti magnetov so bile 2027 kA/m in 1.31 T. S tem so bili doseženi cilji projekta in tehnologija se zdaj uvaja v proizvodnjo industrijskega partnerja Vacuumschmelze, v Nemčiji. Demonstrator motorja za vetrne elektrarne bo izdelan v SIEMENS-u.

IZJAVA SOFINANCERJA APLIKATIVNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

1. Sofinancer (naziv in naslov)

Kolektor Group Vodenje in upravljanje družb d.o.o., Vojkova ulica 10, SI-5280 Idrija

2. Vrednost sofinancerja za projekt L2-4097 je znašala 92.345,40 EUR,
(šifra projekta)
kar predstavlja 25,00 % utemeljenih stroškov projekta.

3. Sofinanciranje je bilo izvedeno (datum; obdobje): 2011-2014

4. Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja

Zap. št.	Rezultati (znanstvena dela, patenti, prenosil v prakso, programska oprema, kongresi, izvedena dela, razstave, itd.) ¹	Šifra ²
1.	MCGUINESS, P.I.J., SODERŽNIK, M., ŽAGAR, K., KOCJAN, A., KOBÉ, S. Method of manufacturing fully dense Nd-Fe-B magnets with enhanced coercivity and gradient microstructure, EP 2013	F.09
2.	SODERŽNIK, M., et.al. Grain boundary diffusion process in Nd-Fe-B magnets by dipping and EPD. VP: Energy&materials critically workshop : August 22-25, 2013, Santorini, Greece	B.04
3.	TOPOLE, Martin, KOROŠEC, Peter, MCGUINESS, Paul J., KOBÉ, Spomenka,. Večpolni magnet v obliki obroča. (IJS delovno poročilo, 11356). 2013.	F.06
4.	ROMEO - Replacement and Original Magnet Engineering Options No. 309729	D.01
5.	SODERŽNIK, Marko. Razvoj optimalne mikrostrukture tipa "jedro-ovoj" za visoko koercitivne magnetne Nd-Fe-B z minimalno vsebnostjo težkih redkih zemelj : doktorska disertacija. Ljubljana, 2013	D.09

¹ Navedite najpomembnejše rezultate (najmanj enega) raziskovanja. Največ 200 znakov vključno s presledki.

² Izberite ustrezno šifro (A-F) po Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov
<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>

Komentar:³

Dokončana je bila študija viiva dodanega Dy sintranim magnetom z metodo elektrolitskega nanašanje fluoridov težkih redkih zemelj iz suspenzije in kasnejšo termično obdelavo, ki omogoča difuzijo po mejah med zrnji. Za potrditev že prej uveljavljene hipoteze o minimalni porabi težke redke zemlje, če jo dodajamo na način ki omogoči t.i. jedro lupina mikrostrukturo je bila metoda eksperimentalno ponovljena na komercialnih vzorcih. Koercitivna sila komercialnega Nd-Fe-B magnetla se je iz začetnih 13 kOe pri vzorcu brez dodane težke redke zemlje po termični obdelavi zvišala na 18 kOe, koercitivna sila vzorca obločenega v fluorid težke redke zemlje pa na 20 kOe. Količina porabljene težke redke zemlje je bila 10 krat manjša kot je to po klasičnem metalurškem postopku, kjer proizvajalci dodajajo težko redko zemljo v začetno zlitino.

Uspešno je bila zaključena tudi študija izboljšave koercitivnosti prahov (trakci taljene litine) Nd-Fe-B z dodajanjem različnih količin DyF₃, s kasnejšim sintranjem v plazmi (1 min na 700 st. C) in termično obdelavo. Najboljše rezultate to je 25 % izboljšanje koercitivne sile so dosegli z dodatkom 2,2 ut. % Dy in termično obdelavo na 600 st. C/ 10 ur. Dosežena je bila koercitivnost 25 kOe. Postopek je bil patentiran. S preiskavami vzorcev z scanning elektronsko mikroskopijo so dobili rezultate ki kažejo na podobnost mikrostrukture jedro-lupina, ki smo jo dosegli z EPD in GBDP obdelavo konvencionalno sinttranih vzorcev. Za potrditev bo potrebno narediti še natančnejšo analizo z transmissijsko elektronsko analizo.

Eden od zastavljenih ciljev projekta je bil, da se v celoti izognemo uporabi težke redke zemlje, ki v fazi na mejah med zrnji omogoča doseganje visokih koercitivnosti tako, da bi jo zamenjali s kovinami oz. zlitinami z nizko temperaturo tališča. Naredili smo obsežno študijo primernosti takih dodatkov z vidika nizke ceno, ekološke neoporečnosti, korozivne obstojnosti in s potencialno možnostjo recikliranja. Temperaturo tališča smo omejili na 550 st. C predvsem zato, da bi se izognili faznim spremembam v Nd-Fe-B zlitini. Kandidati so bili Al, Cu, Zn, Bi in Sn, ki tvorijo dvo fazne ali tri fazne spojine.

Z obločnim taljenjem so bile pripravljene različne zlitine Al-Cu, Al-Cu-Zn in Al-Cu-Si, katerih temperatura tališča je bila določena z DSC (Differential Scanning Calorimetry) analizo. Naslednja stopnja je bila izdelati Nd-Fe-B magnet z vezivno zlitino z nizkim tališčem, ki bi nadomestila standardno z redko zemljo bogato fazo in tudi zamenjala sedanje polimerno vezivo zaradi višje termične obstojnosti. Uporabili smo MQP-B prah in mu dodali Al-Cu binarno zlitino in Al-Cu-Si ternarno zlitino. S sistematičnim delom smo na koncu prišli do odličnih rezultatov. Za 10% smo povečali koercitivno silo pri enaki remanentni magnetizaciji in dosegli tudi bolj pravokotno demagnetizacijsko krivuljo kot pri plastu vezanih magnetih z enakim osnovnim prahom

³ Največ 3000 znakov vključno s presledki.

213

5. Ocena sofinancerja o pomenu oziroma vplivu rezultatov projekta za sofinancersko organizacijo⁴:

Izjavljamo, da je delo na projektu L2-4097 v navedenem obdobju potekalo v skladu s programskimi cilji projekta.

Cilj za poročano obdobje je bil poiskati parametre izdelave visokokoercitivnega materiala z ultra-fino mikrostrukturo v kombinaciji z lokaliziranim Dy na mejah med zrni s postopkom hitro kaljene litine v inertni atmosferi Ar. Projekt je potekal na laboratorijskem sistemu za serijsko obdelavo sub-kilogramskih šarž in v metalovezanih sistemih.

Rezultati projekta v poročanem obdobju kažejo primerljive (Br, BHmax) in boljše (Hc) magnetne karakteristike, kot ekvivalentne plasto tehnologije. Stroškovni vidik komercializacije tehnologije SPS bo potrebno še optimizirati.

Datum:

12.3.2015

Žig

KOLEKTOR

KOLEKTOR GROUP d.o.o.

Podpis:

Darja Petrič-Floriančič,
članica uprave

Vojkova ulica 10
5280 Idrija

(zakoniti zastopnik sofinancerja)

8



⁴ Podatek je obvezen. Največ 3000 znakov vključno s presledki.