

EMINA D. POŽEGA¹
SVETLANA LJ. IVANOV²
VESNA T. CONIĆ¹
BRANISLAV M. ČAĐENVIĆ¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju
Bor, Bor, Srbija
²Tehnički fakultet u Boru,
Univerzitet u Beogradu, Bor, Srbija

NAUČNI RAD

UDK 669.1:622.785:621.78:66.04

DOI: 10.2298/HEMIND0903253P

MOGUĆNOST PROCESA BORIRANJA NA PRESOVANIM UZORCIMA OD ŽELEZNOG PRAHA*

U radu su predstavljene rezultati ispitivanja mogućnosti procesa boriranja na nesinterovanim uzorcima od železnog praha oznake NC100.24 (Höganäs, Švedska). U okviru ispitivanja mogućnosti istovremenog sinterovanja pri procesu hemijsko-termičke obrade (boriranja), planiran je eksperiment. Za eksperiment je korišćen simpleks plan sa petnaest eksperimentalnih tačaka, a za matematički model polinom četvrtog stepena. Kompijuterski program za polinom četvrtog stepena je iskorišćen za izbor sastava mešavine za boriranje železnih uzoraka sa unapred zadanim promenama zapremine, poroznosti i dubine sloja. Boriranje je izvršeno u smeši sa borkarbidom uz dodatak NH_4HF_2 , NH_4Cl i KBF_4 kao aktivatora, u planom određenim odnosima.

U procesu hemijsko-termičke obrade (HTO) zbog blizine režima HTO režimu sinterovanja, dolazi i do sinterovanja delova izrađenih tehnologijama metalurgije praha, što daje široke mogućnosti primene HTO kod mašinskih delova proizvedenih postupcima metalurgije praha, ukoliko se od njih traži da imaju izraženo visoku površinsku tvrdoću i otpor prema habanju.

Sinterovanje je neophodna operacija tehnološkog procesa izrade delova dobijenih sintermetalurškim postupkom. Režim sinterovanja (temperatura–vreme) bliski su režimu hemijsko-termičke obrade, pa je ispravno razmatranje i procesa sinterovanja pri hemijsko-termičkoj obradi. Sva ispitivanja u tom pravcu su poželjna pošto bi u slučaju pozitivnog rešenja razmatranog problema bilo moguće isključiti proces sinterovanja kao samostalnu operaciju i smanjiti cenu proizvoda koji se podvrgavaju hemijsko-termičkoj obradi. Za određivanje mogućnosti istovremenog sinterovanja i termičke obrade treba imati u vidu ukupni kompleks mehaničkih osobina sinterovanih proizvoda posle svakog ciklusa obrade, brzinu obrazovanja i građu difuzionog sloja kao i njegove osobine.

Mehaničke osobine hemijsko-termički obrađenih materijala dobijenih sintermetalurškim postupkom zavise od velikog broja faktora: kvaliteta i sastava osnovnog materijala, načina dobijanja otpreska, uslova prethodnog sinterovanja, procesnih parametara postupka hemijsko-termičke obrade, prirode zasićujućeg elementa, obrazovanja novih faza, itd. Razdvajanje stepena uticaja svakog od nabrojanih faktora na mehaničke osobine materijala je nemoguće. Mehanizam i kinetika obrazovanja difuzionih slojeva na sinterovanim materijalima bitno se razlikuje od onih kod kompaktnih materijala [1–3].

Vorošnin i Ljahovič su pokušali da daju kvalitativnu ocenu uticaja prethodnog sinterovanja na mehaničke osobine uzoraka od železnog praha [4]. Zaključili su da presovani i presovani pa sinterovani uzorci, koji su pro-

šli kroz lažnu hemijsko-termičku obradu – u rastopu NaCl, imaju slične osobine. Metalografskim pregledom uzoraka od metalnih prahova koji su bili podvrgnuti hemijsko-termičkoj obradi, utvrdili su postojanje besporozne zone ispod difuzionog sloja. Ovakva zona je primećena kod siliciranih i hromsiliciranih uzoraka, dok se kod cementiranih ne pojavljuje, što navodi na zaključak da aktivni element, odnosno sredina u kojoj se vrši hemijsko-termička obrada, ima veliki uticaj na procese sinterovanja u površinskim zonama komada koji se hemijsko-termički obrađuju.

