

IZDELAVA PRAHOV HITROREZNIH JEKEL Z VODNO ATOMIZACIJO

Borivoj Šuštaršič, dr. Matjaž Torkar, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 61001 Ljubljana

Materiali, izdelani na osnovi upraševanja kovinskih talin, imajo v primerjavi s konvencionalnimi postopki vrsto prednosti, saj imajo lastnosti, ki jih prej praktično ni bilo mogoče doseči /1,2/. Kot primer vzemimo hitrorezna jekla, izdelana po postopkih metalurgije prahov (PM - angl.: Powder Metallurgy), ki imajo izredno kemijsko homogeno in drobno zrnato mikrostrukturo z enakomerno porazdelitvijo drobnih karbidov pravih oblik. Takšna jekla so zato dimenzijsko stabilna med toplotno obdelavo in se tudi lažje mehansko obdelujejo. PM jekla imajo večje žilavosti pri ohranjeni ali celo višji trdoti in so zato bolj odporna proti obrabi /3/. Najbolj pomembno pa je, da nekaterih vrst materialov po postopkih konvencionalne metalurške prakse ni možno izdelati /2/. Cilj našega razvojno raziskovalnega dela je zato osvajanje tehnologije izdelave različnih vrst zahtevnih kovinskih prahov in nato njihova popolna konsolidacija (zgostitev) v sodobne materiale, kot so na primer: hitrorezna jekla, super zlitine, psevdo zlitine itd., v obliki palic ali lamel, namenjenih za preizkuse ali nadaljnjo predelavo. S tem bi lahko postopno prenašali osvojene tehnologije v redno proizvodnjo slovenskih železarn in drugih podjetij metalurške ali strojno predelovalne stroke.

Ne smemo pa pozabiti, da kovinske prahove ne uporabljamo samo za zgoščevanje in s tem izdelavo PM izdelkov končnih oblik in lastnosti, temveč jih uporabljamo tudi v svoji osnovni obliki, to je kot kovinski prah (dodatki barvam in črnilom, goriva, vžigala, eksplozivi, prahovi za navarjanje, spajkanje in lotanje, plamensko in plazemsko naprševanje itd.) /1,4,5/. Eno najpomembnejših področij neposredne uporabe kovinskih prahov je plamensko in plazemsko naprševanje oziroma nanašanje korozijsko ali obrabno obstojnih plasti. Postopek je razširjen na mnogih področjih, predvsem pa v avtomobilski industriji za navarjanje trdih, pri povišanih temperaturah obrabno odpornih plasti na sesalne in izpušne ventile (zlitine na osnovi Co z dodatki Cr, Ni in W). Razvojno raziskovalno delo za izdelavo kovinskih prahov bo omogočalo bodočim proizvajalcem prahov ali njihovim odjemalcem izbrati najboljšo tehnologijo izdelave oziroma vrste prahu.

V laboratoriju za metalurgijo prahov in hitro strjevanje Inštituta za kovinske materiale in tehnologije v Ljubljani (nov naziv za Metalurški inštitut Ljubljana) smo z namestitvijo nove pilotne naprave za izdelavo kovinskih prahov z vodno atomizacijo in laboratorijske naprave za ulivanje amorfnih in mikrokristaliničnih trakov pridobili orodje za vključevanje v razvoj novih materialov, izdelanih po postopkih PM.

V pričujočem prispevku je podan kratek pregled najpomembnejših postopkov izdelave kovinskih prahov, s poudarkom na izdelavi kovinskih prahov z vodno atomizacijo. Kratko je predstavljeno tudi praktično opravljeno delo na sistematičnem ugotavljanju vpliva procesnih parametrov vodne atomizacije na lastnosti izdelanih prahov hitroreznih jekel.

1. POSTOPKI IZDELAVE KOVINSKIH PRAHOV

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 oziroma metode izdelave prahov na: fizikalne, kemične in mehanske. Omejili se bomo le na kratek opis fizikalnih postopkov izdelave kovinskih prahov, ker kemične (izločanje, disociacija, elektroliza itd.) in mehanske metode (drobljenje, mletje) izdelave sodijo med konvencionalne tehnologije in ne pomenijo tako imenovane tehnologije hitrega strjevanja (RST - angl.: Rapid Solidification Technology), ki omogoča izdelavo materialov s posebnimi lastnostmi. Fizikalne metode izdelave kovinskih prahov so tudi najbolj razširjene in zato tudi najpomembnejše. To so postopki upraševanja kovinskih talin z razprševanjem ali atomizacijo. Bistvo vseh teh postopkov je neposredno oblikovanje prahu z razprševanjem raztaljene kovine.

1.1 PLINSKA ATOMIZACIJA

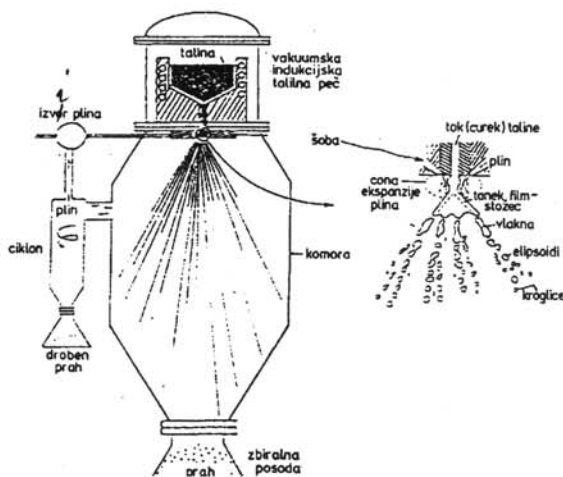
Pri plinski atomizaciji se kot razprševalno sredstvo uporablja inertni plin (dušik, argon ali helij - angl.: inert gas atomization), v nekaterih primerih tudi zrak. Razlikujemo horizontalne in vertikalne naprave za plinsko atomizacijo. Horizontalne naprave uporabljamo v glavnem za izdelavo kovinskih prahov z nižjim tališčem. Pri proizvodnji kovinskih prahov z višjim tališčem in tam, kjer je pomembno, da ne pride do oksidacije prahu, navadno uporabljamo vertikalne zaprte plinske atomizerje. Na **sliki 1** je shematično prikazana plinska atomizacija z vertikalno napravo in princip razprševanja raztaljene kovine.

