

Izdelava AlNiCo trajnih magnetov iz vodno atomiziranih prahov

Preparation of AlNiCo Permanent Magnets from Water Atomized Powders

B. Šuštaršič, *Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, Ljubljana*
in

Z. Lengar, S. Tašner, *ISKRA Magneti Stegne 37, Ljubljana*
in

J. Holc, S. Beseničar, *Inštitut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana*

Drobljenje, mletje in sejanje ulite predzlitine je standarden postopek priprave kovinskih prahov za izdelavo in mletje AlNiCo anizotropnih trajnih magnetov. Ta postopek bi želeli zamenjati s tehnološko, ekonomsko in ekološko učinkovitejšim postopkom. Zato smo raziskovali možnosti uporabe postopka vodne atomizacije za izdelavo prahov na osnovi kobalta in železa primernih za izdelavo AlNiCo anizotropnih trajnih magnetov. Praktično delo nam je omogočila predvsem nova laboratorijsko pilotna naprava za vodno atomizacijo z induktivnim talilnim sistemom. Z ozirom na tehnološke značilnosti postopka vodne atomizacije smo izbrali primerno kemično sestavo vložka in določili osnovne tehnološke parametre atomizacije. Izdelanim prahovom smo določili osnovne morfološke lastnosti v odvisnosti od parametrov atomizacije. Lastnosti izdelanega prahu so v okviru pričakovanj in tehnoloških možnosti postopka vodne atomizacije. Izdelanim vodno atomiziranim prahovom smo primešali potrebne dodatke za korekcijo sestave in izboljšanje stisljivosti ter jih nato stiskali v preizkusne valjčke. Stisnjene surovce smo nato sistematično sintrali in toplotno obdelali v magnetnem polju pri različnih pogojih tako v laboratoriju, kot tudi na industrijskih napravah. Dosežene magnetne lastnosti obeh preiskovanih materialov (tip 400K in 1500) so podobne komercialnim vzorcem tega tipa. Pri tem moramo seveda upoštevati, da smo morali izhodno sestavo prilagoditi postopku vodne atomizacije. Tako smo stisljivost prahu povečali z dodatkom čistega železa Hoeganaes, reaktivni Ti in delno Al pa smo dodajali naknadno v obliki tržno dosegljivih prahov zlitin Co – Ti – Al oziroma Ni – Ti – Al.

Sintered AlNiCo anisotropic permanent magnets are produced from a mixture of powders. The master alloy powder is produced conventionally by grinding and milling of a cast alloy. Our aim was to change this procedure with technologically, economically and ecologically a more effective powder preparation method. We therefore established the applicability of water atomization for the preparation of Fe – Co based metal powders. R & D work was made possible especially by the application of new pilot water atomizer recently installed and started up at the Institute of Metals and Technologies in Ljubljana. Proper chemical compositions and process parameters were determined on the basis of significant features of water atomization. The morphological properties of prepared powders depending on the main influent parameters of water atomization were determined. The oxygen and carbon contents were also determined. The properties of prepared powders were in accordance with our expectations and technological possibilities of water atomization. Prepared powders were mixed with proper amount of soft pure iron powder (improvement of the compressibility), either Co – Ti – Al or Ni – Ti – Al powder (prevention of oxidation of Ti and Al during water atomization) and 0.5 wt.% wax and compacted in green samples. Samples were then vacuum sintered and thermomagnetically treated at different conditions on the laboratory and industrial scale. Magnetical properties for both prepared materials (AlNiCo type 400K and type 1500) are equal to commercially available foreign samples and better than the conventionally prepared materials.

1 Uvod

Standarden postopek izdelave AlNiCo trajnih magnetov poteka v tovarni ISKRA Magneti preko taljenja in ulivanja predzlitine na osnovi kobalta (Co) in železa (Fe) z do-

datki niklja (Ni), aluminija (Al) in drugih kovin (Cu, Si, Nb in Ti). Sledi tehnološko in tudi ekološko zahtevno drobljenje ter mletje ulitih oblikovancev, sejanje in mešanje z dodatkom veziva z namenom, da se pripravi mešanica primerna za stiskanje v izdelke željene oblike. Stiskanju

surovcev sledi sintranje, toplotna obdelava v magnetnem polju, mehanska obdelava in kontrola predpisanih magnetnih lastnosti.

