

## Procesi atomizacije kovinskih gradiv in konsolidacija kovinskih prahov — III. del

### Preparation of Metal Powders by Atomization and their Consolidation

B. Šuštaršič, M. Torkar, M. Jenko, B. Breskvar, V. Leskovšek, F. Vodopivec, A. Rodič,  
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, Ljubljana.

*V okviru razvojno raziskovalnega (RR) dela na področju atomizacije kovinskih gradiv in konsolidacije kovinskih prahov smo se na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije (IMT) Ljubljana usmerili predvsem na osvajanje tehnologije izdelave kovinskih prahov, ki so zanimivi za našo strojno oziroma predelovalno industrijo. Tako smo raziskovali pripravo kovinskih prahov na osnovi kobalta primernih za plamensko ali plazemsko navarjanje in naprševanje (nabrizgavanje). Te vrste prahov v večini primerov izdelujejo s postopkom plinske atomizacije, vendar so naše raziskave in dosežene lastnosti prahov izdelanih s cenejšim postopkom pokazale, da bi bili tudi vodno atomizirani prahovi lahko primerni za ta namen uporabe. Poseben izziv so tudi atomizirani prahovi za mehko in trdo spajkanje. Tako smo del našega RR dela posvetili tudi osvajanju izdelave vodno atomiziranih spajk na osnovi bakra za trdo spajkanje v vakuumu, delov hitroreznih jekel na konstrukcijska jekla in spajkam, ki se uporabljajo v elektroniki in elektrotehniki na osnovi Cu-P in Ag. Prav tako smo pričeli s preliminarnimi raziskavami možnosti uporabe postopka vodne atomizacije za izdelavo prahov na osnovi kobalta in železa, primernih za izdelavo AlNiCo trajnih magnetov. Začetni rezultati so vzpodbudni zato bomo z RR delom nadaljevali.*

*Zadnji del našega razvojno raziskovalnega dela na področju osvajanja tehnologije sintranih AlNiCo trajnih magnetov sodi že na drugo tematsko področje naše RR naloge, to je konsolidacijo kovinskih prahov. V okviru tega področja smo nadaljevali tudi z osvajanjem izdelave popolnoma zgoščenih hitroreznih in nerjavnih jekel iz doma izdelanih vodno atomiziranih prahov.*

*Ključne besede: metalurgija prahov (PM), izdelava kovinskih prahov, vodna atomizacija, prahovi na osnovi Co za navarjanje in naprševanje s plazmo, kovinski prahovi za trdo in mehko spajkanje, zgoščevanje kovinskih prahov (Alnico magneti, PM hitrorezna in nerjavna jekla)*

*The purpose of our R&D work on the preparation of different water atomized powders and their consolidation is to become acquainted with the PM technology and to establish the applicability of water atomization for the preparation of different complex metal powders that are applicable to our industry.*

*The preparation of water atomized Co-base hardfacing alloy-powders, type F and 6 was investigated. The physico-chemical properties of the prepared powders depending on the main influential parameters of the water atomization process were determined. The prepared water atomized Co base alloy-powders have a relatively regular spherical shape, suitable particle mean diameter and size distribution, a relatively high apparent density and a good flowability, especially the F alloy type at a lower atomizing water pressure (40 bars). These properties show that Co-based water atomized powders manufactured at a careful selection of the chemical composition and parameters of water atomization could be used for hardfacing process in a weak reductive atmosphere, such as it is the plasma transferred arc (PTA) surfacing or welding process. This has also been confirmed by our preliminary practical PTA surfacing experiments which we intend to continue. In this part of the R&D work also some experiments and investigations about the preparation of different water atomized powders for brazing and soldering (Cu-Ni, Cu-Cr, Cu-P and Ag base alloys) were made.*

*The preliminary investigations of water atomized Fe-Co alloyed powders and their consolidation are made, too. The results of these investigations show that water atomized Fe-Co powders could be useful for the preparation of Alnico magnets. Also the experiments (CIP + sintering + hot forging) to prepare full dense PM samples from the water atomized high speed (HSS) M-2 type steel powders are continued.*