Glavni značilnosti plinsko atomiziranega prahu sta pravilna (kroglična) oblika delcev in relativno široka velikostna porazdelitev. Na lastnosti izdelanega prahu vplivajo naslednji procesni parametri: vrsta kovine ali zlitine, temperatura pregretja nad tališčem, vrsta razprševalnega sredstva, njegov tlak in hitrost, gabariti naprave in način razprševanja (število in razporeditev šob, premer šob, kot razprševanja itd.). V glavnem

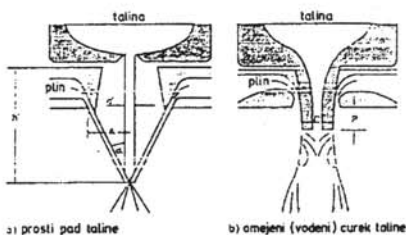
uporablamo dva načina razprševanja: s prostim padom curka talin in z vodenim curkom taline (glej sliko 2).

1.2 VODNA ATOMIZACIJA

Vodna atomizacija je najbolj uporabljena tehnologija za izdelavo kovinskih prahov, katerih tališče je pod 1600°C. Slika 3 prikazuje shematično proces vodne atomizacije. Vodo neposredno vbrizgavamo v curek kovinske taline skozi eno ali več šob. Proces je podoben plinski atomizaciji, razlikuje se le po hitrosti ohlajanja, ki je posledica lastnosti razprševalnega sredstva. Posledica visoko tlačnega vbrizgavanja vode v curek taline je razpršitev taline v drobne delce (kapljice) in hitro strjevanje. Izdelani kovinski prah je v večini primerov nepravilne oblike, stopnja oksidacije površine delcev pa je odvisna predvsem od kemijske sestave raztaljene kovine ali zlitine. Oksidacijo prahu lahko delno zmanjšamo z uvajanjem zaščitnega plina v komoro atomizerja. Tlak vode je eden od glavnih vplivnih parametrov vodne atomizacije. V splošnem pomeni višji tlak večje hitrosti vode, posledica so dróbnejši delci prahu. Oddaljenost šobe od taline je pri vodni atomizaciji manj pomembna kot pri plinski, ker je stisljivost vode v primerjavi s plinom zanemarljiva.



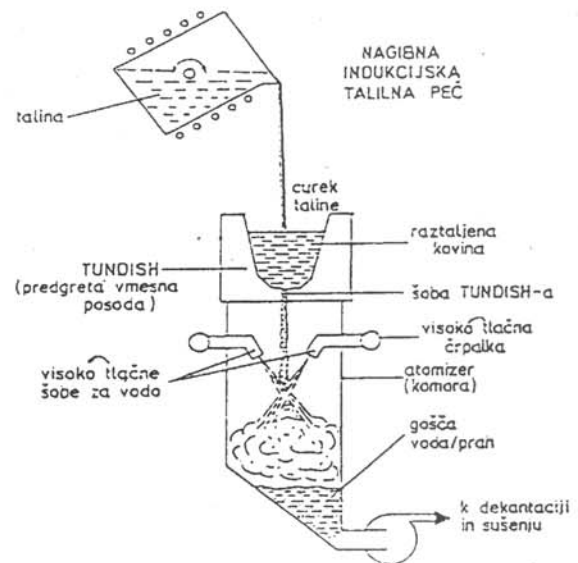
Slika 1: Vertikalni plinski atomizer. Na desni je prikazan detajl razprševanja taline in oblikovanje delcev prahu [4]



Slika 2: Prikaz razprševanja taline pri plinski atomizaciji [4,5]: a) s prostim padom curka taline in b) z omejenim curkom taline.

Materiali, ki se do sedaj uspešno vodno atomizirajo so: nerjavna in hitrorezna jekla, korozijsko in obrabno odporne zlitine-prahovi za plamensko in plazemsko naprševanje, PM zlitine na osnovi bakra, nekatere superzlitine, spajke in dentalne zlitine.

Izdelava prahov s plinsko atomizacijo in njihova konsolidacija ima pred vodno atomizacijo sicer določene prednosti, vendar je cenovno v celoti gledano mnogo dražja. Postopek vodne atomizacije omogoča tudi večje hitrosti ohlajanja in zato izdelavo specialnih zlitin, ki pa naj bi praviloma bile sestavljene iz elementov z nižjo afiniteto do kisika. Ker so vodno atomizirani prahovi praviloma nepravilne oblike, se lažje stiskajo v kompaktne surovce in zgoščujejo s sintranjem in vročim ekstrudiranjem. Plinsko atomizirani prahovi so "tekoči", ker so delci prahu pravilne - kroglične oblike, in se navadno zgoščujejo neposredno z vročim izostatskim stiskanjem.

