

B.Đurić, S.Zec, Lj.Nedeljković\* i Z.Mišković  
Institut za nuklearne nauke "Vinča"  
P.fah 522, 11001 Beograd  
\*Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

## USLOVI NASTAJANJA I TRANSFORMACIJE METASTABILNE $\gamma'$ FAZE U SISTEMU Ni-Al-Ti

### CONDITIONS FOR THE OCCURANCE AND TRANSFORMATION OF A METASTABLE $\gamma'$ PHASE IN THE Ni-Al-Ti SYSTEM

**SADRŽAJ** - Rendgenostrukturmom analizom ispitan je fazni sastav grupe legura iz sistema Ni-Al-Ti. U leguri bogatoj titanom utvrđeno je prisustvo metastabilne  $\gamma'$  faze koja visoko temperaturnim žarenjem prelazi u stabilnu  $\eta$  fazu. Pretpostavlja se da se ovaj preobražaj odvija difuzijom titana.

**ABSTRACT** - The phase composition of a series of alloys in the ternary Ni-Al-Ti system was determined by x-ray diffraction analysis. The existence of a metastable  $\gamma'$  phase, which upon high temperature annealing transforms into the equilibrium  $\eta$  phase, was observed in a titanium rich alloy. An assumption is made that this transformation proceeds by the diffusion of titanium.

#### 1. UVOD

Legure nikla sa aluminijumom i titanom čine osnovnu komponentu tzv. superlegura koje se koriste za visokotemperaturne primene, kao što su npr. lopatice mlaznih avionskih motora. Zato je vrlo značajna strukturna stabilnost ovih legura na povišenim temperaturama.

U binarnom sistemu Ni-Ti zapaženo je prisustvo metastabilne  $\gamma'$  faze u oblasti u kojoj su po dijagramu stanja stabilne  $\gamma$  i  $\eta$  faze [1]. Cilj ovog rada je bilo ispitivanje uslova nastajanja i transformacije metastabilne  $\gamma'$  faze u trojnom sistemu Ni-Al-Ti. U tu svrhu ispitivana je serija trojnih legura, sa konstantnim sadržajem nikla, u kojima se prilikom livenja dobija smeša  $\gamma + \gamma'$  faza [2].  $\gamma'$  faza u jednoj od tih legura bila je metastabilna.

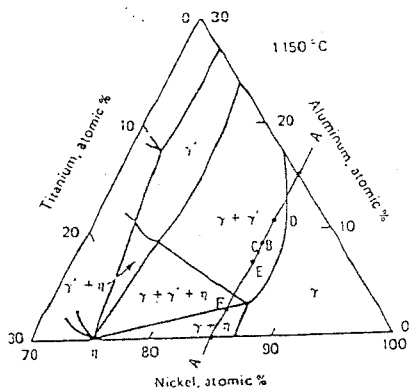
#### 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo ovog ispitivanja sastojao se od livenja legura, termijske analize istih, izotermalnog žarenja praćenog kaljenjem i rendgenostrukturmne analize livenih i žarenih legura.

Za ovo ispitivanje odabrano je pet legura sa konstantnim sadržajem Ni od 15%, čiji je sastav dat u tabeli 1, a položaj u trojnom dijagramu stanja na sl.1.

Legure su odlivene od clemenata čistoće 99.99% u vakuum indukcionoj peći pri vakuumu od  $10^{-2}$  mbar. Uzorci legure podvrgnuti su termičkoj analizi u vakuum peći pri konstantnoj brzini hlađenja od  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Rezultati termijske analize prikazani su na dijagramu 2. Uzorci legura izotermno su žareni na temperaturama od  $750^{\circ}\text{C}$ ,  $850^{\circ}\text{C}$  i  $1150^{\circ}\text{C}$  u atmosferi Ar i kaljeni u smeši leda i vode.

Difraktogrami livenih i žarenih legura dobijeni su sa  $\text{CuK}\alpha_1$  zračenjem.



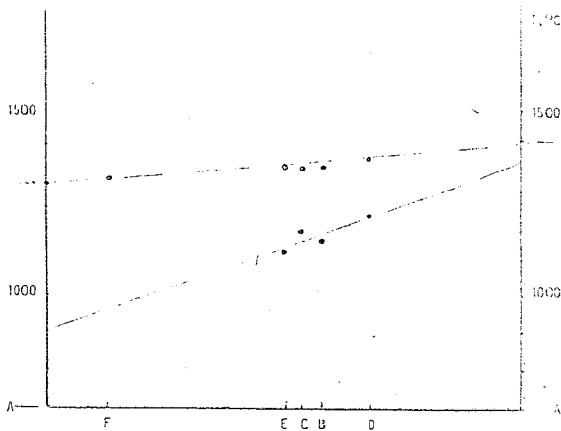
Sl.1. Dijagram stanja trojnog sistema NI-Al-Ti (1150°C) sa položajem ispitivanih legura