*Key words: powder metallurgy (PM), powder preparation methods, water atomization, Co-base powders for PTA surfacing and spraying, powders for soldering and brazing, consolidation of metal powders (Alnico magnets, PM high speed and stainless steels)*

## 1 Uvod

Razvojno raziskovalno delo (v okviru MZT projekta: Fizikalni procesi v trdnih kovinskih gradivih (URP C2-2557) oziroma tematskega sklopa: Procesi atomizacije kovinskih gradiv in konsolidacija kovinskih prahov), opravljeno v prvi in drugi fazi naloge<sup>1,2</sup> smo nadaljevali v tretji fazi<sup>6</sup> z osvajanjem tehnologije izdelave kovinskih prahov za spajkanje in navarjanje ter konsolidacije kovinskih prahov Fe-Co in hitroreznih jekel. RR delo smo si tako kot v preteklosti razdelili na dva podsklopa:

- študij procesov atomizacije kovinskih gradiv z osvajanjem izdelave kovinskih prahov zanimivih za našo industrijo in
- študij postopkov konsolidacije kovinskih prahov.

V nadaljevanju poskušamo na kratko v informativni obliki opisati delo opravljeno v III. fazi naloge.

## 2 Procesi atomizacije kovinskih gradiv

Namen našega RR dela na tem področju je osvajanje tehnologije izdelave različnih vrst zahtevnih kovinskih prahov z razpoložljivim postopkom vodne atomizacije. Istočasno pomeni to delo tudi teoretični študij mehanizmov procesa atomizacije in s tem usposabljanje za še zahtevnejše ter tudi dražje postopke izdelave kovinskih prahov (plinska atomizacija itd.). Ti postopki so vezani na nabavo drage tuje opreme ali razvoj in izdelavo lastnih naprav, kar je pogosto hud zalogaj. Vendar pa je metalurgija prahov ena od najučinkovitejših industrij za proizvodnjo izdelkov iz novih modernih materialov (angl.: Advanced Materials<sup>3</sup>), ki ji moramo slediti, če želimo v korak z razvitim zahodom. Razumljivo je, da se ta dejstva ne nanašajo samo na tehnologijo izdelave kovinskih prahov temveč tudi na njihovo konsolidacijo, v kolikor ne gre, za neposredno uporabo kovinskega prahu, temveč tudi izdelavo končnega delno ali popolnoma zgoščenega PM izdelka.

### 2.1 Kovinski prahovi za mehko in trdo spajkanje

Kovinski prahovi se pogosto uporabljajo kot dodatni materiali pri mehkem in trdem spajkanju, ker imajo v primerjavi z dodatnim materialom v obliki žice, folije ali elektrode določene prednosti. Pri trdem spajkanju (angl.: brazing) je tališče dodatnega materiala (v našem primeru v obliki kovinskega prahu) nad 450°C in pod solidusom osnovne kovine oziroma materialov, ki jih spajamo. Pri mehkem spajkanju (angl.: soldering) pa je tališče dodatnega materiala pod 450°C in pod solidusom materialov, ki jih spajamo. V vseh primerih pri segrevanju na željeno temperaturo in samem spajkanju uporabljamo še primerne dodatke (talila), zaščitno atmosfero ali vakuum, tako da pride zaradi delovanja kapilarne sile do primernega omakanja in porazdelitve raztaljenega dodatnega materiala na stičnih površinah, ki jih spajamo. Večina kovinskih prahov, ki se uporabljajo za mehko ali trdo spajkanje je izdelanih s postopki atomizacije<sup>4</sup>.