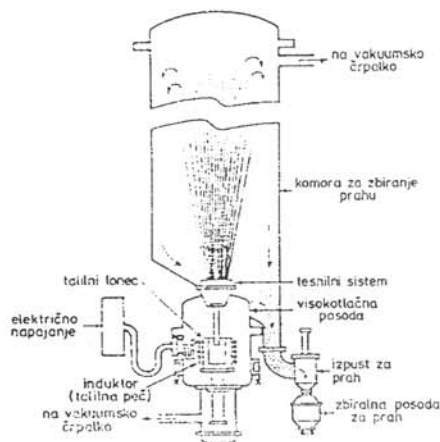


Slika 3: Shematični prikaz delovanja pilotne naprave za vodno atomizacijo D5/2 Davy McKee [3] na IKMT Ljubljana.

1.3 VAKUUMSKA ATOMIZACIJA

Ta postopek so razvili pri podjetju Homogeneous Metals Inc. Osnova je hitra ekspanzija raztopljenega plina v nizekotlačni komori. Naprava za vakuumsko atomizacijo (angl.: vacuum atomization or soluble-gas process) je prikazana na sliki 4. Naprava je sestavljena iz spodnje manjše talilne komore, v kateri je nadtlak ali vakuum, in zgornje, večje ekspanzijske komore, v kateri je vakuum (pod 10 mbar). Kovina ali zlitina se stali v vakuumski induktivni talilni peči in predgreje na želeno temperaturo. Nato se v spodnjo komoro uvaja plin pod tlakom (navadno vodik). Avtomatski sistem ventilov odpre prehod talini preko keramične šobe v zgornjo ekspanzijsko posodo oziroma komoro, kjer se talina razprši v drobne kapljice in strdi v prah. Zaradi raztapljanja vodika v talini je razprševanje taline v drobne delce še pospešeno, saj se topnost za plin med atomizacijo in

ohlajanjem v trenutku zmanjša. Ker proces poteka v vakuumu, je tudi prenos toplote in ohlajevanje izključno s sevanjem, kar zahteva precejšnje višino atomizacijske komore (do 20 m).



Slika 4: Shematični prikaz vakuumske atomizacije [6].

1.4 DRUGI POSTOPKI IZDELAVE KOVINSKIH PRAHOV

Za izdelavo kovinskih prahov iz reaktivnih kovin so razvili postopke upraševanja s centrifugalno atomizacijo. S pomočjo centrifugalne sile razpršimo raztaljeno talino v drobne kapljice, ki se hitro strdijo v prah. Razvite so bile naslednje vrste postopkov centrifugalne atomizacije: z vrtečo se elektrodo, na vrtečem se krožniku (disku), v vrteči se čaši, z vrtečim se valjem in z vrtečim se sitom. Prednost teh postopkov je v tem, da vsi lahko potekajo v zaščitni atmosferi ali vakuumu, kar preprečuje nezaželeno oksidacijo prahu.

Razvita je še vrsta postopkov izdelave kovinskih prahov z atomizacijo ali razprševanjem. Med njimi omenimo le še atomizacijo s tlakom plina in elektrostatsko. V prvem primeru raztaljeno kovino razpršujemo skozi šobo s pomočjo nadtlaka plina. V drugem primeru pa raztaljeno kovino vežemo na visoko elektrostatsko napetost (20-50 kV) in jo vodimo skozi drobno šobo, kjer pride do razprševanja taline v drobne delce zaradi elektrostatskih odbojev. V novejšem času postajajo vse bolj zanimivi tudi postopki, kjer neposredno pretvarjamo raztaljene kapljice kovine v trden polizdelek (oblikovanec). Med te postopke štejemo:

- neposredno pretvorbo atomiziranega prahu v kovan ali valjan polizdelek (angl.: Spray forging or Osprey technique),
- neposredno pretvorbo peletov v ingot (angl.: Vacuum Arc Double Electrode Remelting - VADER).

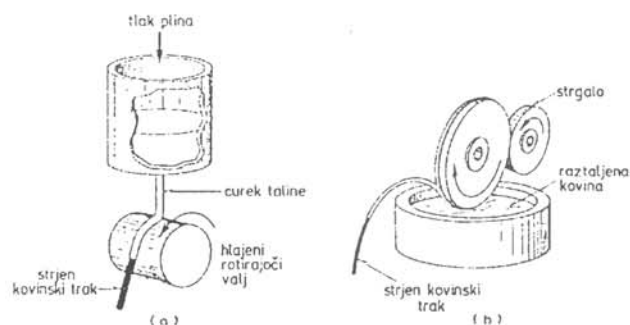
Postopki izdelave kovinskih prahov pri zelo velikih hitrostih ohlajanja omogočajo izdelavo mikrokristaliničnih ali celo amorfnih prahov s hitrostmi ohlajevanja med 10^6 in 10^9 K/s. V to skupino štejemo predvsem naslednje postopke izdelave kovinskih prahov:

- centrifugalno atomizacijo s pospešenim konvektivnim ohlajanjem
- izdelavo tankih litih trakov na vrtečem se valju in drobljenje trakov in
- ultrazvočno atomizacijo.

Omenimo le izdelavo tankih litih trakov na vrtečem se valju. Laboratorijska naprava te vrste (Melt Spinner M10 Marko Materials Inc.) se nahaja tudi na IKMT Ljubljana. Razlikujemo dva osnovna postopka (glej sliko 5):

- curek taline pada na hlajeni vrteči se valj (angl.: chill-block melt spinning process)
- ekstrakcijo traku iz taline s pomočjo vrtečega se valja (angl.: melt extraction process).

