

**UTJECAJ PROCESA KOVANJA NA HOMOGENIZACIJU  
MIKROSTRUKTURE SUPERLEGURE NIMONIC 80A**

**INFLUENCE OF FORGING PROCESS ON HOMOGENIZATION  
MICROSTRUCTURE OF SUPERALLOY NIMONIC 80A**

**mr Derviš Mujagić, dipl. inž.,  
Metalurški institut „Kemal Kapetanović“  
Zenica**

**v. prof. dr Diana Čubela, dipl. inž.  
Fakultet za metalurgiju i materijale  
Zenica**

**prof. dr Mirsada Oruč, dipl.inž.  
Metalurški institut „Kemal  
Kapetanović“  
Zenica**

**REZIME**

*Nimonic legura je dizajnirana za rad na povišenim temperaturama i kao takva je teška za obradu vrućom deformacijom. To je naročito izraženo prilikom obrade ingota. Tipična struktura ingota Nimonic legure sastoji se iz vrlo uske zone sitnih globularnih zrna uz zid kalupa, široke zone grubih stubastih kristala i centralne zone grubih ekviosnih zrna. Srednje široko područje solidifikacije, mala brzina solidifikacije i hlađenja ovih legura može uzrokovati pojavu izraženih makrosegregacija koje se zadržavaju u strukturi i nakon značajnog stepena termomehaničke obrade i pogoršavaju mehanička svojstva.*

*Glavni cilj obrade ingota kovanjem je profinjenje zrna strukture ingota, odnosno razbijanje trozonske livene strukture ingota. Cilj rada je bio da utvrdi stepen strukturnih promjena trozonske livene strukture nakon kovanja sa stepenom prerade od 25 i 50%, i da li je taj stepen promjena imao pozitivnog utjecaja na daljni proces prerade vrućom deformacijom (valjanje) i kvalitet proizvoda.*

**Gljučne riječi:** Nimonic legure, makro i mikrosegregacije, kovanje, kvalitet proizvoda

**SUMMARY**

*Nimonic alloy is designed to operate at elevated temperatures and as such it is difficult to perform hot deformation. This is especially pronounced when processing the ingot. Typical ingot structures in the Nimonic alloys consists of a very narrow zone of small globular grains with mould wall, a wide coarse columnar zone, and coarse equiaxed grains in the centre of the ingots. The moderately wide solidification range and low rate of solidification and cooling of these alloys can give rise to extensive macrosegregation that persist even after considerable thermomechanical working and reduce mechanical properties of the material.*

*The main intention of working ingot by forging is grain refinement of the structure of ingots, concerning breaking cast ingot structure. The aim of this study was to determine the degree of structural changes cast structure after forging with the degree of processing of 25 and 50%, and whether the degree of change had a positive impact on the further process of treating hot deformation (rolling) and product quality.*

**Keywords:** Nimonic alloys, macro and microsegregations, forging, product quality

## 1. UVOD

Superlegure su dizajnirane za upotrebu u temperaturnom intervalu od 600° do 1150 °C u uslovima djelovanja visokih opterećenja i agresivnih medija, zbog čega moraju imati visoke vrijednosti otpornosti na puzanje, koroziju i oksidaciju [1].

Nimonic<sup>1)</sup> je superlegura na bazi nikla i kroma i pripada grupi legura koje se oblikuju plastičnom preradom. Karakteristične su po svojoj niskoj toplotnoj provodnosti, srednje širokom području solidifikacije i visokoj razlici specifičnog volumena u tečnom i čvrstom stanju. Zbog toga ingoti ovih legura imaju izraženu grubozrnatu strukturu, makro i mikrosegregacije, visoke unutrašnje napone, i skloni su vrućem pucanju.

Ingoti Nimonic legure, kao i kod većine materijala sa niklovom osnovom, su karakterizirani općenito grubom kristalnom strukturom. Segregacije na makro i mikro nivou legirajućih elemenata zajedno sa zarobljenim produktima dezoksidacije zahtijevaju preciznu kontrolu operacija vruće prerade ingota.