Na IMT Ljubljana se že nekaj časa intenzivno ukvarjamo z vakuumskim trdim spajkanjem delov hitroreznih jekel na osnovo iz konstrukcijskega jekla<sup>5</sup>. V ta namen se uporabljajo predvsem spajke na osnovi Cu, Ni-Cr in Co zlitine. Tako smo v preteklem obdobju zato, da bi v celoti obvladovali to tehnologijo osvajali tudi tehnologijo izdelave vodno atomiziranega prahu-zlitine Cu 2% Ni, kot osnovo za spajko primerno za vakuumsko spajkanje hitroreznih

jekel na konstrukcijska jekla. Preizkusi spajkanja še niso končani, zato bomo podali samo nekaj osnovnih značilnosti izdelanega vodno atomiziranega prahu. Izdelani prahovi so dobro tekoči, saj imajo pravilno oblikovane delce s povprečno velikostjo delcev med 45 in 55 μm pri tlaku razprševalnega sredstva 120 barov, relativno nizko vsebnost kisika in visoko nasiplno gostoto, kar vse kaže na to, da izdelava primernih vodno atomiziranih prahov na osnovi Cu ne bi smela biti problematična.

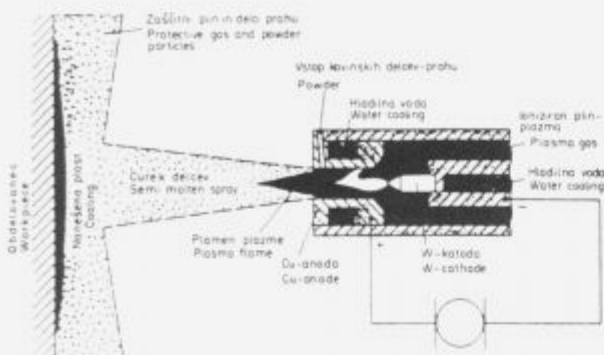
Poleg teh prahov smo osvajali tudi izdelavo vodno atomiziranih prahov primernih za spajkanje v elektrotehniko in elektroniki. Tako smo delali preizkave na materialu Cu-Sn-P-Ni s 6% Ni, 10% Sn in 8,5% P, materialu Cu-Ni-P-Sn z 9% Ni, 4% Sn in 9% P ter materialu L-Ag15P s 15% Ag, 5% P in 80% Cu. Zaradi prostorskih omejitev članka se v podrobnosti osvajanja tehnologije izdelave teh in drugih vrst prahov ne bomo spuščali, možno pa jih je najti v obsežnem zaključnem poročilu<sup>6</sup>.

### 2.2 Kovinski prahovi za navarjanje in naprševanje

Že v letu 1974 so v ZR Nemčiji izvedli študijo, ki je pokazala, da so stroški zaradi obrabe strojnih delov približno 10 milijard DEM letno<sup>7</sup>. Pri tem niso upoštevali tudi posledičnih stroškov, ki nastanejo zaradi zastojev in popravil zaradi poškodb pri odpovedi strojnega dela itd. Zaključimo lahko sami, da podobno velja tudi za strojne dele, ki so izpostavljeni močnim korodirnim medijem. Podobne raziskave so nekaj prej potekale tudi v ZDA. Na osnovi teh študij so v razvitem svetu pričeli posvečati izredno veliko pozornost zaščiti strojnih delov pred obrabo in korozijo. Pri reševanju teh problemov so prišli v večini primerov do zaključka, da je najceneje izdelati strojni del iz materiala, ki še izpolnjuje osnovne trdnostne zahteve uporabe in ga nato prekriti z zaščitno plastjo samo na mestih, ki so izpostavljeni obrabi, koroziji ali celo obema vplivoma. Poleg klasičnih difuzijskih postopkov, postopkov kemičnega in fizikalnega nanašanja (CVD in PVD-angl.: chemical and physical vapor deposition) so se v svetu v zadnjem času za določene vrste uporabe uveljavili postopki nanašanja prahov z navarjanjem in naprševanjem (angl.: thermal spraying, nem.: thermische Spritzverfahren). Tako je eno najpomembnejših področij neposredne uporabe kovinskih prahov postalo plamensko in plazemsko naprševanje oziroma nanašanje korozijsko ali obrabno obstojnih plasti. Zato je logično, da smo del svojih RR aktivnosti usmerili tudi na področje osvajanja izdelave te vrste kovinskih prahov. Na sliki 1 je shematično prikazan postopek nanašanja kovinskega prahu s plazemskim naprševanjem (angl.: plasma spraying). Drugi pomembnejši postopek pa je navarjanje s plazmo (angl.: PTA — Plasma Arc Transferred Process, nem.: Plasma Auftragschweißen), ki se razlikuje od plazemskega naprševanja predvsem po tem, da nastaja oblok med volframsko elektrodo in obdelovancem.