Poleg mehanskega drobljenja in mletja predzlitine je možno kovinske prahove izdelati tudi z vrsto drugih v svetu že dodobra uveljavljenih postopkov. Med njimi so postopki izdelave kovinskih prahov z razprševanjem ali atomizacijo najbolj razširjeni. Izraz atomizacija ni najprimernejši, saj gre v bistvu le za razpršitev (dezintegracijo) raztaljene kovine v drobne kapljice, ki se v stiku z razprševalnim in hladilnim sredstvom hitro strde v delce prahu, kar ima z atomi kaj malo skupnega. Vendar se je izraz atomizacija uveljavil tako v tuji (angl.: fluid/inert gas/water/centrifugal atomization etc., nem.: Wasserverdunstung/Wasseratomisation, itl.: Atomizzazione in acqua/gas), kot tudi domači strokovni literaturi in ga bomo zato v nadaljevanju uporabljali tudi v našem prispevku.

Izdelava kovinskega prahu neposredno iz raztaljene kovine z atomizacijo ima vrsto prednosti. Predvsem odpade vmesna faza ulivanja, drobljenja in mletja predzlitine. Odpade tudi vpliv domletka zaradi obrabe čeljusti ali mlevskih agregatov. Hitrosti ohlajanja so pri postopkih atomizacije med 10^2 in 10^6 K/s, kar pomeni, da lahko zaradi zelo hitrega ohlajanja pričakujemo tudi mnogo večjo homogenost (tako kemične sestave, kot tudi velikostne porazdelitve in oblike delcev prahu). Istočasno smo pričakovali določene težave zaradi prisotnosti reaktivnih elementov (Al, Ti, Nb) in hitrega ohlajanja (velika trdota prahu—slaba stisljivost), da bomo lahko z raspoložljivim postopkom vodne atomizacije izdelali prah željene končne sestave. Tudi v tuji strokovni literaturi^{1,2} zaenkrat nismo zasledili, da bi se prahovi te vrste izdelovali s postopkom vodne atomizacije.

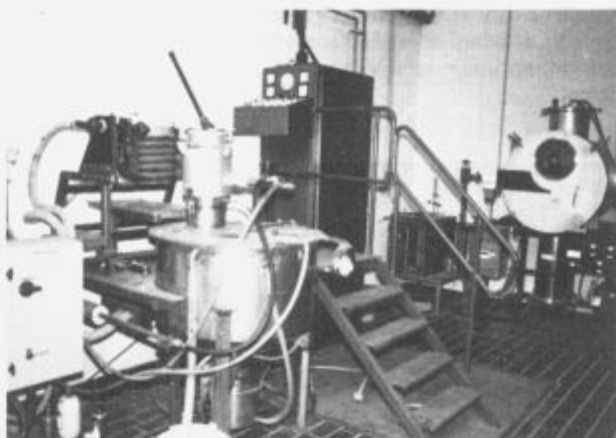
2 Izdelava kovinskih prahov z vodno atomizacijo

Danes poznamo vrsto postopkov oziroma tehnologij izdelave kovinskih prahov. Izbrani postopek je odvisen od vrste kovine ali zlitine, ki jo želimo izdelati, oblike in namembnosti izdelka, ekonomičnosti in mnogih drugih dejavnikov. V splošnem lahko razdelimo postopke izdelave kovinskih prahov na:

- mehanske (drobljenje in mletje),
- elektrolitske (izločanje na katodi),
- kemijske (redukcija, obarjanje, izločanje iz plinske faze, itd.) in
- razprševalne (plinska, oljna, vodna, centrifugalna, ultrazvočna, elektrostatična, eksplozijska atomizacija v talini itd.).

V tem prispevku se bomo omejili le na kratek opis osnovnih značilnosti vodne atomizacije in primerjavo z drugimi postopki izdelave kovinskih prahov, kar je vezano na praktično delo z našo napravo (glej sliko 1). Pregled in natančnejši opis vseh pomembnejših postopkov izdelave kovinskih prahov pa je možno najti tako v tuji, kot tudi domači literaturi^{2,3,4,5,6}.

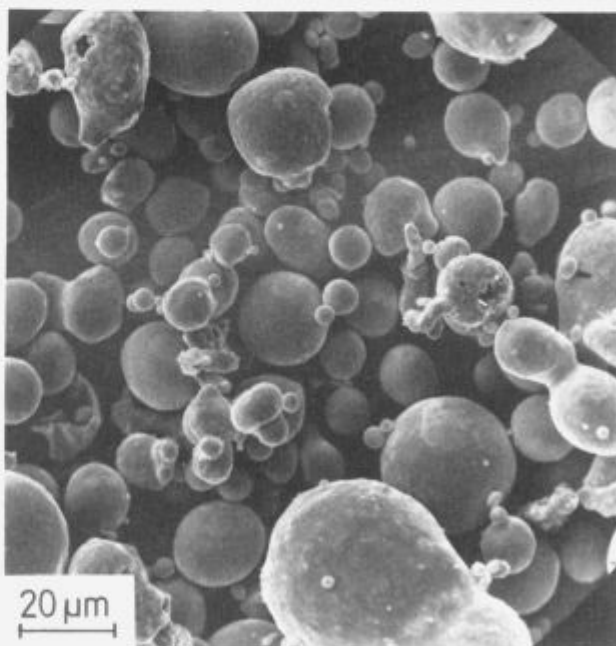
Vodna atomizacija je relativno cenen in zato najbolj razširjen postopek izdelave kovinskih prahov, ki imajo tališče pod 1600°C . Vodo neposredno ubrizgavamo v curek kovinske taline skozi eno ali več šob. Proces je podoben plinski atomizaciji, kjer je razprševalno sredstvo inertni plin (dušik, argon ali helij), lahko pa tudi zrak. Postopka se med seboj razlikujeta v podrobnostih, ki so posledica razlik v lastnostih razprševalnega sredstva.



