

ZGOSTITEV PRAHU NiAlTiMo

CONSOLIDATION OF NiAlTiMo POWDER

MATJAŽ TORKAR, B. ŠUŠTARŠIČ

IMT, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Med različnimi materiali za visokotemperaturno uporabo so Ni-aluminidi na nekaterih področjih uporabe primeren nadomestek za Ni-superzlitine. Glavni pomanjkljivosti Ni-aluminidov sta majhna duktilnost in nizka žilavost, številne raziskave so usmerjene v izboljšanje teh lastnosti. Atomiziran in mlet prah NiAlTiMo smo vroče stisnili v predobliko. To smo vstavili, prah pa nasuli v jeklen vsebnik in preizkusili zgoščevanje z vročim valjanjem. Predstavljeni so rezultati zgoščevanja prahu NiAlTiMo.

Ključne besede: Ni-aluminid, atomiziran prah, mlet prah, vroče stiskanje, vroče valjanje v jeklenem kontejnerju

Among the various potential high temperature materials, Ni-aluminides are prime candidates as alternative materials for replacement of Ni-super alloys in some applications. The main problem of Ni-aluminides is lack of ductility and toughness and many research efforts are directed to improve these properties. Atomized and milled powders of NiAlTiMo were hot pressed into preform. Hot rolling of powder and preform, both closed in steel container was tested. The results of densification of NiAlTiMo powder are presented.

Key words: Ni-aluminide, atomized powder, milled powder, hot pressing, hot rolling in a steel container

1 UVOD

Med različnimi potencialnimi materiali za uporabo pri visokih temperaturah so Ni-aluminidi, na nekaterih področjih uporabe^{1,2}, najprimernejši alternativni material za nadomestitev Ni-superzlitin. Glavna pomanjkljivost Ni-aluminidov je pomanjkanje duktilnosti in žilavosti.

Zato se preizkuša različne kombinacije sestave in tehnike zgoščevanja, ki naj bi omogočile doseganje boljše preoblikovalnosti in boljših mehanskih lastnosti.

Predstavljeni so rezultati preizkusa konsolidacije atomiziranega prahu in atomiziranega ter dodatno mletega prahu NiAlTiMo.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

Plinsko atomiziran ter atomiziran in zmleti prah smo dobili iz CEREM, Grenoble, Francija. Izvršili smo kemijsko analizo, sejalno analizo prahu na granulometru HR-850 B ter metalografsko analizo, morfologijo prahu pa smo pregledali na vrstičnem mikroskopu.

Kemijska sestava prahu je prikazana v **tabeli 1**.

Tabela 1: Kemijska sestava prahu
Table 1: Chemical composition of powder

Vzorec Stanje	Prah 1 atomiziran in zmlet	Prah 2 atomiziran
Ni (%)	66,4	47,8
Al (%)	30,6	50,6
Ti (%)	1,6	1,65
Mo (%)	1,4	0,42

Obe vrsti prahu smo vroče stisnili v grafitnem orodju v predobliko dimenzij 10x10x40 mm. Prah 1 smo stisnili

s 40 MPa pri temperaturi 1150°C, prah 2 pa s 45 MPa pri temperaturi 1250°C.

Postopek stiskanja je bil naslednji: segrevanje 8 minut na 1100°C (prah 1) oziroma do 1250°C (prah 2), sintranje s stiskanjem 16 minut na temperaturi in ohlajanje 6,5 minut do 440°C. Po stiskanju smo izvršili metalografski pregled vzorcev in izmerili gostoto s potapljanjem stisnjene predoblike v vodo. Predoblike smo nato zaporedno vložili, prah pa nasuli, v utor vsebnika. Oba vzorca sta bila medsebojno ločena z vmesnim vložkom iz jekla. Dvodelni vsebnik smo nato zaprli in stike zavarili. Tako smo imeli v istem paketu vroče stisnjeno predobliko in nasuti prah.

Višina paketa je bila 30 mm. Paket smo nato segreli na 1100°C in izvaljali na dve debelini, 13 mm in 4 mm, kar je 56% oziroma 86% stopnja deformacije s končno temperaturo valjanja 980°C oziroma 850°C.