Za naše raziskave smo si izbrali dve zlitini na osnovi Co, ki sta po sestavi približen ekvivalent zlitinama tip F in 6 (Deloro Stellite F in Stellite 6)<sup>8,9</sup>. Prva izbrana zlitina je vsebovala približno 39 ut.% Co (imenovali smo jo Milit F), druga pa 60 ut.% Co (imenovali smo jo Milit 6).

Izdelani prah je, predvsem pri nižjih tlakih razprševalnega sredstva, relativno pravilne oblike z rahlo oksidirano površino zaradi prisotnosti elementov z veliko afiniteto do kisika (Cr). Relativno pravilna oblika delcev izdelanega prahu potrjuje dostikrat v literaturi<sup>10</sup> zanemarjeno dejstvo, da je možno nekatere vrste materialov tudi s postopkom vodne atomizacije oblikovati v prah z delci pravilne ob-



**Slika 1.** Shematični prikaz nanašanja obrabno ali korozijsko obstojnih plasti s plazemskim napeševanjem kovinskega prahu.  
**Figure 1.** Schematic presentation of the hardfacing process by plasma spraying<sup>7</sup>.

like. Na obliko delcev namreč drastično vpliva površinska napetost zlitine in narava oksidnega filma na površini raztaljenih delcev, ki nastane med atomizacijo. Pričakujemo lahko, da bodo delci prahu nepravilne oblike, če je kemična sestava zlitine takšna, da vsebuje reaktivne elemente, ki tvorijo trdne okside z višjim tališčem kot je temperatura pregretja taline pred atomizacijo. Dodatki bora in silicija v takimenovanih samo omočljivih zlitinah-prahovih, pospešujejo nagnjenost h tvorbi delcev pravilne oblike med vodno atomizacijo.

Preseneča dejstvo, da smo pri zlitini Milit 6, ki ima mnogo višjo vsebnost Co, pri enakem tlaku razprševalnega sredstva, dobili prah z delci manj pravilne oblike, kljub nižji vsebnosti kisika v prahu. Na to vpliva verjetno višja vsebnost C in Ni v Militu F pri praktično enaki vsebnosti Cr, ki ima veliko afiniteto do kisika in tvori tudi okside z visokim tališčem. To pomeni, da je tudi pri zlitinah na osnovi Co potreben selektiven pristop pri izbiri postopka izdelave prahu z ozirom na celokupno kemično sestavo zlitine. Na sliki 2 so prikazani rezultati določevanja tekočnosti obeh vrst izdelanih prahov pri posameznih tlakih razprševalnega sredstva. Rezultati kažejo, da imamo delce z najpravilnejšo obliko pri najnižjem preizkusnem tlaku in da ima zlitina Milit F pravilneje oblikovane delce pri vseh preizkusnih tlakih atomizacije. Na sliki 3 vidimo posnetek (presek) delca prahu, izdelanega na optičnem mikroskopu z značilno dendritno strjevalno strukturo. Razdalja med sekundarnimi dendritnimi vejami, ki v praksi služi za oceno hitrosti ohlajanja<sup>11</sup>, je bila pri izdelanih prahovih reda velikosti 0.1 do 1 μm.