S obzirom da u poslednje vreme sve širu primenu imaju materijali izrađeni postupcima metalurgije praha (koji su trenutno veoma aktuelni i za koje vlada značajno interesovanje) ovaj rad treba da upotpuni saznanja o mogućnosti obrazovanja difuzionog sloja na presovanim (nesinterovanim) uzorcima od železnog praha pri boriranju [5].

EKSPERIMENTALNI DEO

Za eksperimentalna istraživanja predstavljena u ovom radu, izabran je sastav smeše za boriranje, aktivatori, pritisak presovanja, temperatura i vreme boriranja [6]. Takođe je izvršena karakterizacija železnog praha, homogenizacija smeše prahova za boriranje, presovanje uzoraka, karakterizacija otpresaka (tabele 1 i 2), boriranje otpresaka od železnog praha i karakterizacija boriranih uzoraka (tabele 1 i 2), sa ciljem da se utvrdi mogućnost procesa boriranja presovanih uzoraka od železnog praha uz i istovremeno sinterovanje.

Od železnog praha ispresovani su uzorci pritiskom od 400 MPa. Uzorci su borirani na 950 °C u toku četiri časa. Plan eksperimenta je prikazan u tabeli 3. Posle boriranja uzorci su poprečno sečeni radi metalografskog pregleda. Radi dobijanja pouzdanih rezultata borirana su po dva uzorka pod istim uslovima.

Nakon pregleda svih nenagriženih uzoraka utvrđeno je da uzorci nemaju jednaku poroznost tj. poroznost se razlikuje po veličini pora, gustini pora, kao i obliku pora [7]. Poroznost je posledica tehnologije izrade praha i značajno utiče na procese difuzije. Za sva eksperimen-

*Rad saopšten na skupu „Sedmi seminar mladih istraživača“, Beograd, 22–24. decembar 2008.

Autor za prepisku: E. Požega, 9. Brigade 13/18, 19210 Bor.

E-pošta: emina.pozega@irmbor.co.rs

Rad primljen: 22. decembar 2008.

Rad prihvaćen: 17. februar 2009.

Tabela 1. Dimenzione promene^a uzoraka pre i posle boriranja
 Table 1. Dimension change of samples before and after boronizing