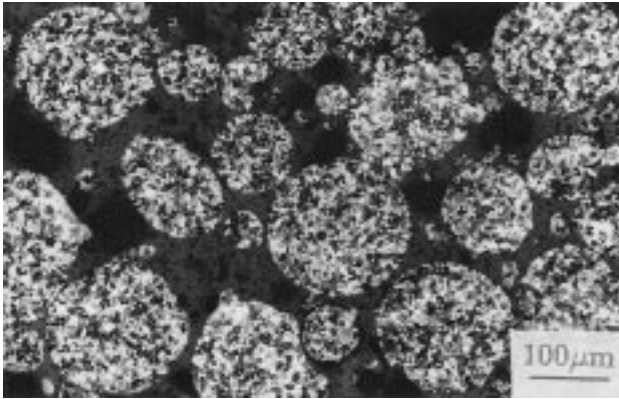
Po vročem valjanju smo izvršili metalografski pregled prečnega in vzdolžnega prereza izvaljane lamele.

3 REZULTATI

Sejalna analiza prahov je pokazala, da imata obe vrsti prahov bimodalno razporeditev zrn, ki je bolj izrazita pri atomiziranem prahu 2. Povprečna velikost delcev v prahu 1 je 14,7 µm, v atomiziranem prahu 2 pa 132 µm.

V prahu 1 so zrna mnogo manjša in zaradi dodatnega mletja sploščena, zrna v atomiziranem prahu 2 pa so okrogla. Na **sliki 1** je prikazan atomiziran prah 2, kjer prevladujejo okrogla zrna.

Vročje stisnjeno predobliko iz obeh vrst prahov prikazuje **slika 2**. Površina predoblike je gladka in ni opaziti por.



Slika 1: Plinsko atomiziran prah. Jedkano z Marblvim jedkalom
Figure 1: Micrograph of gas atomized powder. Etched with Marble's etchant

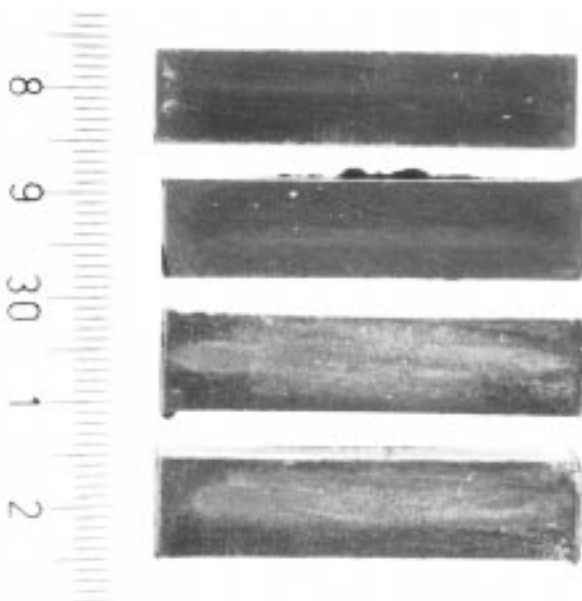
Po vročem stiskanju smo izmerili gostoto obeh predoblik s potapljanjem v vodo in trdoto po Rockwellu. Rezultati so prikazani v **tabeli 2**.

Tabela 2: Trdota in gostota po vročem stiskanju prahu v predobliko
Table 2: Hardness and density of hot pressed preform

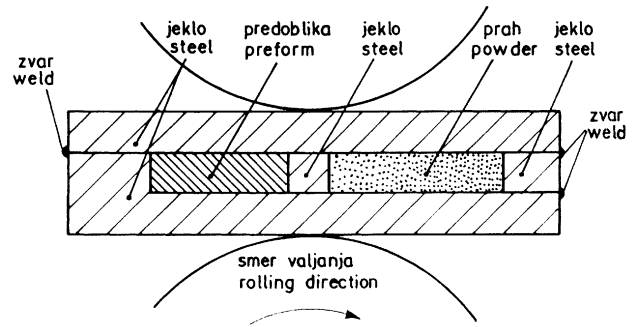
Vzorec	Trdota (HRC)	Gostota (g/cm ³)
Predoblika iz prahu 1	37	5,77
Predoblika iz prahu 2	39	5,96

Večja gostota predoblike iz prahu 2 po stiskanju je posledica uporabe večjega tlaka in višje temperature med stiskanjem.