V prvem primeru se nahaja nad rotirajočim valjem indukcijska talilna peč, kjer stalimo kovino, ki jo pod tlakom plina (Ar) v tankem curku usmerjamo na vrteči se valj. V drugem primeru pa iz taline vlečemo od spodaj strjeni kovinski trak. Oba postopka omogočata izdelavo trakov debeline pod $40 \mu\text{m}$ in širine do 50 mm s hitrostmi ohlajanja reda velikosti 10^6 K/s v zaščitni atmosferi ali vakuumu. Metodi omogočata izdelavo mehkomagnetnih amorfnih zlitin na osnovi Fe, Ni ali Co z dodatki metaloidov (B,Si), trdomagnetnih materialov NdFeB, superlahkih zlitin Ti6Al4V in superzlitin. V primeru, da želimo izdelati prah, moramo izdelane kovinske trakove drobiti oziroma mleti.



Slika 5: Shematični prikaz izdelave mikrokristaliničnih ali amorfnih litih tankih trakov:

- na Melt Spinner napravi in
- napravi za vlečenje traku iz taline [6].

2. PRAKTIČNO DELO

V okviru osvajanja tehnologije izdelave hitroreznih jekel po postopkih metalurgije prahov smo pričeli s sistematičnim ugotavljanjem vpliva procesnih parametrov vodne atomizacije na lastnosti izdelanih kovinskih prahov. Z delom smo pričeli predvsem za pripravo prahu hitroreznega jekla Č.7680 (BRM-2 po oznaki Železarne Ravne ali M-2, kot ga označujejo v večini primerov drugje po svetu).

Pri izdelavi končnih popolnoma zgoščenih izdelkov iz hitroreznih jekel ali tudi drugih materialov po postopkih metalurgije prahov je naša prva naloga vsak trenutek izdelati prah s točno določenimi fizikalno-

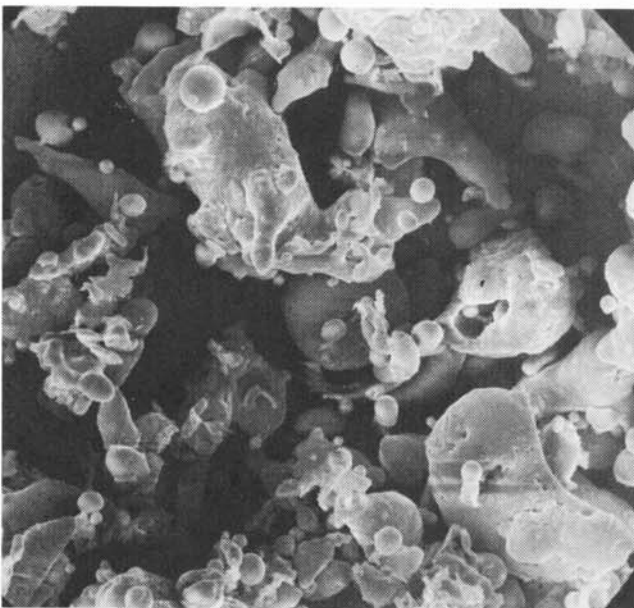
kemijskimi lastnostmi. Ker je tlak vode glavni vplivni parameter vodne atomizacije, je logično, da smo se osredotočili predvsem na preizkuse, kjer smo večino vplivnih parametrov vzdrževali konstantno (v okviru tehničnih možnosti) in pri vsakem posameznem preizkusu spremenili le tlak razprševalnega sredstva. Tako naj bi bili za dano zlitino sposobni vsak trenutek izbrati primerne pogoje atomizacije, ki bi nam omogočili izdelavo prahu z želeno obliko in velikostno porazdelitvijo delcev.

V tabeli 1 so zbrani vsi tehnološki parametri, ki smo jih zasledovali med posameznimi preizkusi. Tlak razprševalnega sredstva smo spreminjali med 100 in 275 bari, to je skoraj v celotnem delovnem območju visokotlačne črpalke.

Tabela 1: Procesni parametri izvedenih preizkusov izdelave prahov hitroreznega jekla BRM-2

Procesni parameter (vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee)		Opomba
Temperatura pregrejta taline (°C)	1580 (+/-20°C)	merjeno z optičnim pirometrom
Temperatura pregrejta vmesne posode (°C)	1230 (+/-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 x 1.05	tip 1503
	pomožne 1.10 x 0.85	tip 1502
Kot razprševanja glavne šob (v stopinjah)	50	originalna
	pomožne 40	razdelilna glava
Tlak vode (bar)	100 do 275	v stopinjah po 50 bar
Vrsta in pretok zaščitnega plina	dušik (N ₂)	merjeno z rotametrom
	0.8 m ³ /h	

* Temperatura tališča BRM-2 je $T_1 \approx 1445^\circ\text{C}$, kar pomeni, da je bila temperatura pregrejta približno 135°C nad temperaturo tališča.



Slika 6: Posnetek prahu BRM-2 na vrstičnem el. mikroskopu.
Frakcija: pod 63 μm , Povečava: 600x.