Broj ispitivanja	Aktivatori	h (mm)		b (mm)		l (mm)		Δh (%)	Δb (%)	Δl (%)
		Pre	Posle	Pre	Posle	Pre	Posle			
I	4% NH ₄ FHF	11,7	11,635	12,1	12,11	30,1	30,24	-0,556	0,083	0,465
		11,7	11,625	12,1	12,115	30,1	30,2	-0,641	0,124	0,332
II	4% NH ₄ Cl	11,6	11,61	12,1	12,16	30,1	30,22	0,086	0,496	0,399
		11,6	11,69	12,1	12,295	30,1	30,56	0,776	1,611	1,528
III	4% NH ₄ Cl	11,82	11,575	12,1	12,18	30,1	30,21	-2,073	0,661	0,365
		11,82	11,51	12,1	12,125	30,1	30,2	-2,623	0,207	0,332
IV	1% NH ₄ FHF 3% KBF ₄	11,92	11,88	12,1	12,145	30,1	30,2	-0,336	0,372	0,332
		11,92	11,79	12,1	12,18	30,1	30,2	-1,091	0,661	0,332
V	2% NH ₄ FHF 2% KBF ₄	11,22	11,21	12,1	12,13	30,1	30,19	-0,089	0,248	0,299
		11,27	11,27	12,1	12,125	30,1	30,17	0	0,207	0,232
VI	3% NH ₄ FHF 1% KBF ₄	11,8	11,54	12,1	12,11	30,1	30,17	-2,204	0,083	0,232
		11,8	11,72	12,1	12,105	30,1	30,27	-0,678	0,041	0,565
VII	3% NH ₄ FHF 1% NH ₄ Cl	11,4	11,735	12,1	12,13	30,1	30,19	2,938	0,248	0,299
		11,57	11,54	12,1	12,135	30,1	30,21	-0,259	0,289	0,365
VIII	2% NH ₄ FHF 2% NH ₄ Cl	11,65	11,64	12,1	12,15	30,1	30,49	-0,086	0,413	1,296
		11,65	11,555	12,1	12,17	30,1	30,2	-0,815	0,578	0,332
IX	1% NH ₄ FHF 3% NH ₄ Cl	11,15	11,165	12,1	12,18	30,1	30,22	0,134	0,661	0,399
		11,22	11,315	12,1	12,2	30,1	30,25	0,847	0,826	0,498
X	3% NH ₄ Cl 1% KBF ₄	12,05	12,135	12,1	12,635	30,1	30,37	0,705	4,421	0,897
		12	12,065	12,1	12,31	30,1	30,25	0,542	1,735	0,498
XI	2% NH ₄ Cl 2% KBF ₄	11,4	11,34	12,1	12,125	30,1	30,25	-0,526	0,207	0,498
		11,4	11,675	12,1	12,14	30,1	30,25	2,412	0,330	0,498
XII	1% NH ₄ Cl 3% KBF ₄	11,52	11,705	12,1	12,155	30,1	30,25	1,606	0,454	0,498
		11,82	11,535	12,1	12,145	30,1	30,2	-2,411	0,372	0,332
XIII	1% NH ₄ FHF 2% NH ₄ Cl	11,52	11,745	12,1	12,14	30,1	30,3	1,953	0,330	0,664
		11,85	11,59	12,1	12,135	30,1	30,19	-2,194	0,289	0,299
XIV	1% NH ₄ FHF 1% NH ₄ Cl	11,45	11,695	12,1	12,125	30,1	30,19	2,140	0,207	0,299
		11,4	11,615	12,1	12,11	30,1	30,18	1,886	0,083	0,266
XV	2% NH ₄ FHF 1% NH ₄ Cl	11,75	11,685	12,1	12,185	30,1	30,24	-0,553	0,702	0,465
		11,77	11,615	12,1	12,15	30,1	30,32	-1,317	0,413	0,731

^aDimenzione promene boriranih uzoraka su određivane po izrazu:

$$\Delta d = \frac{d_b - d_0}{d_0} 100$$

gde je d_b dimenzija uzoraka posle boriranja [mm], d_0 dimenzija uzoraka pre boriranja (dimenzije otpreska) [mm]

talna istraživanja korišćen je železni prah oznake NC.100.24, Höganäs, Švedska. Čestice su sunderastog oblika, što je karakteristika prahova dobijenih redukcijom. Ovi prahovi su proizvedeni od čistih materijala, što znači da je smanjen stepen metalnih primesa, pa je prema tome njihova postojanost veća.

Obradom eksperimentalnih rezultata simpleks metodom [8–10] potvrđeno je da postoji stroga zavisnost zapreminskih promena od sastava smeše za boriranje. Promene zapremine boriranih uzoraka date su relacijom (1):

$$\hat{y}_{\Delta v} = -0.099x_1 + 2.474x_2 - 1.581x_3 - 1.317x_1x_2 + 5.155x_1x_3 + 5.092x_2x_3 + 8.227x_1x_2(x_1 - x_2) - 9.905x_1x_3(x_1 - x_3) + 10.637x_2x_3(x_2 - x_3) + 18.773x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 11.815x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 22.115x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - 74.916x_1^2x_2x_3 - 147.793x_1x_2^2x_3 + 20.285x_1x_2x_3^2 \quad (1)$$

Tabela 2. Promene mase i zapremine^a pre i posle boriranja
 Table 2. Mass and volume change of samples before and after boronizing