Po valjanju jeklenega vsebnika v trak - presek in položaj vzorcev je shematsko prikazan na **sliki 3**, - smo le-tega ohladili na zraku ter ga prerezali prečno in vzdolžno za metalografske preiskave. **Sliki 4a in b** pri-



Slika 2: Vroče stisnjene predoblike
Figure 2: Hot pressed preforms

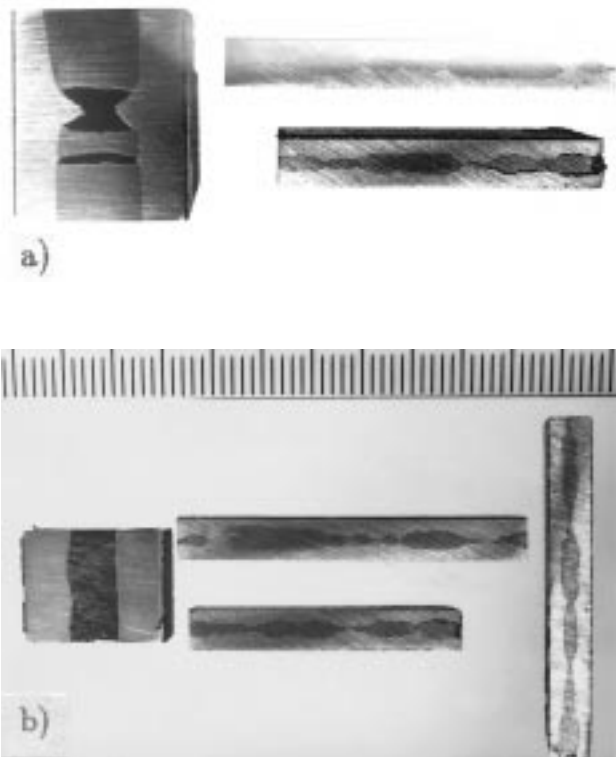


Slika 3: Shematski prikaz prereza vsebnika iz jekla, z vstavljenimi vzorci pred vročim valjanjem

Figure 3: Schematicall presentation of steel container, with samples for hot rolling

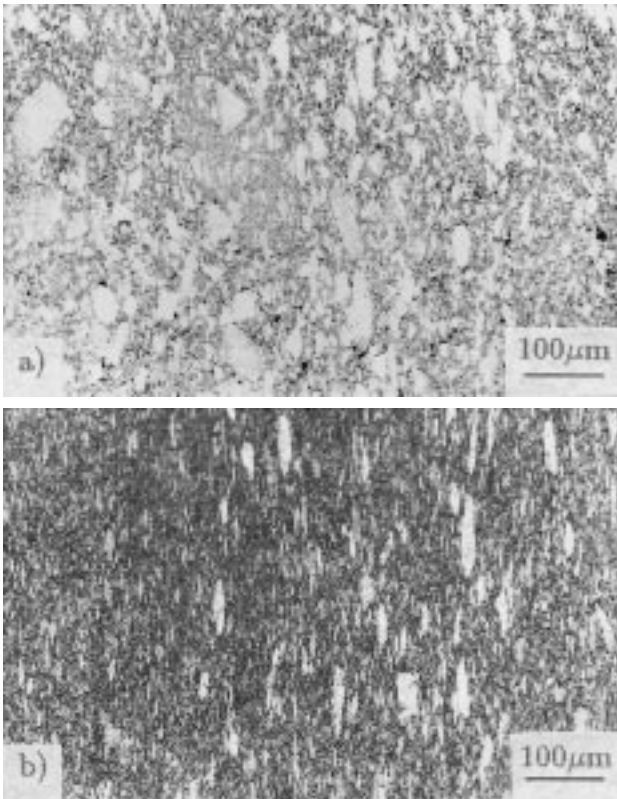
kazujeta vzdolžni prerez vroče valjane predoblike iz prahu 1 pri 56% in 86% deformaciji, **slika 5** pa vzdolžni prerez vroče valjanega nasutega prahu 1 pri 56% in 86% stopnji deformacije. Pregled mikrostrukture je pokazal, da pri 56% stopnji deformacije še ni dosežena zgostitev predhodno stisnjenega materiala ali nasutega prahu 1, pri 86% deformaciji pa ni opaziti razlike med obema vzorcema.