Metode kovanja moraju uzeti u obzir oblik materijala i strukturu. Gruba stubasta struktura konvencionalno livenih ingota zahtijeva pažljivu početnu redukciju da bi se izbjeglo pucanje površine. Ovakvi prekidi u niki-kromovim legurama ne nestaju ni tokom operacija koje slijede, niti se mogu ukloniti skidanjem površinskog omotača. Defekti prodiru dublje sa svakim slijedećim prolazom. Zato kovačke tehnologije počinju sa serijom tzv. lakih prolaza, a onda se nastavljaju koristeći nizove kalibracije kvadrat-pravougaonik-kvadrat ili osmougaonik-osmougaonik, ili kombinaciju oba, uz često okretanje šipke. Sa ovom tehnikom izbjegava se formiranje oštih ivica s obzirom da one uzrokuju brže hlađenje i formiranje pukotina.

## 2. ISPITIVANJE MAKRO I MIKROSTRUKTURE ODLIVENIH INGOTA NIMONIC 80A

U skladu sa programom ispitivanja u Zavodu za topljenje i livenje metala Metalurškog instituta "Kemal Kapetanović" izrađene su tri taline različitog sadržaja legirajućih elemenata aluminija i titana. Topljenje i livenje superlegure Nimonic 80A vršeno je u vakuumskoj indukcijskoj peći kapaciteta 20 kg, maksimalne snage 40 kW (slika 1). Peć je namijenjena za proizvodnju tečnog metala visoke čistoće.



*Slika 1. Vakuumska indukcijska peć (VIP) 20 kg (proizvođač Leybold Heraeus – Njemačka, tip IS 2/III)*

<sup>1)</sup> Nimonic – registrovana trgovačka marka firme Henry Wiggin and Co. Ltd. [2, 3]

Kemijski sastav visokotemperaturne kovane legure Nimonic 80A je dat u tabeli 1.

Tabela 1. Kemijski sastav visokotemperaturne legure Nimonic 80A [5,7]

maseni %											
C	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Co	Mo	Cu	Zr	B	Fe
0,04	max.	max.	18,0	1,80	1,00	max.	max.	max.	0,04	0,0015	max.
0,10	1,0	1,0	21,0	2,70	1,80	2,0	0,3	0,2	0,10	0,005	1,0

Uzorci za ispitivanja su uzeti od sve tri taline i to neposredno uz glavu ingota. Nakon pripreme uzoraka izvršeno je nagrizanje u vrućem 50% vodenom rastvoru HCl u trajanju od 20 minuta. Ispitivanje mikrostrukture je izvršeno na optičkom mikroskopu tipa OLYMPUS BX60M, pri povećanju od 50x.

Kod dva od tri uzorka koji su u *livenom stanju* (uzorci 2 – 1 i 3 – 1) može se uočiti trozonska livena struktura. Prva, odnosno rubna zona slučajno orijentiranih sitnijih zrna slabije je izražena kod sva tri uzorka. Druga, odnosno zona stubastih kristala sa jakim usmjerenjem je jasno izražena kod sva tri uzorka, s tim da se kod uzorka 1 – 1 proteže do samog centra uzorka, tako da kod tog uzorka nema treće, centralne zone. Općenito posmatrano stubasti kristali su u početku izduženi i sitniji, a prema centru nešto krupniji. Treća, centralna, zona globularnih slučajno orijentiranih zrna jasno je izražena kod uzoraka 2 – 1 i 3 – 1.



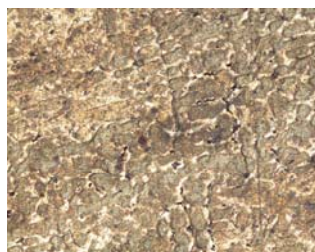
Slika 2. Uzorak 1 - 1



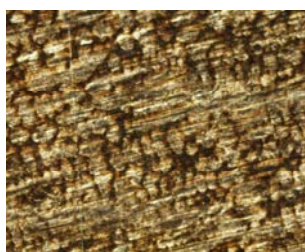
Slika 3. Uzorak 2 - 1



Slika 4. Uzorak 3 - 1



Slika 5. Uzorak 1 – 1: Izgled dendrita u centralnoj zoni, x50



Slika 6. Uzorak 2 – 1: Izgled dendrita u centralnoj zoni, x50



Slika 7. Uzorak 3 – 1: Izgled dendrita u centralnoj zoni, x50

Dendritna struktura je jasno vidljiva kod sva tri livena uzorka. Dendriti su, općenito posmatrano, u rubnoj zoni oštrij i duži, uslijed veće brzine hlađenja, odnosno bržeg odvođenja toplote pri rubovima (što je naročito izraženo kod uzorka 3 – 1), dok idući prema centru postaju kraći, odnosno zaobljeniji i širi (kao kod uzorka 2 – 1 gdje su dendriti u centralnoj zoni u potpunosti zaobljeni, gotovo krstasti).