Broj ispitivanja	Aktivatori	m_1 , masa uzorka (g), pre boriranja	m_2 , masa uzorka (g), posle boriranja	Δm , masa boriranog sloja (g)	V_1 , zapremina uzorka (cm ³), pre boriranja	V_2 , zapremina uzorka (cm ³), posle boriranja	ΔV , promena zapremine (%)
I	4% NH ₄ FHF	24,91	25,53	0,62	4261,257	4260,811	-0,010
		24,98	25,59	0,61	4261,257	4253,274	-0,187
II	4% NH ₄ Cl	24,98	25,49	0,51	4224,836	4266,387	0,983
		24,94	25,72	0,78	4224,836	4392,344	3,965
III	4% NH ₄ Cl	25,01	25,42	0,41	4304,962	4259,112	-1,065
		24,98	25,36	0,38	4304,962	4214,674	-2,097
IV	1% NH ₄ FHF 3% KBF ₄	25,02	25,49	0,47	4341,383	4357,335	0,367
		24,98	25,4	0,42	4341,383	4336,786	-0,106
V	2% NH ₄ FHF 2% KBF ₄	25,07	25,48	0,41	4086,436	4105,155	0,458
		24,8	25,25	0,45	4104,647	4122,693	0,440
VI	3% NH ₄ FHF 1% KBF ₄	24,99	25,53	0,54	4297,678	4216,239	-1,895
		25,01	25,46	0,45	4297,678	4294,423	-0,076
VII	3% NH ₄ FHF 1% NH ₄ Cl	24,99	25,74	0,75	4151,994	4297,412	3,502
		25,07	25,72	0,65	4213,91	4230,545	0,395
VIII	2% NH ₄ FHF 2% NH ₄ Cl	25,01	25,83	0,82	4243,047	4312,079	1,627
		25,01	25,68	0,67	4243,047	4246,855	0,090
IX	1% NH ₄ FHF 3% NH ₄ Cl	24,97	25,49	0,52	4060,942	4109,609	1,198
		24,84	25,49	0,65	4086,436	4175,801	2,187
X	3% NH ₄ Cl 1% KBF ₄	24,92	25,72	0,8	4388,731	4656,502	6,101
		24,99	25,76	0,77	4370,52	4492,735	2,796
XI	2% NH ₄ Cl 2% KBF ₄	24,96	25,56	0,6	4151,994	4159,299	0,176
		24,92	25,47	0,55	4151,994	4287,469	3,263
XII	1% NH ₄ Cl 3% KBF ₄	24,29	24,96	0,67	4195,699	4303,797	2,576
		24,93	25,61	0,68	4304,962	4230,796	-1,723
XIII	1% NH ₄ FHF 2% NH ₄ Cl	25,03	25,51	0,48	4195,699	4320,304	2,970
		25,34	26,01	0,67	4315,889	4246,062	-1,618
XIV	1% KBF ₄ 1% NH ₄ FHF	24,81	25,5	0,69	4170,205	4280,999	2,657
		24,98	25,76	0,78	4151,994	4245,048	2,241
XV	1% NH ₄ Cl	24,91	25,62	0,71	4279,468	4305,623	0,611
		24,99	25,73	0,74	4286,752	4278,827	-0,185

^aPromena zapremine uzorka određivana je po jednačini:

$$\Delta V = \frac{V_b - V_0}{V_0} 100,$$

gde je: V_b zapremina uzorka posle boriranja [cm³], a V_0 zapremina otpreska [cm³]

REZULTATI I DISKUSIJA

Zbog blizine režima boriranja, režimu sinterovanja, pri hemijsko-termičkoj obradi dolazi do aktiviranog sinterovanja uzoraka, usled dejstva aktivne sredine. Hemijsko-termička obrada je vršena u sredini koja sadrži halogenidne soli: NH₄HF₂, NH₄Cl i KBF₄. Aktivna sredina u kojoj se vrši hemijsko-termička obrada može na dva načina uticati na sinterovanje: preko elementa kojim se vrši zasićenje (bor) i preko prisutne aktivne atmosfere u kojoj se vrši hemijsko-termička obrada [5]. Pri zagrevanju, na temperaturi obrade, dolazi do razlaganja halogenidnih soli prisutanih u smeši za boriranje. Pri ovom