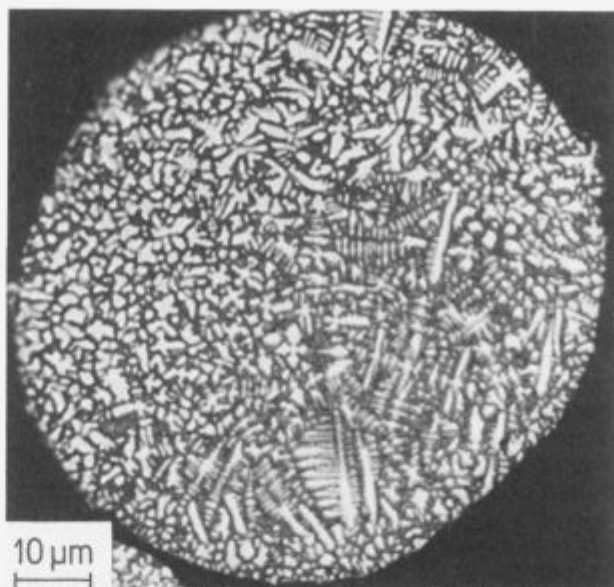
Praktične meritve velikostne porazdelitve delcev kažejo, da imamo tudi pri atomizaciji z našo napravo dva ločena stadija dezintegracije. Na to kaže dvojna (bimodalna) velikostna porazdelitev delcev pri vseh preizkusnih tlakih atomizacije. Z regresijsko analizo izračunana eksponentna krivulja odvisnosti povprečne velikosti delcev od tlaka vode:

$$d_{50} \approx 1780 \cdot P_{H_2O}^{-0.65} \quad (1)$$

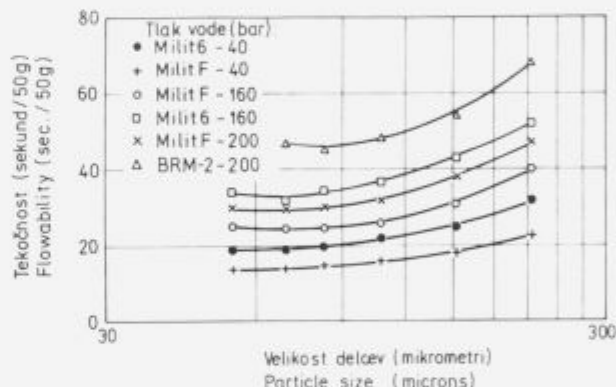
pa kaže, da smo dobili dobro odvisnost, s katero je že možno vsak trenutek napovedati okvirno povprečno velikost delcev in porazdelitveno krivuljo vodno atomiziranih prahov.

### 3 Zgoščevanje kovinskih prahov

V okviru teme: konsolidacija kovinskih prahov, smo se posvetili predvsem postopkom zgoščevanja predhodno izde-



**Slika 2.** Posnetek delca prahu na optičnem mikroskopu. Milit F; frakcija 75–90 μm. Jedkano v zlatotopki.  
**Figure 2.** Optical micrograph representing the typical dendritic cross-sectional structure of the Milit F powder particle, fraction size 75–90 μm, etched in aqua regia.



**Slika 3.** Tekočnost vodno atomiziranih prahov po posameznih velikostnih razredih pri različnih tlakih razprševalnega sredstva (material Milit F, Milit 6 in BRM-2, vodni atomizer Davy Mc Kee, IMT Ljubljana).

**Figure 3.** Flowability of water atomized powders vs. particle size (fractions) for different water pressures (Milit F and 6 Co-base alloys, HSS type M-2, Davy Mc Kee D5/2 water atomizer, IMT Ljubljana).

lanih vodno atomiziranih prahov primernih za AlNiCo magnetne in nadaljevanju osvajanja tehnologije zgoščevanja hitroreznih jekel do popolne zgostitve. V zadnjem času se je pojavila tudi potreba po razvoju tehnologije zgoščevanja vodno atomiziranih nerjavnih feritnih jekel s sintranjem, tako da smo del aktivnosti posvetili tudi temu področju, vendar bomo o tem poročali kasneje, ko bo na razpolago več rezultatov. Zaradi prostorske omejitve članka se v podrobnosti osvajanja tehnologije konsolidacije ne bomo spuščali, možno pa jih je najti v že omenjenem zaključnem poročilu<sup>6</sup>. Poudarimo naj le, da je izbrana smer osvajanja postopkov zgoščevanja: hladno izostatsko stiskanje (CIP), sintranje v vakuumu, vroča ekstruzija ali kovanje, kot najprimernejša tehnologija konsolidacije vodno atomiziranih prahov hitroreznih jekel, medtem ko se Alnico pra-

hovi zgoščujejo preko avtomatskega stiskanja v orodju in sintranja.