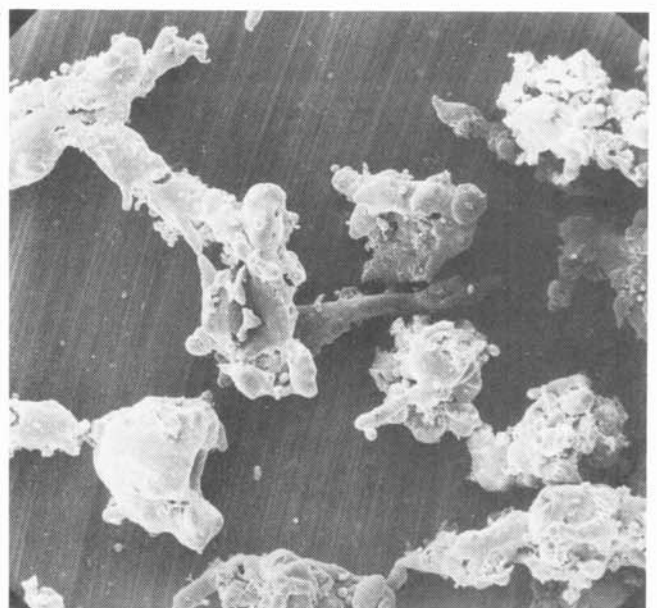
2.1 Analiza dobljenih rezultatov izdelanih kovinskih prahov hitroreznega jekla BRM-2

2.1.1 Kemijska analiza vzorcev izdelanih prahov

Vzorci hitroreznih jekel smo analizirali na IKMT Ljubljana s pomočjo klasične kemijske analitike in ARL kvantometra (tip 3460 Metal Analyzer). Doslej nismo izvajali sistematične kemijske analize izdelanih prahov po velikostnih razredih, temveč smo samo rutinsko preverjali, ali je preizkušani material v okviru predpisanih meja. Analize so nam pokazale, da sestava rahlo odstopa od nominalne, ki jo navajajo specializirani proizvajalci. To odstopanje na dobljene rezultate nima odločilnega vpliva, saj smo vse preizkuse izvajali pri enaki (izbrani) kemični sestavi, ker je bil vložek za vse preizkuse vzeti iz iste šarže. Pomeni le, da dobljene vrednosti za povprečno velikost delcev in velikostno porazdelitev ne veljajo točno za nazivno kemijsko sestavo BRM-2 jekla. Pri delu smo se srečali tudi z nekaterimi posebnostmi, ki so vezane na kemijsko analizo RST prahov. Natančne analize prahov bodo možne le sčasoma, ko bo opravljeno večje število primerjalnih analiz, tako na prahovih, kot tudi na končno zgoščenih izdelkih, izdelanih iz teh prahov.

2.1.2 Mikroskopija vzorcev izdelanih prahov

Vzorci prahov smo metalografsko preiskali z optičnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom po posameznih velikostnih razredih. Prah je izrazito nepravilne oblike, z oksidirano površino, zaradi prisotnosti elementov z veliko afiniteto do kisika. Med posameznimi delci je opaziti tudi delno nagnjenost k sferoidizaciji delcev, ki pa je zavrta z veliko hitrostjo ohlajanja in prisotnostjo elementov, ki tvorijo okside z visokim tališčem. Na slikah 6 in 7 je prikazan posnetek izdelanega prahu, atomiziranega pri tlaku vode 275 bar. Poudarimo, da ni opazne razlike med to

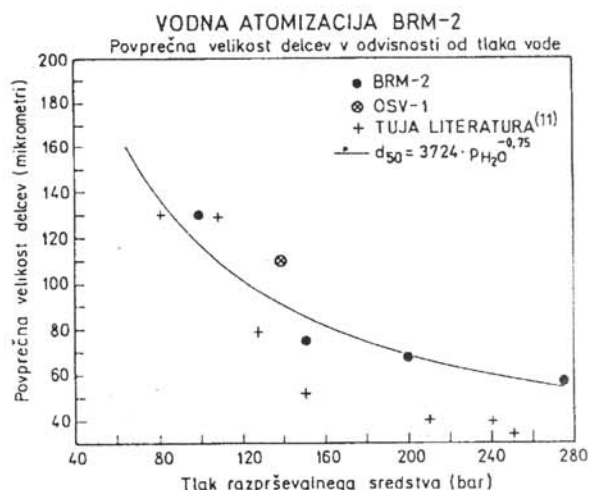


Slika 7: Posnetek prahu BRM-2 na vrstičnem el. mikroskopu.
Frakcija: 75 do 90 μm , Povečava: 200x.

obliko delcev in obliko delcev prahov, ki so bili izdelani pri nižjih tlakih razprševalnega sredstva. Bistvena je le razlika v velikostni porazdelitvi.

2.1.3 Določitev velikostne porazdelitve delcev prahov

Najenostavnejša metoda določanja velikostne porazdelitve delcev je sejalna analiza. V okviru raziskav smo naredili standardne sejalne analize vseh izdelanih prahov. Na **sliki 8** je prikazana praktično dobljena odvisnost med povprečno velikostjo delcev (d_{50}) izdelanega prahu hitroreznega jekla in tlakom vode. Regresijska analiza in dobljena eksponencialna krivulja odvisnosti nam pove, da smo dobili dobro odvisnost, s katero je že možno vsak trenutek napovedati okvirno povprečno velikost in porazdelitveno krivuljo vodno atomiziranih prahov hitroreznih jekel. EkspONENT $n = -0.75$ tudi pove, da smo bili blizu pogojev idealnega razprševanja ($n = -0.8$), kot jih navaja tuja literatura /11/. V primerjavi z navedbami v tuji literaturi so dobljene povprečne velikosti delcev prahu sicer nekoliko višje, kar pa je vezano predvsem na izbrane procesne in geometrijske parametre naše naprave.