razlaganju izdvajaju se gasovi. Usled uzajamnog dejstva reakcione smeše sa obrazovanom gasnom sredinom dolazi do stvaranja različitih hidrida i hlorida bora, koji omogućavaju prenos bora do površine za boriranje. Usled njihove disocijacije ili reakcije na površini uzorka stvaraju se aktivni atomi bora. Bor sa železom gradi dva intermetalna jedinjenja sastava Fe₂B i FeB. Na uzorcima su dobijeni boridni slojevi različitih dubina koji se sastoje od borida Fe₂B (slike 1 i 2).

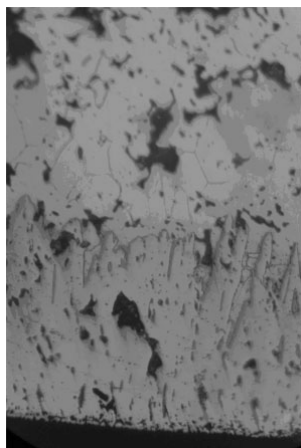
Zasićujući element bor u znatnoj meri podstiče proces dopunskog sinterovanja delova izrađenih tehnologijom metalurgije praša, zbog čega se pri gasnim metodama zasićenja, ispod difuzionog sloja može obrazovati bes-

Tabela 3. Plan eksperimenta i eksperimentalni rezultati promene zapremine otpresaka od železnog praha pri boriranju
 Table 3. Plan of experiment and obtained volume change for pressed samples of iron powder at boroning

Broj uzorka	Sadržaj aktivatora [%]			Kodirane vrednosti faktora			Promena zapremine [%]			Rezultati
	NH ₄ FHF	NH ₄ Cl	KBF ₄	X ₁	X ₂	X ₃	ΔV ₁	ΔV ₂	ΔV _{sr}	
1	4	0	0	1	0	0	-0,010	-0,187	-0,099	Y ₁
2	0	4	0	0	1	0	0,983	3,965	2,474	Y ₂
3	0	0	4	0	0	1	-1,065	-2,097	-1,581	Y ₃
4	1	0	3	¼	0	¾	0,367	-0,106	0,131	Y ₁₃₃₃
5	2	0	2	½	0	½	0,458	0,440	0,449	Y ₁₁₃₃
6	3	0	1	¾	0	¼	-1,895	-0,076	-0,985	Y ₁₁₁₃
7	3	1	0	¾	¼	0	3,502	0,395	1,949	Y ₁₁₁₂
8	2	2	0	½	½	0	1,627	0,090	0,858	Y ₁₁₂₂
9	1	3	0	¼	¾	0	1,198	2,187	1,693	Y ₁₂₂₂
10	0	3	1	0	¾	¼	6,101	2,796	4,449	Y ₂₂₂₃
11	0	2	2	0	½	½	0,176	3,263	1,719	Y ₂₂₃₃
12	0	1	3	0	¼	¾	2,576	-1,723	0,427	Y ₂₃₃₃
13	1	2	1	¼	½	¼	2,970	-1,618	0,676	Y ₁₂₂₃
14	1	1	2	¼	¼	½	2,657	2,241	2,449	Y ₁₂₃₃
15	2	1	1	½	¼	¼	0,611	-0,185	0,213	Y ₁₁₂₃
K ₁	2,856	0,456	0,688	0,714	0,114	0,172	-0,344	-1,589	-0,967	-
K ₂	0,32	3,28	0,4	0,08	0,82	0,1	4,107	3,381	3,744	-

porozna prelazna zona koja bitno utiče na eksploatacijska svojstva proizvoda.

Aktivirano sinterovanje će obuhvatiti veću zapreminu ako zasićujuća sredina prodire dublje u uzorak i ako je koeficijent površinske difuzije zasićujućeg elementa veći.