Slika 1. Laboratorij za metalurgijo prahov in hitro strjevanje na IMT v Ljubljani z laboratorijsko—pilotno napravo za izdelavo kovinskih prahov z vodno atomizacijo v ospredju.

Figure 1. Laboratory for powder metallurgy and technology of rapid solidifications at Institute of Metals and Technologies Ljubljana (in foreground the lab-pilot water atomizer).

Neposredno visokotlačno ubrizgavanje vode v curek taline povzroča razpršitev taline v drobne delce (kapljice) in hitro strjevanje. Izdelani kovinski prah je najpogosteje nepravilne oblike in se razlikuje od prahu izdelanega s plinsko atomizacijo, ki je praviloma kroglične oblike. Vendar pa je možno tudi z vodno atomizacijo izdelati prahove s krogličnimi delci (zlitine sestavljene iz elementov z manjšo afiniteto do kisika). Na slikah 2 in 3 imamo prikazan primer

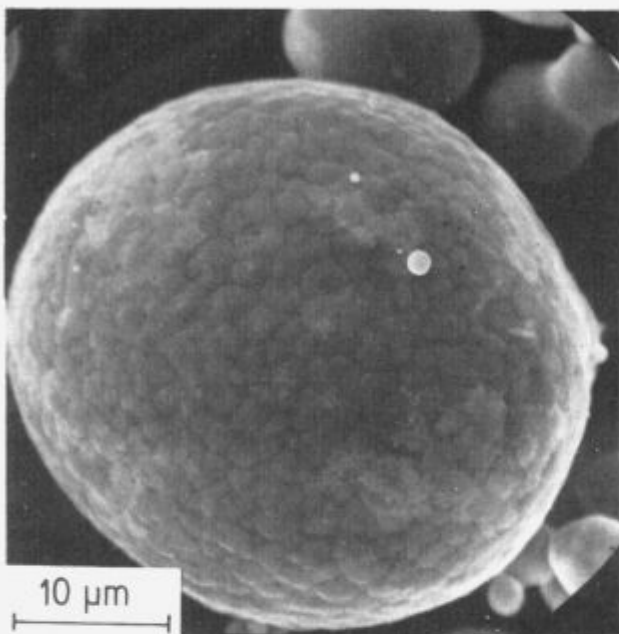


Slika 2. Posnetek prahu Cu – Ni na raster el. mikroskopu. Frakcija: pod $63\ \mu\text{m}$.

Figure 2. SEM micrograph of water atomized Cu – Ni powder. Fraction: $< 63\ \mu\text{m}$.

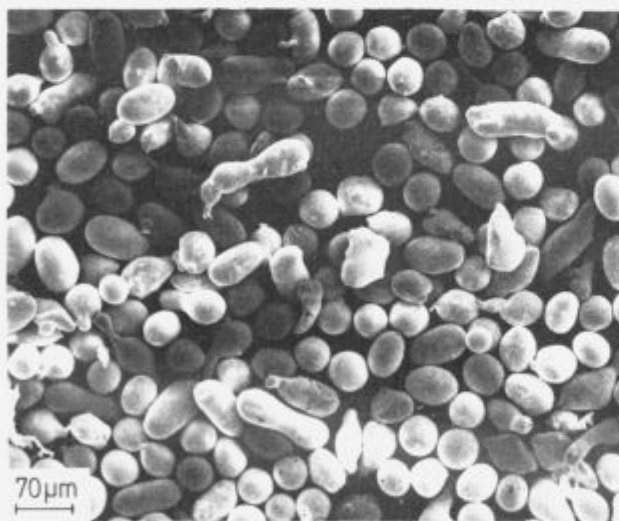
prahu zlitine Cu – Ni (2 ut.% Ni) in na sliki 4 primer prahu

zlitine na osnovi Co (zlitina za navarjanje tip F). Vsi ti prahovi so izdelani na naši napravi za vodno atomizacijo in kot vidimo imajo relativno pravilno oblikovane (kroglične) delce.