### 3. ISPITIVANJE MAKRO I MIKROSTRUKTURE KOVANIH UZORAKA

Nakon livenja ingoti su u Zavodu za plastičnu preradu metala Metalurškog instituta "Kemal Kapetanović" bili podvrgnuti primarnoj vrućoj plastičnoj preradi, pri čemu su uzorci za dalja ispitivanja makro i mikrostrukture uzimani nakon ukupnog stepena deformacije od 25, odnosno 50%. Svi uzorci su prekovani na hidrauličnoj presi snage 44 kW (slika 8). Temperaturni interval kovanja je od 950 °C do 1170 °C. Vrijeme dogrijavanja nakon zahlađenja komada iznosi 10 min. Pojedinačna deformacija iznosi 5 mm.



Slika 8: Hidraulična presa (proizvođač: Pitzmann und Pfeiffer-Njemačka, tip PO 200/4)

Uzorci su nagriženi u vrućem 50% vodenom rastvoru HCl u trajanju od 20 minuta. Ispitivanje mikrostrukture je izvršeno na optičkom mikroskopu tipa OLYMPUS BX60M pri povećanju od 50x.



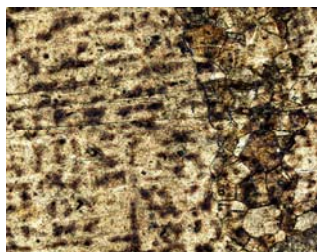
Slika 9. Uzorak 1 - 2



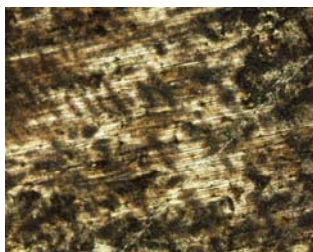
Slika 10. Uzorak 2 - 2



Slika 11. Uzorak 3 - 2



Slika 12. Uzorak 1 – 2: Izgled dendrita u prijelaznoj zoni, x50



Slika 13. Uzorak 2 – 2: Izgled dendrita u centralnoj zoni, x50



Slika 14. Uzorak 3 – 2: Izgled dendrita u centralnoj zoni, x50



Kod sva tri uzorka se i nakon 25% deformacije (uzorci 1 – 2, 2 – 2 i 3 – 2) još uvijek zadržao visok stepen trozonske livene strukture. Prva zona se zadržala kod svih uzoraka. Zona stubastih kristala se može jasno uočiti kod sva tri uzorka, s tim da su stubasti kristali sitniji. Treća, centralna, zona se karakteriše prisustvom krupnijih zrna poligonalnog oblika i prisutna je čak i kod uzorka 1 – 2, iako kod ovog uzorka u livenom stanju, dakle uzorka 1 – 1, nije bila prisutna.

Dendritna struktura je jasno vidljiva i kod sva tri uzorka koji su deformirani sa stepenom deformacije od 25%. Kod sva tri navedena uzorka prisutna su krupna, nedeformirana zrna unutar kojih se jasno može vidjeti dendritna struktura. Ona je, međutim, već pomalo deformirana i nije tako izražena kao kod uzoraka u livenom stanju. Dendriti su, u odnosu na liveno stanje, tanji i sitniji.

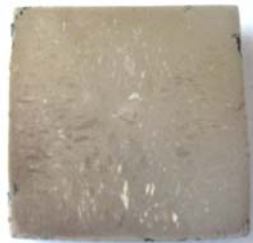
Kod sva tri uzorka se i nakon 50% deformacije (uzorci 1 – 3, 2 – 3 i 3 – 3) mogu uočiti ostaci trozonske, livene strukture, što se kod uzorka 2 – 3 karakteriše prisustvom stubastih kristala, izraženih na dvije strane uzorka, a kod svih ostalih uzoraka prisustvom većih, nedeformiranih zrna.