Vzdolžni prerez, prikazan na **slikah 4a in b**, pokaže, da se material med deformacijo raztrga že pri manjših stopnjah deformacije. Pri nadaljnji vroči deformaciji se



Sliki 4a in b: Vzdolžni prerez traku po vročem valjanju s 56% in 86% deformacijo **a)** vložena predoblika prahu 1, **b)** nasuti prah 1

Figure 4a and b: Longitudinal section of hot rolled band after 56% and 86% of deformation, **a)** inserted preform of powder 1, **b)** powder 1



Sliki 5a in b: Mikrostruktura vzdolžnega prereza vroče valjanega traku z vloženo predobliko iz prahu 1, **a)** po 56% deformaciji in **b)** po 86% deformaciji

Figure 5a and b: Micrograph of longitudinal section of hot rolled band with inserted preform of powder 1, **a)** after 56% of deformation and **b)** after 86% of deformation

aluminid drobi, kar je razvidno iz neenakomerne debeline aluminida na vzdolžen prerezu valjanega traku.

To pomeni, da je kljub hidrostatičnim razmeram med valjanjem realna stopnja deformacije aluminida manjša kot pa pri jeklu, ki obdaja aluminid.

Mikrostruktura vzdolžnega prereza valjanega traku z vloženo predobliko (prah 1 - atomizirano in zmleto) pri 56% deformaciji in pri 86% deformaciji je prikazana na **slikah 5 a in b**. Na vzdolžnem prerezu na **sliki 5a** opazimo delno razpotegnjena zrna in med njimi preostalo poroznost. Material torej še ni zgoščen. Na **sliki 5b** pa je prikazan isti material po 86% deformaciji. Delci so še bolj razpotegnjeni in material se je popolnoma zgostil.

Na vzdolžnem prerezu valjanega vsebnika z vloženo predobliko lahko na posameznih mestih opazimo pojav kontrakcije preseka aluminida, podobno tisti na vzdolžnem prerezu vzorcev pri nateznem preskusu. Na posameznih mestih se v mikrostrukturi pojavlja dekohez-

ija, ki pri nadaljnji deformaciji raste in lahko povzroči porušitev. Na vzdolžnem prerezu valjanega traku na **slikah 4a in b** je lepo vidna neenakomerna debelina aluminida. To potrjuje, da ima aluminid tudi pri vroči deformaciji v zaprtem vsebniku omejeno deformabilnost.

Zanimiva bi bila primerjava preoblikovanosti aluminida z vročim valjanjem v kontejnerju, ki bi bil narejen iz materiala s težjo preoblikovalnostjo, kot je na primer nikljeva superzlitina.

4 SKLEPI

Atomiziran in zmleti prah NiAlTiMo imata bimodalno razporeditev zrn.

Povprečna velikost zrn v atomiziranem in zmlemem prahu 1 je 14,7 μm , pri atomiziranem prahu 2 pa 132 μm .

Pri zgoščevanju vroče stisnjene predoblike iz atomiziranega in zmletega ali samo atomiziranega prahu NiAlTiMo z vročim valjanjem v vsebniku iz jekla dobimo pri 56% deformaciji nepopolno zgoščen, pri 86% deformaciji pa popolnoma zgoščen aluminid. Enaka opažanja so pri neposredni konsolidaciji z vročim valjanjem obeh vrst prahu v jeklenem vsebniku.

NiAlTiMo je možno konsolidirati z vročim valjanjem v vsebniku iz jekla, vendar kaže aluminid omejeno preoblikovalnost pri vroči deformaciji. Pojav kontrakcije na mestu porušitve je dokaz, da ima aluminid omejeno duktilnost. Če je presežena meja duktilnosti, se med nadaljnjo deformacijo z vročim valjanjem v zaprtem vsebniku prične NiAlTiMo drobiti in je zato realna stopnja deformacije aluminida manjša od stopnje deformacije vsebnika.

Nadaljnje raziskave bodo natančneje opredelile mejo duktilnosti NiAlTiMo po konsolidaciji.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva Ministrstvu za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, ki je financiralo to raziskavo v okviru projekta Brite Euram CEASI 1992-96 projekta s pogodbo št. MS 48-96.

5 LITERATURA

- ¹ D. M. Dimiduk, D. B. Miracle, C. H. Ward: Development of intermetallic materials for aerospace systems, *Materials Science and Technology*, 8 (1992) 367-375
- ² S. Naka, M. Thomas, T. Khan: Potential and prospects of some intermetallic compounds for structural applications, *Materials Science and Technology*, 8 (1992) 291-298