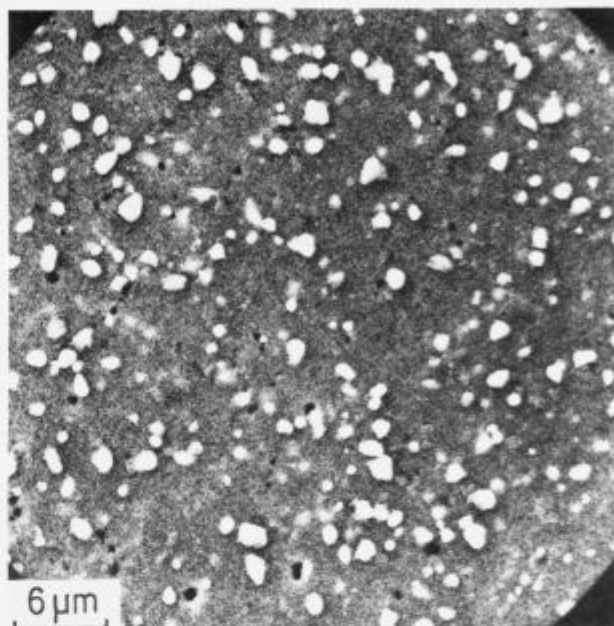
CIP vzorce prahov hitroreznih jekel smo sintrali na IMT v vakuumu pri 1180° do 1270°C/1uro. Vsi vodno atomizirani prahovi hitroreznih jekel so imeli nepravilno obliko delcev. Posledica je slaba tekočnost teh prahov v primerjavi s prahovi za navarjanje (glej **sliko 3**). Po preizkusih sintranja smo se odločili tudi za preliminarno preizkuse kovanja v orodju na hitrohodnem kladivu. Kovanje smo izvedli v Železarni Ravne na s sintranjem do 95% teoretične gostote (T.G.) zgoščenih vzorcih. Celokupna stopnja deformacije je znašala  $\delta = A_0/A_1 \approx 5.30$ . V nadaljevanju eksperimentalnega dela na področju vročega kovanja bomo morali poskrbeti za večje vzorce, hitrejše segrevanje vzorcev (električno uporovno ali induktivno) in primerno zaščito pred oksidacijo površine. Poizkušali bomo izvesti popolno zgostitev hitroreznih jekel tudi s postopkom vročega ekstrudiranja.

Po kovanju je bilo jeklo ohlajano na zraku. Iz metalografskih in REM posnetkov je bilo videti kaljeno martenzitno osnovo (57 do 59 HRC) z enakomerno porazdelitvijo primarnih karbidov vrste  $M_6C$  in MC. Dosežena je skoraj popolna zgostitev z redkimi porami na mejah med kristalnimi zrnji enakega reda velikosti kot so primarni karbidi. Sekundarni karbidi v kovanem stanju niso bili prisotni. Vzorci so bili po kovanju tudi toplotno obdelani v IPSENOVI peči. Izvedli smo standardni postopek vakuumskega mehkega žarjenja (840°C/2uri + 680°C/2uri) in poboljšanja (austenitizacija 1150°C/2', kaljenje do 100°C pod tlakom dušika-5 barov, 3× popuščano na 540°C/1uro). Po obeh vrstah toplotne obdelave smo izvedli pregled mikrostrukture in izmerili trdoto vzorcev. Po mehkem žarjenju je bil praktično ves C vezan na karbide. Mikrostrukturo lahko definiramo kot karbide v feritni osnovi (18 do 24 HRC), poleg primarnih karbidov so bili izločeni izredno drobni karbidi tipa  $M_{23}C_6$ . V poboljšanem stanju so se na temperaturi austenitizacije sekundarni karbidi popolnoma raztopili. Mikrostrukturni pregled vzorcev kaže (glej **sliko 4**) enakomerno porazdelitev primarnih karbidov velikosti 0.5 do 2  $\mu m$  tip  $M_6C$  in MC v popuščanem martenzitu. Primarni karbidi so bili v primerjavi s karbidi v sintranem in kovanem stanju enakega reda velikosti (ni prišlo do večje rasti med ponovnim ogrevanjem). Vzorci so po poboljšanju imeli trdoto 60 do 61 HRC.