Slika 3. Delce prahu zlitine Cu – Ni na raster el. mikroskopu. Premer delca $D = 36 \mu\text{m}$.

Figure 3. SEM micrograph of water atomized Cu – Ni powder particle. Particle diameter $D = 36 \mu\text{m}$.



Slika 4. Posnetek vodno atomiziranega prahu zlitine Milit F (39% Co, 22% Ni, 25% Cr, 12% W in 2% C) na raster elektronskem mikroskopu. Frakcija: 63 do $75 \mu\text{m}$. (vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee—IMT Ljubljana).

Figure 4. SEM micrograph of water atomized Co-base type F powder. Fraction: 63 to $75 \mu\text{m}$. (Davy Mc Kee D5/2 water atomizer—IMT Ljubljana).

V večini primerov je vodno atomizirani prah tudi prekomerno onečiščen s kisikom in površina prahu je

mного bolj hrapava. Zato je potrebno vodno atomizirane prahove pogosto žariti v vodik ali v vakuumu na manjšo vsebnost kisika. Zaradi nepravilne oblike delcev ima vodno atomizirani prah relativno dobro stisljivost in ga lahko stiskamo tudi hladno v trdne surovce. V nekaterih primerih se pred nadaljno obdelavo prahu poslužujemo še dodatnega drobljenja. Skoraj vedno pa s postopkom sejanja odsejemo pregrobo in včasih tudi predrobne frakcije.

Tlak vode je eden od glavnih vplivnih parametrov vodne atomizacije. V splošnem višji tlak pomeni večje hitrosti vode, posledica so drobnejši delci prahu. Poleg tlaka vode imamo še vrsto procesnih parametrov, ki vplivajo na lastnosti in s tem kakovost izdelanega prahu^{2,3,5,7} (glej tudi tabelo 1).

Proces atomizacije je v splošnem omejen s hitrostjo odvajanja toplote. Ocenjena zgornja meja hitrosti odvajanja toplote je $10^5 \text{ J/m}^3\text{sK}$. Pri velikosti delcev prahu med 10 in $100 \mu\text{m}$ je ohlajevalna hitrost reda velikosti 10^4 K/s , v nekaterih primerih celo do 10^5 K/s (ultrazvočna atomizacija, nalivanje na hitro vrteči se disk—angl.: Meltspinning). Hitrosti ohlajanja so pri vodni atomizaciji nekaj višje kot pri plinski. Zato vodna atomizacija v splošnem daje boljše mikrostrukture kot plinska.

Glavna omejitev pri izbiri materialov, ki jih lahko izdelujemo z vodno atomizacijo, je afiniteta izbrane kovine do kisika. Zato je vodna atomizacija predvsem postopek, ki je primeren za izdelavo prahov, sestavljenih iz kemijskih elementov, z malo afiniteto do kisika. Prahovi, ki se do sedaj uspešno izdelujejo s postopkom vodne atomizacije so predvsem: nerjavna in hitrorezna jekla, nekatere korozijsko in obrabno odporne zlitine (predvsem zlitine Ni – Cr – B – Si), PM zlitine na osnovi bakra ter spajke na osnovi žlahtnih kovin in dentalne zlitine.

3 Praktično delo

Za razvojno raziskovalno delo smo izbrali dva trdomagnetna materiala. Prvi material ima tržni naziv SIMAG 1500 (z nazivno kemično sestavo Fe – 36Co – 14Ni – 8Al – 6Ti in dodatki Cu ter Nb) z nazivno remanenco $B_r = 0.85 \text{ T}$ in koercitivnostjo $H_{cB} = 118 \text{ kA/m}$. Drugi izbrani material ima tržni naziv SIMAG 400K (Fe – 25Co – 15Ni – 8Al z dodatki Ti, Cu in Nb) in $B_r = 0.9 \text{ T}$ ter $H_{cB} = 55 \text{ kA/m}$. Vodno atomizirane prahove z različno sestavo predzlitine smo pripravljali na laboratorijsko pilotni napravi D5/2 Davy Mc Kee pri različnih pogojih z namenom optimiranja tehnoloških parametrov in lastnosti prahov.

V tabelah 1 in 2 so zbrani vsi pomembnejši tehnološki parametri, ki smo jih zasledovali med posameznimi preizkusi.