Slika 1. Mikrostruktura boridnog sloja uzorka dobijenog od železnog praha presovanjem, pritiskom od 400 MPa. Uzorak je boriran na $t = 950$ °C i $\tau = 4$ h u osnovnoj mešavini sa 1% KBF₄ i 3% NH₄FHF. Dubina boridnog sloja je 138,5 μm. Gustina iznosi 73,95%, poroznost je 18,23% (500×).

Figure 1. The microstructure of a boride sample obtained from iron powder by pressing under 400 MPa. The sample was boroned by the basic mixture with 1% KBF₄ and 3% NH₄FHF at 950 °C and the process time was 4 h. The boride layer depth was 138.5 μm, the density was 73.95%, and the porosity was 18.23% (500×).



Slika 2. Mikrostruktura boridnog sloja uzorka dobijenog od železnog praha presovanjem, pritiskom od 400 MPa. Uzorak je boriran na $t = 950$ °C i $\tau = 4$ h, u osnovnoj mešavini sa 1% NH₄Cl i 3% NH₄FHF. Dubina boridnog sloja je 161,5 μm. Gustina iznosi 73,35%, poroznost je 3,96% (500×).

Figure 2. The microstructure of a boride sample obtained from iron powder by pressing under 400 MPa. The sample was boroned by the basic mixture with 1% NH₄Cl and 3% NH₄FHF at 950 °C and the process time was 4 h. The boride layer depth was 161.5 μm, the density was 73.35% and the porosity was 3.96% (500×).

Nakon boriranja, usled uticaja smeše za boriranje i prisustva aktiviranog sinterovanja, dimenzije uzorka mogu ostati iste, može doći do skupljanja ili povećanja dimenzija uzoraka. Kako se iz tabele 3 vidi, uticaj sastava smeše za boriranje na zapreminske promene presovanih i boriranih uzoraka od železnog praha je dvojak, tj. kod

nekim uzoraka došlo je do skupljanja (–), a kod nekih do povećanja dimenzija tj. širenja (+). Na zapreminske promene uticao je element kojim se vršilo zasićenje kao i sastav aktivne sredine. Kod uzoraka kod kojih je došlo do skupljanja, raste kompaktnost sloja (slika 1 i tabela 3). Tamo gde imamo povećanje zapremine dominirao je uticaj bora, elementa kojim je vršeno zasićenje. Kao posledica difuzije atoma bora iz smeše za boriranje u površinski sloj uzorka došlo je do povećanja dimenzija uzoraka (tabela 1), samim tim i zapremine (tabela 2). Posledica prisustva poroznosti i gasova koji potiču od halogenidnih soli dodatih kao aktivatori procesa je takođe povećanje zapremine. Obrazovanjem difuzionih slojeva na površini pora povećava se zapremina, jer se površina preseka kanala pora smanjuje, pa veliki broj pora iščekava [1–3,11–13].

Procesi unutrašnjeg transporta mase smanjuju međusobno rastojanje između čestica praha, sa procesima rasta vrata, što rezultira u skupljanju otpresaka. Lakše je ipak meriti dimenzionu promenu nego veličinu vrata.

Kod uzoraka kod kojih je došlo do skupljanja, tj. smanjenja zapremine, došlo je do odgovarajućeg smanjenja poroznosti, na račun smanjenja zapremina pora, odnosno povećanja gustine otpresaka. Promena dimenzija je korisna za posmatranje procesa sinterovanja jer eliminiše merenja pojedinačnih veličina vrata. U seriji eksperimenata za određivanje optimalne mešavine za boriranje zapaženo je da se pri boriranju smanjuje poro-

znost uzoraka. Drugim rečima pri boriranju dolazi do istovremenog sinterovanja (slika 3), te se poroznost javlja u obliku pojedinačnih pora ravnomerno raspoređenih po površini poprečnog preseka uzorka.