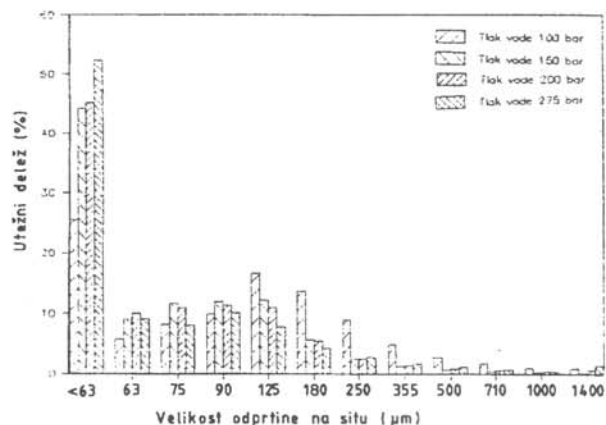


Slika 8: Povprečna velikost delcev v odvisnosti od tlaka razprševalnega sredstva za hitrorežno jeklo BRM-2 (IKMT Ljubljana 1990 - vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee).

Na **sliki 9** je prikazana sejalna analiza oziroma stolpičasti diagram (histogram) velikostne porazdelitve delcev prahov hitroreznega jekla za posamezne tlake razprševalnega sredstva. Ugotavljamo, da ima v vseh primerih glavni delež frakcija pod $63 \mu\text{m}$. Zato bi bilo v nadaljevanju primerno poleg sejalne analize uporabljati še kakšno drugo metodo določevanja velikostne porazdelitve delcev (na primer Sedigraph) /7/.

Praktične meritve velikostne porazdelitve delcev nam tudi povedo, da imamo pri atomizaciji z našo napravo dva ločena stadija dezintegracije. Na to kaže dvojna (bimodalna) velikostna porazdelitev delcev. V primerih plinske in vodne atomizacije različni avtorji /8/ omenjajo praviloma takšno velikostno porazdelitev. Le v primeru nadzvočnih hitrosti razprševalnega sredstva (ultra-zvočna atomizacija) avtorji poročajo o eno-

stopenski dezintegraciji (angl.: one-step fragmentation). Prvi stadij dezintegracije tvori delce velikosti približno $100 \mu\text{m}$, drugi pa drobnejše (približno $40 \mu\text{m}$). V našem primeru sejalne analize smo lahko identificirali samo delce, nastale kot posledica prvega stadija dezintegracije. Na druge, manjše, pa lahko samo sklepamo iz poteka krivulje velikostne porazdelitve.



Slika 9: Histogram velikostne porazdelitve delcev prahu v odvisnosti od tlaka razprševalnega sredstva za hitrorežno jeklo BRM-2 (IKMT Ljubljana 1990 - vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee), dobljen na osnovi sejalne analize.

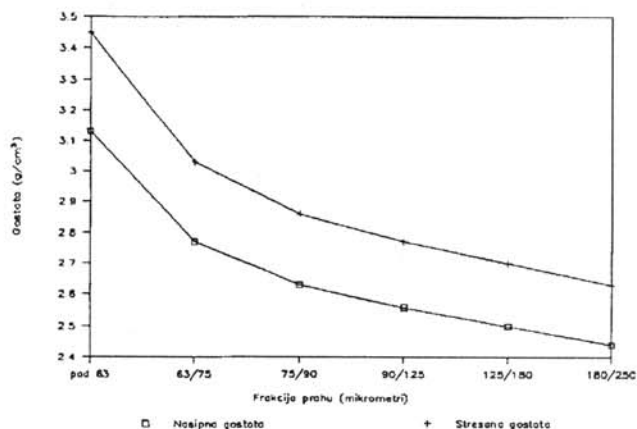
2.1.4 Določitev nasipne in stresane gostote ter tekočnosti prahov

Na **sliki 10** je podana odvisnost nasipne in stresane gostote izdelanega prahu hitroreznega jekla BRM-2 pri tlaku 275 bar po posameznih frakcijah. Nasipna in stresana gostota (gostota po 100 stresljajih) rasteta, čim manjši so delci. Tekočnost prahov smo določevali s Hall-ovim merilnikom pretoka /3/. Na **sliki 11** je prikazana tekočnost vodno atomiziranega jekla BRM-2 v primerjavi z vodno atomiziranim prahom nerjavnega jekla z 19%Cr in 9%Ni, ki smo ga poizkusno tudi izdelali na naši napravi. Vidimo, da prah nerjavnega jekla teče bolje kot prah hitroreznega jekla. To pomeni, da ima nerjavno jeklo pravilnejšo obliko delcev kot hitrorežno jeklo, kar se vidi tudi iz posnetkov na vrstičnem elektronskem mikroskopu. Najfinejša frakcija delcev (pod $63 \mu\text{m}$) v obeh primerih ne teče, iz česar lahko sklepamo, da so ti prahovi, v celoti gledano, netekoči, saj ima v njih najdrobnejša frakcija največji delež.

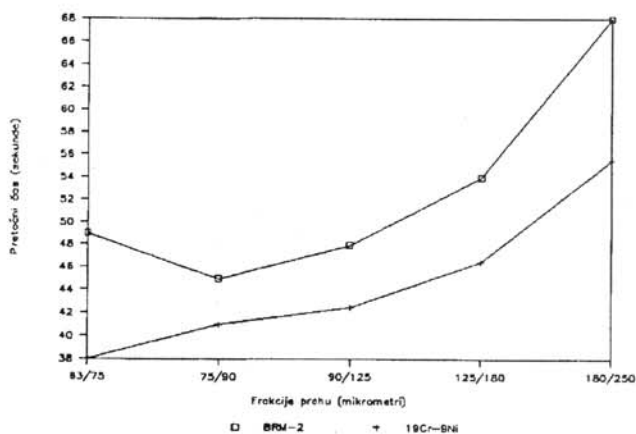
2.2 Toplotna obdelava prahov

Vsebnost kisika v jeklenih prahovih je pomembna še posebej takrat, ko prah uporabljamo za izdelavo popolnoma zgoščenih izdelkov /9/. Vsebnost kisika v prahovih običajno znižamo s toplotno obdelavo prahov pred zgoščevanjem. Toplotna obdelava atomiziranih prahov ugodno vpliva tudi na stisljivost prahov, saj dobimo po toplotni obdelavi na 800 do 900°C v vakuumu ali vodiku in počasnem ohlajanju mehkejši in s tem stisljivejši prah. Na **sliki 12** imamo