Izdelane kovinske prahove smo pregledali z raster-skim elektronskim mikroskopom in jim določili osnovne fizikalno kemične lastnosti (obliko delcev, velikostno porazdelitev in povprečno velikost delcev, nasipne gostote in tekočnost prahov itd)⁸. S pomočjo kemijske analize (PHILIPS PW1480 Spectrometer) smo kontrolirali končno sestavo prahu in povratno izvajali potrebne korekcije sestave predzlitine kvalitete 400K. Vsebnost kisika v izdelanih prahovih se je gibala med 1000 in 1500 ppm O_2 . Drug zelo pomemben parameter pri izdelavi trajnih magnetov je vsebnost ogljika, ki naj ne bi presegala dovoljenih 0.05 ut.%.

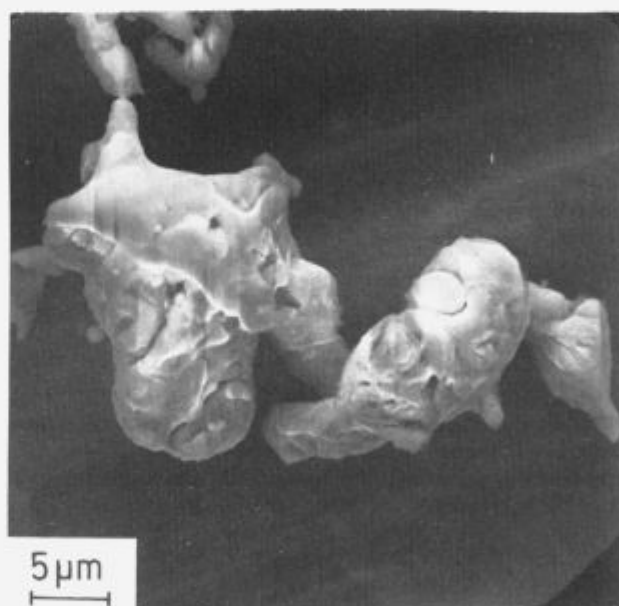
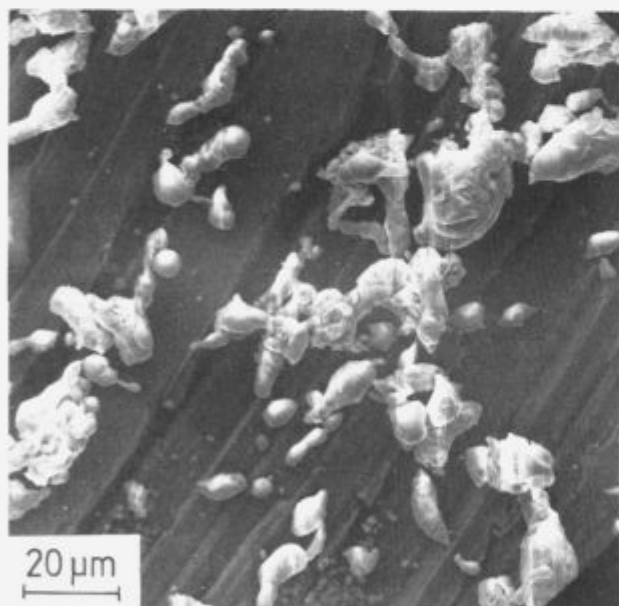
Na slikah 5 in 6 so prikazane morfološke značilnosti izdelanih prahov. Vsi izdelani AlNiCo prahovi so imeli nepravilno obliko delcev. To ne preseneča, saj je to značilnost vodne atomizacije. Takšni prahovi imajo zaradi svoje nepravilne oblike tudi boljše stisljivost.

Tabela 1. Procesni parametri izvedenih preizkusov izdelave prahov AlNiCo magnetov kvalitete SIMAG 400K in 1500.

Procesni parameter		Opomba
Temperatura pregretja taline (° C)	1550 do 1650° C	merjeno z optičnim pirometrom
Temperatura pregretja vmesne posode (° C)	1250 (±20° C)	merjeno s termoel. Pt-PtRh13
Premer šobe vmesne posode (mm)	4.5	šobe izdelane iz taljenega kremenca
Premer vodnih glavne šob (mm)	1.20 × 1.05	tip 1503
pomožne	1.10 × 0.85	tip 1502
Kot razprševanja glavne (v stopinjah)	50	originalna
pomožne	40	razdelilna glava
Tlak vode (bar)	180/230	
Vrsta in pretok zaščitnega plina	0.8 m ³ /h dušika v komori atomiz. 220 l/h argona nad talino v talil.	merjeno z rotametrom

Tabela 2. Parametri vodne atomizacije za SIMAG 400K in 1500 (IMT 1991—vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee).