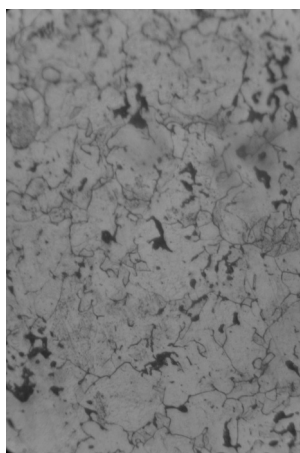
Standardno odstupanje rezultata pri merenju utvrđeno je disperzionom analizom rezultata. Plan eksperimenta i obrada rezultata omogućavaju grafički prikaz dobijenih rezultata. Kompiuterskom obradom eksperimentalnih rezultata, konstruisan je sistem linija istih nivoa zapreminskih promena u koordinatnom sistemu koncentracija–sastav aktivatora (slika 4).

Posle disperzione analize, koja je dala zadovoljavajuće rezultate, izvršena je i provera matematičkog modela u kontrolnim tačkama K_1 ($x_1 = 0,714$; $x_2 = 0,114$; $x_3 = 0,172$) i K_2 ($x_1 = 0,08$; $x_2 = 0,82$; $x_3 = 0,1$).

Na osnovu ovih provera može se sa verovatnoćom 99% reći da je usvojeni matematički model adekvatan i da su parametri modela značajni za izabrani režim boriranja. Imajući pred sobom ovakav grafički prikaz može se vrlo lako izabrati sastav mešavine koja će obezbediti unapred zadane zapreminske promene uzoraka.

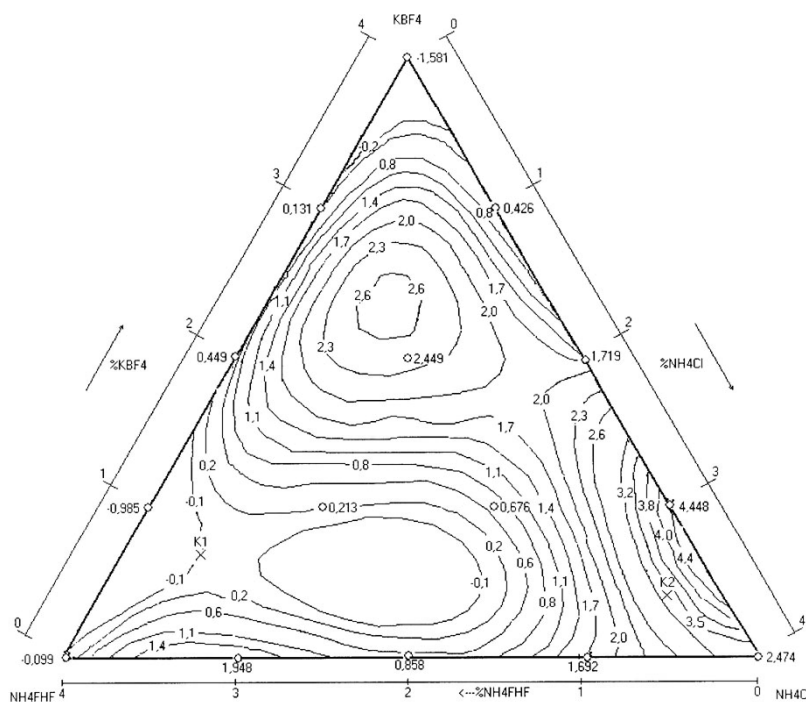
ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati potvrđuju mogućnost obrazovanja difuzionog sloja na nesinterovanim uzorcima od železnog praha pri boriranju.



Slika 3. Mikrostruktura osnovnog materijala boriranog uzorka dobijenog od železnog praha presovanjem, pritiskom od 400 MPa. Gustina iznosi 73,95%, poroznost je 18,23%. Uzorak je boriran u osnovnoj mešavini sa 1% KBF_4 i 3% NH_4FHF na temperaturi 950 °C u toku 4 časa (500 \times).

Figure 3. The microstructure of a basic metal sample obtained from iron powder by pressing under 400 MPa. The density was 73.95%, and the porosity was 18.23%. The sample was boroned by the basic mixture with 1% KBF_4 and 3% NH_4FHF at 950 °C and the process time was 4h (500 \times).