Tabela 1. Sastav ispitivanih legura

legura	Al %at	Ti %at
B	8	7,2
C	7,2	8
D	10,2	5
E	6,6	8,8
F	2	13,2

### 3. REZULTATI

Termijska analiza uzoraka ispitivanih legura pokazuje da se prilikom hlađenja dobijaju jasno izraženi zastoji koji odgovaraju tačkama likvidusa ovih legura. Na temperaturama 150 do 250°C ispod likvidusa zapažaju se na krivama hlađenja slabo izraženi prevoji. Ovi prevoji, kao i tačke likvidusa, ucrtani su u dijagram na slici 2. Dijagram predstavlja vertikalni presek A-A kroz trojni dijagram stanja dat na slici 1, i odgovara konstantnom sadržaju nikla od ~15%. Preseci pravih linija koje prolaze kroz tačke likvidusa, odnosno donjih prevoja, sa vertikalnim koordinatnim osama, daju tačke koje leže u graničnim binarnim dijagramima Ni-Al (desno) i Ni-Ti (levo). Na ovim osama ucrtane su tačke likvidusa legura nikla sa 15% Ti odn. 15% Al, iz odgovarajućih binarnih dijagrama stanja.



Sl.2. Rezultati termijske analize ispitivanih legura.

Rendgensko ispitivanje pokazuje da se u livenom stanju sve ispitivane legure sastoje od smeše  $\gamma + \gamma'$  faza. Žarenje legura obeležnih sa B, C, D i E u temperaturnom intervalu između 750 i 1150°C kvalitativno ne menja fazni sastav. Legura F se ponaša drukčije. Prilikom žarenja na rendgenogramima se pojavljuju difrakcione linije  $\eta$  faze, a nestaju linije  $\gamma'$  faze. Ovi rezultati prikazani su šematski na slici 3, gde su predstavljeni delovi difraktograma ( $2\theta = 40-55^\circ$ ) na kojima se pojavljuju karakteristične linije prisutnih faza.

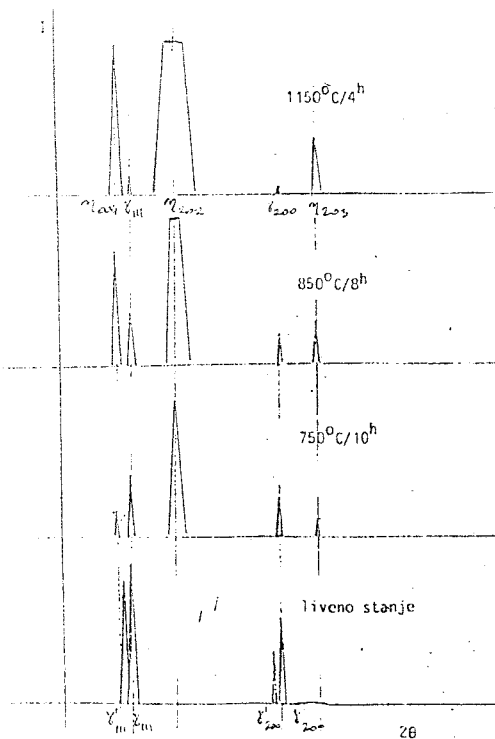
#### 4. DISKUSIJA

Iz dijagrama na slici 2 se vidi da eksperimentalno određene tačke likvidusa ispitivanih legura leže (približno) na pravoj liniji koja spaja tačke likvidusa obe granične binarne legure sa 85% nikla. Iz dijagrama stanja binarnih sistema Ni-Al i Ni-Ti poznato je da je razlika između temperature likvidusa i solidusa legura koje očvršćavaju primarnim izdavanjem gama čvrstog rastvora, veoma mala - maksimalno 10-15°C. Dalje se iz dijagrama na slici 2 vidi da ekstrapolisana prava koja povezuje eksperimentalno određene tačke prevoja sa odgovarajućih krivih hlađenja, preseca vertikalne ose na znatno nižim vrednostima temperature od temperatura likvidusa u sistemima Ni-Al i Ni-Ti (označeni strelicama). Ovo nas navodi na pretpostavku da prevoji na krivama hlađenja, detektovani ispod temperatura likvidusa ne predstavljaju tačke solidusa već tačke početka izdavanja  $\gamma'$  faze iz čvrstog rastvora (pri korišćenju brzini hlađenja).