Material	Tlak vode (bar)	Pretok vode (l/min)	Pretok taline (kg/min)	Razmerje pretokov (voda/kovina)	d ₅₀ (μm)
SIMAG 400K	180	56	3.54	15.82	45
SIMAG 1500	180	56	3.42	16.37	100



Slika 5. Posnetek prahu zlitine 400K na raster el. mikroskopu. Frakcija: pod 63 μm.

Slika 6. Delca prahu zlitine 400K. Raster el. mikroskop. Frakcija: pod 63 μm.

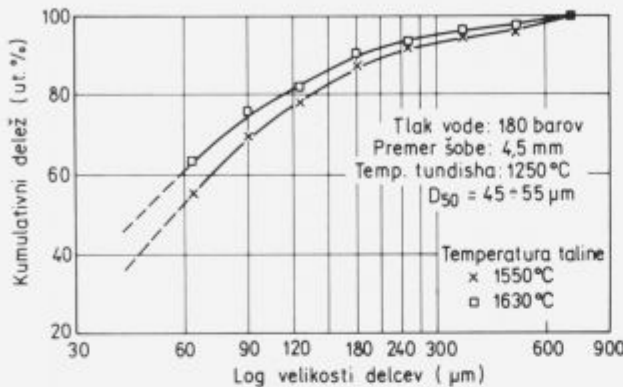
Figure 5. SEM micrograph of water atomized AlNiCo powder. Fraction: < 63 μm.

Figure 6. SEM micrograph of water atomized AlNiCo powder. Fraction: < 63 μm.

Na slikah 7 in 8 sta prikazana diagrama velikostne porazdelitve prahov za obe vrsti materialov. Na prvem diagramu vidimo vpliv temperature pregretja taline na drugem pa vpliv tlaka razprševalnega sredstva. Za zgoščevanje

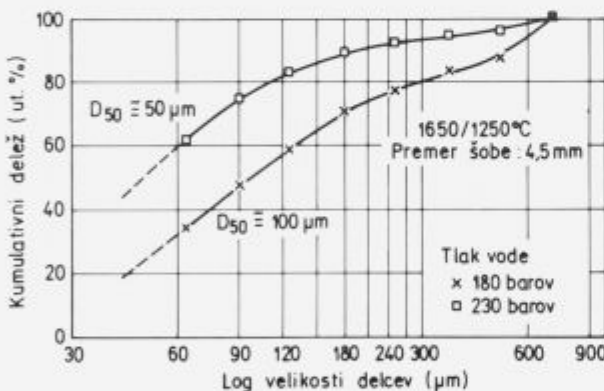
smo uporabljali frakcijo < 120 μm. Iz diagrama vidimo, da je izkoristek prahu približno 80%. S preizkusi smo ugotovili, da bi bilo možno izkoristek povečati s kratkotrajnim drobljenjem izdelanega prahu. Povečevanje tlaka

razprševanja sicer tudi vodi do zmanjševanja povprečne velikosti delcev, vendar nam je zaradi zelo viskozne taline pri visokem tlaku razprševanja prihajalo do zamrzneve taline med atomizacijo. To bi lahko odpravili oziroma optimirali z dvigom temperature predgretja ali povečanjem premera šobe vmesne posode.



Slika 7. Kumulativni krivulji velikostne porazdelitve delcev vodno atomiziranega prahu zlitine SIMAG 400K v odvisnosti od temperature pregretja taline (IMT Ljubljana 1991—vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee).

Figure 7. Cumulative weight percentage plot of particle size distribution of AlNiCo type 400K water atomized powder for two different temperatures of superheating (IMT Ljubljana 1991—Davy Mc Kee D5/2 water atomizer).



Slika 8. Kumulativni krivulji velikostne porazdelitve delcev vodno atomiziranega prahu zlitine SIMAG 1500 v odvisnosti od tlaka razprševalnega sredstva (IMT Ljubljana 1991—vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee).

Figure 8. Cumulative weight percentage plot of particle size distribution of AlNiCo type 1500 water atomized powder for two different atomizing water pressures (IMT Ljubljana 1991—Davy Mc Kee D5/2 water atomizer).

V primeru kvalitete SIMAG 1500 smo zaenkrat reševali samo vprašanje končnega izmeta, ki nastane po mehanski obdelavi. Izmetni izdelki so namreč izredno trdi in jih preko drobljenja praktično ne moremo vrniti nazaj v proces. S preizkusi smo ugotovili, da je možno izdelati uporaben kovinski prah s pretaljevanjem in vodno atomizacijo. Visoka delovna temperatura taline (1650°C) in slaba tekočnost taline je zahtevala skrbno izbiro tehnoloških parametrov atomizacije. Relativno malo število praktičnih preizkusov

temelji na predhodnih izkušnjah s podobnimi materiali in skrbno zastavljenem programu preizkusov.