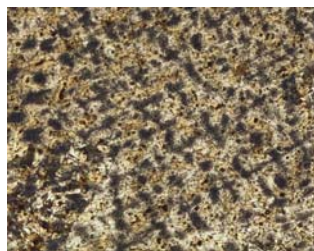
Slika 15. Uzorak 1 - 3



Slika 16. Uzorak 2 - 3



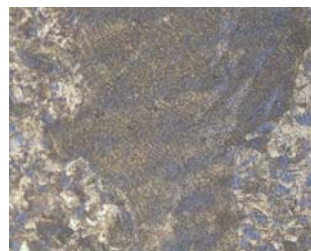
Slika 17. Uzorak 3 - 3



Slika 18. Uzorak 1 – 3: Izgled dendrita unutar jednog krupnog zrna, x50



Slika 19. Uzorak 2 – 3: Izgled strukture golim okom vidljivog zrna, x50



Slika 20. Uzorak 3 – 3: Izgled dendrita unutar jednog krupnog zrna, x50

Takvih zrna je najviše kod uzorka 3 – 3, nešto manje kod uzorka 2 – 3, a najmanje kod uzorka 1 – 3, što se može dovesti u vezu s kemijskim sastavom superlegure, odnosno sa sadržajima legirajućih elemenata titana i aluminija, te konstatirati da je sa porastom sadržaja nevedenih elemenata veći broj krupnih, nedeformiranih zrna, odnosno veći je procenat livene, dendritne, strukture koja je ostala netransformirana. Slično kao i kod uzoraka sa manjim stepenom deformacije – 25%, i ovdje su dendriti tanji i sitniji.

## 6. ZAKLJUČAK

S obzirom na veličinu ingota (težina oko 17,0 kg) nije bilo makrosegregacija, a ni mikrosegregacije, iako prisutne, nisu u tolikoj mjeri izražene da bi se negativno odrazile na mehanička svojstva proizvedenih ingota kao ni na njihovu deformabilnost, te je kovanje proteklo bez nekih većih problema.

Međutim, kemijski sastav, tj. prisustvo legirajućih elemenata ima značajnog utjecaja na građu trozonske livene strukture. Tako npr. povećanje sadržaja aluminija i titana u značajnoj mjeri utječe na smanjenje deformabilnosti i povećanje otpora deformaciji superlegure Nimonic 80A, a iz toga proizilazi i sužavanje područja dobre plastičnosti superlegure [6].

Stepen prerade kovanjem od 50% nije dovoljan da se u potpunosti razbije livena struktura, pa time ni da se postigne zadovoljavajuće profinjenje zrna što je i primarni cilj operacije kovanja. Iz ovoga se nameće zaključak da je neophodno primijeniti veći stepen prerade polufabrikata, naročito u slučajevima većih sadržaja legirajućih elemenata, a u cilju postizanja zadovoljavajućeg ujednačavanja veličine zrna a time i boljih mehaničkih svojstava.

## 7. LITERATURA

- [1] Oruč M., Sunulahpašić R.: Savremeni metalni materijali, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2005;
- [2] Voice W.E., . Faulkner R.G: Carbide stability in Nimonic 80A alloy, Metallurgical transaction A, Volume 16A, April 1985;
- [3] Muzyka D.R.: Physical metallurgy and effects of process on the microstructure of wrought superalloys, Superalloys source book, A collection outstanding articles from the technical literature, American society for metals, 1984;
- [4] Verlinden B., Driver J., Samajdar I., Doherty R.: Thermo-Mechanical Processing of Metallic Materials, 11, ELSEVIER, June 2007;
- [5] Betteridge W., Heslop J.: The Nimonic alloys and other nickel-base high-temperature alloys, Edward Arnold Limited, London, Second edition 1974;
- [6] Mujagić D.: Promjene makro i mikrostrukture superlegure Nimonic 80A u toku kovanja ingota, Magistarski rad, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2010;
- [7] Standard: BS 2HR1: 1973;