Posebno je interesantno ponašanje legure F. Prema ravnotežnom dijagramu stanja sistema Ni-Al-Ti ona se u čvrstom stanju, na temperaturama ispod oko 1150°C, nalazi u  $\eta + \gamma$  faznom području. Međutim, livena legura, dakle hlađena pod neravnotežnim uslovima, ne sadrži  $\eta$  fazu, već samo smešu  $\gamma + \gamma'$  faza. Mogućnost postojanja metastabilne  $\gamma'$  faze ustanovljena je i u binarnom sistemu Ni-Ti. Mada u ravnotežnom dijagramu ne postoji oblast  $\gamma + \gamma'$ , već samo  $\gamma + \eta$  između dve jednofazne oblasti  $\eta$  i  $\gamma$  faza, zapaženo je da pri livenju može da se

zadrži  $\gamma'$  faza na sobnoj temperaturi [1]. Takođe, ustanovljeno je da zakaljena jednofazna  $\gamma$  struktura u leguri nikla sa 11,8% Ti prilikom žarenja na temperaturama ispod  $900^{\circ}\text{C}$  prvo prelazi u smešu  $\gamma + \gamma'$  a zatim u ravnotežno stanje  $\gamma + \eta$  [3]. Ovi nalazi su u saglasnosti sa eksperimentalno dobijenim rezultatima u ovom radu sa legurom F. Produžetak prave koja povezuje tačke prevoja na krivama hlađenja (sl.2) preseca vertikalnu čsu, koja odgovara sistemu Ni-Ti, približno na temperaturi od  $900^{\circ}\text{C}$ . Ukoliko se pretpostavi da ovi prevoji predstavljaju prelaz  $\gamma \rightarrow \gamma + \gamma'$  onda je to u skladu sa pretpostavljenom metastabilnom  $\gamma + \gamma'$  oblašću u sistemu Ni-Ti. Kako se u leguri Ni-Ti pojavljuje metastabilna faza sa strukturom  $\gamma'$ , koja nije karakteristična za taj sistem, vrlo je logično da će se ona pojaviti u leguri koja pored titana sadrži i aluminijum - jer osnovna struktura te faze odgovara sastavu  $\text{Ni}_3\text{Al}$ .

Rezultati rendgenske difrakcije žarenih uzoraka livene legure F ukazuju na mehanizam nastajanja  $\eta$  faze. Iz slike 3 se vidi da žarenje livenjem dobijene smeše  $\gamma + \gamma'$  na  $750^{\circ}\text{C}$  nestaju linije  $\gamma'$  faze a nastaju linije  $\eta$  faze. Ovo navodi na zaključak da se sredena  $\gamma'$  faza transformiše u  $\eta$  fazu. Lambrigger i dr. su na osnovu transmisione elektronske mikroskopije legure Ni-11,8% Ti došli do sličnog zaključka.



Sl.3. Šematski prikaz promena difraktograma legure F u zavisnosti od stanja.

Povišenjem temperature žarenja smanjuje se količina  $\gamma$  faze a povećava udeo  $\eta$  faze, ve dok se na 1150°C ne dobije skoro čista  $\eta$  faza. Najverovatnije dolazi do difuzije titana iz osnovne prema talozima  $\eta$  faze. Na taj način se sistem pomera ka ravnotežnom stanju, mada e ne može zaključiti da li je posle primenjenih vremena žarenja ravnoteža dostignuta.

Ovi rezultati omogućavaju bolji uvid u proces uspostavljanja ravnoteže u trojnom sistemu Ti-Al-Ti, u kom pravcu se ova istraživanja nastavljaju.

## ZAKLJUČAK

Rendgenografsko ispitivanje legure nikla sa 2,0%Al i 13,2%Ti pokazuje da se u livenom stanju na sobnoj temperaturi dobija smeša  $\gamma+\gamma'$  faze, pri čemu je  $\gamma'$  faze metastabilna. Žarenjem a povišenoj temperaturi legure prelazi u ravnotežnu smešu  $\gamma+\eta$ , na taj način što se metastabilna  $\gamma'$  faza transformiše u stabilnu  $\eta$  fazu. Difuzijom titana uspostavlja se ravnotežni odnos stabilnih aza.

## LITERATURA

- J.R.Mihalisin, R.F.Decker, Trans. Met.Soc. AIME, 218 (1960) 507-515.
- Z.Mišković, B.Đurić, Lj.Nedeljković, V Jugoslovenski simpozijum o metalurgiji (1992), Zbornik radova 406-409.
- M.Lambrigger, H.A.Calderon, G.Kostorz, Z.Metallkd. 83 (1992) 624-629.