#### 4 Zaključki

Opis opravljenega razvojno raziskovalnega dela v okviru tretje faze naše RR naloge lahko strnemo v naslednjih zaključkih:

- Zaradi potreb domače industrije smo se delno preusmerili v razvoj vodno atomiziranih prahov-zlitin za trdo in mehko spajkanje. S tem smo poizkušali kompletirati predvsem tehnologijo vakuumskega trdega spajkanja hitroreznih jekel na osnovo iz konstrukcijskega jekla, ki je razvita na IMT Ljubljana in zapolniti praznino, ki obstaja pri nas na področju spajk za elektroniko in elektrotehniko.
- Določili smo vpliv procesnih parametrov vodne atomizacije na glavne morfološke lastnosti izdelanih prahov na osnovi Co. Na osnovi preizkusov smo s pomočjo regresijske analize določili empirično enačbo odvisnosti povprečne velikosti delcev prahov od tlaka razprševalnega sredstva. Bimodalna velikostna porazdelitev delcev prahu kaže na to, da na naši napravi



**Slika 4.** REM posnetek mikrostrukture PM BRM-2 (sintrano + kovano) v poboljšanem stanju.

**Figure 4.** SEM micrograph of the microstructure of PM M-2 type HS steel (sintered+forged) as hardened/tempered.

potekata dva ločena stadija dezintegracije, neodvisno od vrste materiala in oblike delcev izdelanega prahu. V literaturi<sup>4</sup> zasledimo, da se uspešno vodno atomizirajo predvsem obrabno odporne zlitine-prahovi na osnovi Ni (zlitine Ni-Cr-B-Si), medtem ko navajajo, da so prahovi-zlitine na osnovi Co v večini primerov izdelani s postopkom plinske atomizacije. Dosežene lastnosti prahov, izdelanih s cenejšim postopkom, na naši laboratorijsko pilotni napravi in tudi prvi praktični preizkusi navarjanja s plazmo pa kažejo na to, da bi bili ob primernem (selektivnem) izboru kemičnih sestav, tudi vodno atomizirani prahovi na osnovi Co, lahko primerni za plamensko oziroma plazemsko navarjanje in naprševanje. V kolikor bomo uspeli zagotoviti tudi nadaljevanje praktičnih preizkusov navarjanja ali naprševanja s plazmo bomo z začetim RR delom vsekakor nadaljevali. Tu vidimo interes predvsem pri Železarni Jesenice, ki bi lahko svoj varilni program elektrod dopolnila tudi s prahovi.

- Preliminarno smo pričeli tudi z raziskovanjem priprave vodno atomiziranih kovinskih prahov na osnovi Fe-Co in njihove konsolidacije. Ti prahovi so po svoji kemični sestavi in lastnostih primerni za pripravo anizotropnih AlNiCo magnetov. Začetni rezultati in dosežene lastnosti so vzpodbudne, zato bomo z RR delom ob ustreznem interesu podjetja Iskra Magneti nadaljevali v okviru samostojnega raziskovalnega projekta.
- Nadaljevali smo tudi z že v predhodnih fazah pričetim delom na področju konsolidacije vodno atomiziranih prahov hitroreznih jekel. Na tem področju smo se usmerili predvsem na preizkuse vročega kovanja hladno izostatsko stisnjenih in v vakuumu sintranih vzorcev vodno atomiziranih prahov BRM-2 jekla. Izdelani so skoraj popolnoma zgoščeni vzorci PM BRM-2 hitroreznega jekla ( $\approx 99\%$  teoretične gostote), izdelana je osnovna mikrostrukturna karakterizacija vzorcev