prikazano stisljivost našega vodno atomiziranega hitroreznega jekla pred in po toplotni obdelavi v vodiku (2 uri pri 800°C). Stisljivost prahu je pri tlaku pod 4t/cm² že tako slaba, da preizkušanci niso več primerni za nadaljnje rokovanje (glej črtkani del krivulj na sliki 12).



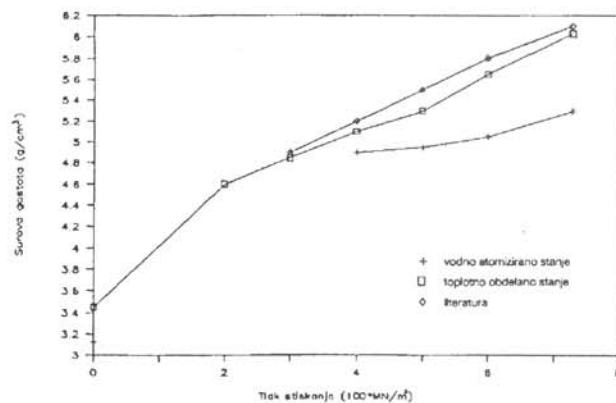
Slika 10: Nasipne in stresane gostote vodno atomiziranega prahu po posameznih velikostnih razredih (BRM-2 pri tlaku vode 275 bar, IKMT Ljubljana 1990 - vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee).



Slika 11: Tekočnost vodno atomiziranih prahov po posameznih velikostnih razredih (primerjava BRM-2 in nerjavno jeklo 19Cr9Ni pri tlaku vode 200 bar, IKMT Ljubljana 1990 - vodni atomizer D5/2 Davy Mc Kee).

Vsebnosti kisika v vodno atomiziranih prahovih so relativno visoke (2000 do 3000 ppm), vendar v okviru podatkov, ki jih navajajo v tuji literaturi /9/. Preizkusi so pokazali, da nam toplotna obdelava v vakuumu daje večje znižanje kisika v prahu kot obdelava v vodiku. V nadaljevanju smo pričeli s sistematično analizo vsebnosti kisika po posameznih velikostnih deležih.

Sejalna analiza toplotno obdelanih prahov tudi kaže, da prihaja že do delnega sintranja (rasti delcev) pri tako nizki temperaturi toplotne obdelave. Po žarenju v vodiku je delež frakcije pod 63 μm padel s 100% (gledano relativno) na 93%. Zato lahko ocenimo, da s stališča izkoristka prahu ne smemo prekoračiti zgoraj podane temperature in časa toplotne obdelave.



Slika 12: Odvisnost gostote od tlaka stiskanja vodno atomiziranega hitroreznega jekla BRM-2 v primerjavi s tujo literaturo /10/. Vzorci so bili hladno izostatsko stiskani v polivretanskih modelih na IJS Ljubljana.

3. ZAKLJUČKI

Laboratorijska pilotna naprava za vodno atomizacijo z induktivnim talilnim sistemom nam omogoča sistematično delo za pripravo različnih vrst posebnih kovinskih prahov. Tako smo pričeli s sistematičnim določevanjem vplivnih parametrov vodne atomizacije na lastnosti prahov hitroreznih jekel. Za hitrorežno jeklo Č.7680 (BRM-2) smo določili vpliv tlaka razprševalnega sredstva na glavne morfološke lastnosti prahu. Na osnovi preizkusov je postavljena empirična enačba odvisnosti povprečne velikosti delcev prahu od tlaka razprševalnega sredstva. Ta nam omogoča za dane parametre naprave okvirno napoved povprečne velikosti delcev in tudi drugih morfoloških lastnosti izbranega hitroreznega jekla. Dvojna (bimodalna) velikostna porazdelitev delcev prahu kaže na to, da na naši napravi potekata dva ločena stadija dezintegracije. Lastnosti izdelanega prahu hitroreznega jekla so v okviru tehnoloških možnosti postopka vodne atomizacije in tudi tujih literaturnih podatkov. Prahovi so primerni za nadaljnje zgoščevanje s sintranjem in kasneje z vročo ekstruzijo do popolne zgostitve. To nam kažejo prvi preizkusi sintranja v zaščitni atmosferi in vakuumu.

Poleg prahov hitroreznih jekel smo preizkusno pričeli izdelovati in analizirati tudi nekaj drugih vrst kovinskih prahov, zanimivih za našo industrijo in druge uporabnike.