V primeru kvalitete SIMAG 400K pa smo s praktičnimi preizkusi pripravili vodno atomizirani kovinski prah (predzlitina na osnovi Co - Fe - Nb - Cu - Al) ustrezne kemične sestave. Izdelani kovinski prah omogoča izdelavo kvalitetnih trajnih magnetov, proizvodni postopek njegove izdelave pa ima v primerjavi z obstoječim vrsto prednosti. Kemična sestava predzlitine je izbrana tako, da je v kombinaciji z ostalimi dodatki (Ti hidridni prah je zamenjan s cenejšim Co - Ti - Al ali Ni - Ti - Al prahom) preprečen odgor najbolj reaktivnih elementov med vodno atomizacijo. Zadostno stisljivost mešanice prahov pa smo dosegli z zmanjšanjem vsebnosti Fe v predzlitini oziroma vodno atomiziranem prahu in ga nadomestili z dodatkom cenenega dobro stisljivega Fe prahu (Hoeganaes).

Opozorimo naj še na to, da velika večina razlik med zlitinama 1500 in 400K (tako v postopku atomizacije, kot tudi končnih lastnosti obeh vrst prahov) izvira iz lastnosti taline oziroma izhodne kemične sestave. V primeru zlitine 1500 smo delali namreč s točno določeno končno sestavo, medtem ko smo pri zlitini 400K izdelovali zlitine prilagojenih sestav (z osnovo Fe - Co, brez Ti). Sistematično preizkusno stiskanje (pri tlakih od 600 do 750 MPa ob dodatku 0.5 ut.% voska) in sintranje (v vakuumu 10^{-2} mbar, temperaturnem območju 1350 do 1370°C in časih od 1 do 3 ur) izdelanih vodno atomiziranih prahov smo izvajali v laboratoriju IJS in na industrijskih napravah v ISKRA Magneti. Surova gostota preizkušancev se je gibala med 5.8 in 6 g/cm³. Po sintranju (sintrana gostota preizkušancev se je gibala med 7.05 in 7.25 g/cm³), termomagnetni in mehanski obdelavi smo izmerili magnetne lastnosti izdelanih vzorcev (Permagraph EP-2 Magnet Physik dr. Steingroever GmbH) in jih primerjali z lastnostmi tujih vzorcev in lastnostmi doseženimi po standardnem postopku. Dosežene magnetne lastnosti lahko primerjamo s podobnim komercialnim vzorcem te vrste (glej tabelo 3).

Poudarim le še to, da se je poleg že zgoraj omenjenih prednostih postopka neposredne izdelave prahu z vodno atomizacijo izkazalo, da je vodno atomizirani prah bolj sinterabilen (potrebne so nižje temperature in krajši časi sintranja). Mikrostrukture so lepše, z enakomerno velikostno porazdelitvijo zrn in por, brez diskontinuirane rasti zrn (glej sliki 9 in 10). To vse pa vodi do manjšega sipanja magnetnih in dimenzijskih lastnosti med posameznimi izdelki znotraj ene šarže.

4 Zaključki

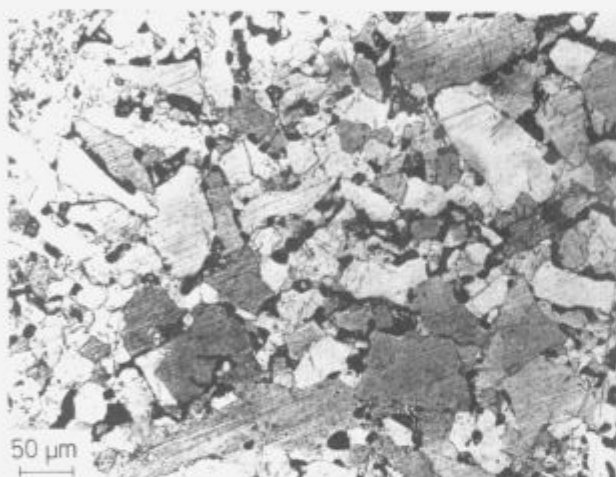
Raziskovali smo pripravo vodno atomiziranih kovinskih prahov, ki so po svoji kemični sestavi in lastnostih primerni za pripravo anizotropnih AlNiCo magnetov. Praktično delo nam je omogočila predvsem nova laboratorijsko pilotna naprava za vodno atomizacijo z induktivnim talilnim sistemom. Določili smo vpliv procesnih parametrov naprave na glavne morfološke lastnosti izdelanega prahu obeh izbranih sestav. Lastnosti izdelanega prahu so v okviru pričakovanj in tehnoloških možnosti postopka vodne atomizacije. Izdelane prahove smo stiskali, sintrali in toplotno obdelali v magnetnem polju pri različnih pogojih tako v laboratoriju, kot tudi na industrijskih napravah. Dosežene magnetne lastnosti obeh materialov so podobne komercialnim vzorcem tega tipa. Pri tem moramo seveda upoštevati, da smo morali izhodno sestavo prilagoditi postopku vodne atomizacije. Tako smo stisljivost prahu povečali z dodatkom čistega železa Hoeganaes, reaktivni Ti in delno Al pa smo

Tabela 3. Magnetne lastnosti sintranih AlNiCo magnetov izdelanih iz vodno atomiziranih prahov.