in določena njihova trdota v sintranem, kovanem in toplotno obdelanem stanju. Za določitev drugih pomembnih mehanskih lastnosti izdelanega materiala (lomne žilavosti, natezne trdnosti) bomo v nadaljevanju našega RR dela morali pripraviti večje vzorce. Vzporedno bomo poizkukovali najti primerno napravo za izvedbo preizkusov vročega ekstrudiranja.

## 5 Literatura

- <sup>1</sup> B. Šuštaršič, F. Vodopivec, D. Gnidovec, J. Rodič, A. Rodič, V. Leskovšek, A. Kokalj, B. Rudolf: Procesi atomizacije kovinskih gradiv in konsolidacija kovinskih prahov, 1. del, Poročila MI v Ljubljani, URP: Fizikalni procesi v trdnih kovinskih gradivih (C2-2557), Ljubljana, december 1989, s. 1/29.
- <sup>2</sup> B. Šuštaršič, M. Torkar, M. Jenko, B. Breskvar, V. Leskovšek, F. Vodopivec: Procesi atomizacije kovinskih gradiv in konsolidacija kovinskih prahov, 2. del, Poročila MI v Ljubljani, URP: Fizikalni procesi v trdnih kovinskih gradivih (C2-2557), Ljubljana, december 1990, s. 1/43.
- <sup>3</sup> H.E. Exner, V. Schumacher: Advanced Materials and Processes, Vol.: 1 in 2, Proceedings of the first European Conference on Advanced Materials and Processes, EUROMAT '89, DGM Germany.
- <sup>4</sup> Davy McKee: Special Metal Powder Service, Powders for Hardfacing and Weld Surfacing, Powder Metallurgy, Silver Brazing Alloys, Stainless Steel Powders, Metal Powders for Brazing in drugi komercialni prospekti podjetja Davy McKee.
- <sup>5</sup> V. Leskovšek, D. Kmetič, J. Gnamuš, G. Rihar: High Temperature Vacuum Brazing of HSS on Construction Steel with simultaneous Heat Treatment, Vuoto, Vol. XX, No. 2, IV/VI 1990.
- <sup>6</sup> B. Šuštaršič, M. Torkar, M. Jenko, B. Breskvar, V. Leskovšek, F. Vodopivec, A. Rodič: Procesi atomizacije kovinskih gradiv in konsolidacija kovinskih prahov, 3. del, Poročila IMT v Ljubljani, URP: Fizikalni procesi v trdnih kovinskih gradivih (C2-2557), Ljubljana, december 1991, s. 1/44.
- <sup>7</sup> Boehler Oberflaechentechnik, Boehler Metallpulver — Pulvermetallurgisches, schweiss und spritztechnisches Know How aus einer Hand, komercialni prospekti.
- <sup>8</sup> B. Kishor, M. Kulkarni: Metal Powders Used for Hardfacing, Metal Handbook, 9<sup>th</sup> edition, Volume 7, Powder Metallurgy, s. 823/836.
- <sup>9</sup> Stellite, State of the Art — Hardfacing and Thermal Spray Powders, Jet Kote Surfacing Systems and Starweld PTA Surfacing Systems, komercialni prospekt podjetja Stellite Coatings Division — SDS Inc.
- <sup>10</sup> J.J. Dunkley, J.D. Palmer: Factors affecting particle size of atomized metal powders, Powder Metallurgy 1986, Vol. 29, No. 4.
- <sup>11</sup> G.H. Gessinger: Powder Metallurgy of Super alloys, Butterworths Monographs in Materials, BBC Brown Boveri and Co. Ltd, Switzerland, 1984.