4. UPORABLJENA LITERATURA

- /1/ B. Šuštaršič, F. Vodopivec, B. Breskvar: Literaturna študija o postopkih metalurgije prahov, Poročila MI Ljubljana, junij 1989
- /2/ B. Šuštaršič, F. Vodopivec, M. Komac: Tehnologija vročega izostatskega stiskanja, Zbornik XXXIX. Posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih, Portorož, oktober 1988, s.:119/138
- /3/ B. Šuštaršič, F. Vodopivec, B. Breskvar, A.Rodič, V.Leskovšek: Vodna atomizacija kovinskih talin in konsolidacije kovinskih prahov, interna naloga 88-066MIL, 1988
- /4/ R.M.German: Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation (MPIF), Princeton, New Jersey, 1984
- /5/ F.V.Lenel: Powder Metallurgy - Principles and Applications, MPIF, Princeton, New Jersey, april 1980

- /6/ G. H. Gessinger: Powder Metallurgy of Super alloys, Butterworths Monographs in Materials, BBC Brown Boveri and Co. Ltd, Switzerland, 1984
- /7/ R. Gabrovšek: Predstavitev kompleta inštrumentov za fizikalno karakterizacijo trdnih in praškastih materialov, Kemijski Inštitut Boris Kidrič Ljubljana, november 1986.
- /8/ M. Buerger, E. V. Berg, S. H. Cho, A. Schatz: Fragmentation Process in Gas and Water Atomization Plant for Process Optimization Purposes, Powder Metallurgy International, Vol.: 21, No.: 6/89, s.:10/15
- /9/ J. J. Dunkley : The Factors Determining the Oxygen Content of Water Atomized 304L Stainless Steel Powder, Reprint of Paper Presented at the National PM Conference, Philadelphia, USA, 1981
- /10/ Davy McKee: Tool Steel Powders, Komercialni prospekt podjetja DavyMcKee 021/2M/477
- /11/ J. J. Dunkley, J.D. Palmer: Factors affecting particle size of atomized metal powders, Powder Metallurgy 1986, Vol.: 29, No.:4

INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE NAMESTO METALURŠKI INŠTITUT V LJUBLJANI, ZAKAJ?

Metalurški inštitut je ustanovila slovenska vlada leta 1950 s ciljem, da ima strokovno inštitucijo, ki bi sodelovala v razvoju metalurške industrije, tedaj v Sloveniji še proizvodnje groblja, jekla, svinca, cinka in aluminija iz rud in odpadkov. Delo inštituta je bilo naravnano v ekstraktivne procese in temu primerna je bila tudi kadrovska zasedba, oprema in raziskovalni program. Že v letu 1955 pa se je pokazalo, da Slovenija potrebuje tudi svetovalno ustanovo za racionalno uporabo kovinskih materialov in razvoj materialov kot industrijskega gradiva. Zato se je začela počasna preusmeritev raziskovalnega in razvojnega dela. Po letu 1960 je začel v programu naraščati razvoj novih materialov, ki ga je tedaj podpirala predvsem armada, pa tudi nastajajoča elektronska industrija. Po letu 1970 se je začel hitro zmanjševati del programa, usmerjen v ekstrakcijo kovin, in danes od vsega tega ostaja le še raziskave uporabe sekundarnih surovin in odpadkov, neposredno v metalurški industriji ali zunaj nje, in projekt razvoja postopka za izdelavo aluminija največje čistosti. Skladno z zmanjšanjem aktivnosti na področju ekstrakcije je rastla vključenost inštituta v probleme raziskav in razvoja materialov ter njihove optimalne uporabe v industriji in ekspertno delo. Na primer, že leta 1966 je Toplarna Ljubljana, ki je bila tedaj v gradnji, na osnovi ekspertize inštituta iztožila okoli 700.000 USD od inozemskega dobavitelja. Za slovensko termo energetiko je bilo izvršeno še več ekspertiz, na osnovi katerih so bili povrnjeni stroški za havarirane industrijske naprave v podobni višini. Te ekspertize so dokazale vrhunsko znanje sodelavcev Inštituta na področju industrijske uporabe kovinskih materialov. Od leta 1960 je bilo vsako leto pripravljeno veliko število ekspertiz in strokovnih mnenj s področja uporabe in kakovosti

materialov in raziskovalno-razvojnih del za nemetalurško industrijo, ki so privedla do koristnih aplikacij. V letu 1990 je imel inštitut sklenjene pogodbe o raziskovalno-razvojnem delu za enako število metalurških in nemetalurških podjetij skupno za okoli 60 raziskovalnih nalog. V tem letu je bilo pripravljenih tudi 112 ekspertiz s področja materialov in tehnologij, opravljeno pa je bilo tudi 84 tehnoloških storitev za nemetalurška podjetja.

Začetna usmerjenost v ekstraktivno metalurgijo se je postopoma preusmerjala v proizvodnjo materialov iz odpadnih surovin, raziskovanje pa se je vse bolj usmerjalo v razvoj materialov, njihovo procesiranje za doseg optimalnih lastnosti in v uporabo. Pri mnogih potencialnih uporabnikih strokovnih, raziskovalnih, tehnoloških in ekspertnih storitev pa je vendarle naziv "Metalurški" asociiral na ekstraktivno metalurgijo in jih odvrčal od središča, kjer je v Sloveniji in v Jugoslaviji največ teoretičnega in praktičnega znanja o izdelavi kovinskih materialov, njihovem procesiranju, preiskovanju in lastnostih pri uporabi. Zato se je zadnja leta vse bolj kazala potreba, da se naziv inštituta prilagodi že izvršeni vsebinski pretvorbi dela. Izbran je bil nov naziv INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE. Geslo inštituta ostaja še naprej: biti čim bolj aktiven v razvoju novih materialov in tehnologij, svetovati, kako preiskovati materiale, da bodo najbolj ustrezali specifičnim namenom uporabe, svetovati kako racionalno in optimalno izkoriščati njihove lastnosti in vzgajati strokovnjake, ki bodo takim nalogam v industriji kos.

Dr. Franc Vodopivec