Material	Magnetne lastnosti			Vsebnost	
	B_r (T)	H_{CI} (kA/m)	$(BH)_{max}$ (kJ/m ³)	ut.% O ₂	ut.% C
Tuj vzorec (Krupp)	0.98	60.0	24.8	0.22	0.035
SIMAG 400K standardni postopek	0.86	52.0	17.6	0.59	0.11
SIMAG 400K nazivne**	0.90	55.5	26.5		
vodna atom. dosežene	1.10	60.0	26.4	0.20	0.06
SIMAG 1500* nazivne**	0.85	118.0	40.0		
dosežene	0.90	124.0	42.0		0.06

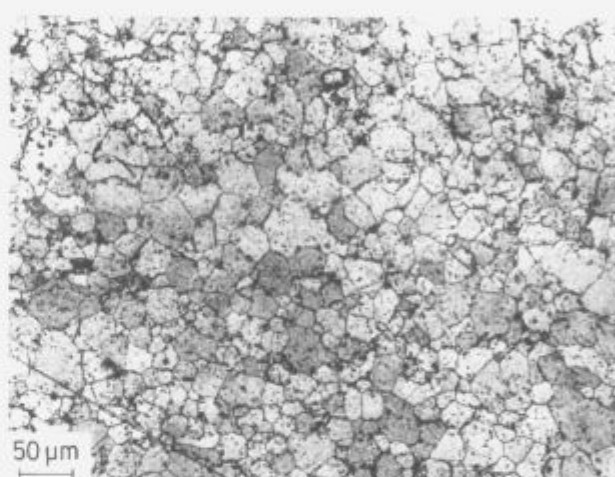
* mešanica 50 ut.% standardni-50 ut.% vodno atomizirani prah

** komercialni katalog ISKRA Magneti



Slika 9. Posnetek mikrostrukture sintranelega vzorca SIMAG 400K izdelanega po standardnem postopku.

Figure 9. Optical micrograph of the typical microstructure of sintered AlNiCo type 400K magnet prepared by standard procedure.



Slika 10. Posnetek mikrostrukture sintranelega vzorca SIMAG 400K izdelanega iz vodno atomiziranega prahu.

Figure 10. Optical micrograph of the typical microstructure of sintered AlNiCo type 400K magnet prepared from the water atomized powder.

dodajali naknadno v obliki tržno dosegljivih prahov zlitin Co – Ti – Al oziroma Ni – Ti – Al.

V nadaljevanju našega razvojno raziskovalnega dela želimo, da bi s sistematičnim delom proces pri izdelavi vodno atomizirane predzlitine za material 400K še optimirali in osvojili postopek izdelave predzlitine tudi za material SIMAG 1500. Istočasno pa želimo primerjalno ugotoviti ali plinsko atomizirani prahovi omogočajo še nadaljne izboljšanje tehnološkega postopka in dvig magnetnih lastnosti.

5 Literatura

- 1 F.V. Lenel: Magnetic Applications, Metal Handbook, 9th edition, Volume 7, Powder Metallurgy, s.: 641.
- 2 F.V. Lenel: Powder Metallurgy—Principles and Applications, MPIF, Princeton, New Jersey, april 1980.
- 3 R.M. German: Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation (MPIF), Princeton, New Jersey, 1984.
- 4 E. Klar in sodelavci: Production of Metal Powders, Metal Handbook, 9th edition, Volume 7, Powder Metallurgy, s.:21.

- 5 J.J. Dunkley: The Production of Metal Powders by Water Atomisation, Powder Metallurgy International, Vol.: 10, No.:1/78.
- 6 B. Šuštaršič, F. Vodopivec, B. Breskvar : Literaturna študija o postopkih metalurgije prahov, Poročila MI Ljubljana, junij 1989.
- 7 J.J. Dunkley, J.D. Palmer: Factors affecting particle size of atomized metal powders, Powder Metallurgy 1986, Vol.: 29, No.: 4
- 8 MPIF: Standard Test Methods for Metal Powders and Powder Metallurgy Products, Metal Powder Industries Federation, Edition 1985/1986, Princeton, New Jersey.