Slika 4. Zavisnost zapreminskih promena presovanih i boriranih uzoraka od sastava smeše za boriranje (o – eksperimentalne tačke; x – kontrolne tačke). Figure 4. Dependence of volume change of pressed and boroned samples on the boroning mixture composition (o – experimental points; x – control points).

Na osnovu napred navedenog može se konstatovati da hemijsko-termička obrada može da isključi operaciju sinterovanja u procesu proizvodnje materijala dobijenih tehnologijama metalurgije praha, što bi znatno smanjilo cenu koštanja ovih proizvoda. Mogućnost objedinjavanja ova dva procesa (sinterovanja i boriranja) određena je građom i karakteristikama obrazovanog difuzionog sloja. Da li će se izbeći operacija sinterovanja ili ne, zavisi pre svega od toga, kakve se osobine od proizvoda traže posle hemijsko-termičke obrade, a s obzirom na to da su građa i fazni sastav difuzionih slojeva na sinterovanom i hemijsko-termički obrađenim uzorcima skoro isti. Kada su režimi sinterovanja i hemijsko-termičke obrade bliski, kao što je uostalom to slučaj pri boriranju, prednost treba dati hemijsko-termičkoj obradi, što je i učinjeno u ovim istraživanjima. U slučaju da se temperature razlikuju za 200 °C i više, tada treba prethodno izvršiti sinterovanje.

LITERATURA

[1] P.A. Kulu, O.D. Bussel, V. S. Puginuss, *Poroshk Metall.* **7** (1971) 28.

- [2] B. F. Shibryaev, Yu. N. Gribenyuk, T. A. Shuvalova, *Poroshk Metall.* **78** (6) (1969) 40.
- [3] C. Martini, G. Palombarini, M. Carbucicchio, *J. Mater. Sci.* **39** (2004) 933.
- [4] Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Протасевич, *Химико-термическая обработка металло-керамических материалов*, Наука и техника, Минск, 1977.
- [5] E. Požega, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2008.
- [6] S. Ivanov, B. Stanojević, *Sci. Sinter.* **35** (2) (2003) 93.
- [7] E. Požega, S. Ivanov, *Hem. ind.* **62** (3) (2008) 164.
- [8] G.I. Krasovskiy, G.F. Filaretov, *Planirovanie eksperimenta*, Nauka i tehnika, Minsk, 1982.
- [9] I. Pantelić, *Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta*, Novi Sad, 1976.
- [10] S. Chatterje, B. Price: *Regression Analysis by Example*, 2nd ed., Wiley, New York 1991.
- [11] A. Šalák, M. Selecka, *Powder Metall. Prog.* **3** (12) (2002) 161.
- [12] I.V. Pohmurskiy, V.G. Karpenko, *Physical-chem. mechan. mater.* **3** (1967) 4 (in Russian).
- [13] C.V. Robino, M.J. Cieslak, *Metall. Mater. Trans. A* **26A** (7) (1995) 1673.

SUMMARY

THE POSSIBILITY OF THE BORONIZING PROCESS ON THE PRESSED SAMPLES OF IRON POWDER

Emina D. Požega¹, Svetlana L.J. Ivanov², Vesna T. Conić¹, Branislav M. Čadenović¹

¹Mining and Metallurgy Institute Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, Serbia

²Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, VJ 12, 19210 Bor, Serbia

(Scientific paper)

The paper presents results of the experimental investigation of the boronizing process on nonsintering iron powder samples (NC100.24, Höganäs, Sweden). Experiments are planned within the limits of applicability of simultaneous sintering at chemical-thermal treatment process (boronizing). The simplex plan of 15 experimental points was used for the experiment, while a polynomial function of fourth degree was employed in the modeling of a mixture composition based on the volume changes, porosity and the depth layer changes. Boronizing was carried out in mixture with born carbide by addition of ammonium bifluoride, ammonium chloride and boron potassium fluoride as activators, by proportion defined plan.

Ključne reči: Železni otpresak • Sinterovanje • Boriranje

Key words: Iron compact • Sintering • Boronizing