

**UTICAJ TITANA NA STRUKTURU ALUMINIJUMA
I LEGURA IZ SISTEMA ALUMINIJUM-BAKAR**
**THE EFFECTS OF TITANIUM CONTENTS
ON THE STRUCTURE OF PURE ALUMINIUM AND ON
THE ALLOY STRUCTURE ALUMINIUM-COPPER**

BILJANA ZLATIČANIN*, BRANISLAV RADONJIĆ*,
BRANKA JORDOVIĆ**

**Univerzitet Crne Gore, Metalurško-tehnološki fakultet, Podgorica*

***Tehnički fakultet Čačak, Čačak*

Primljeno: 20. 11. 2002.

IZVOD

U ovom radu je ispitivan uticaj sadržaja titana u intervalu od 0 - 0,25% na strukturu legure aluminijum-bakar i na strukturu čistog aluminijuma. Uticaj sadržaja titana u leguri je praćen primjenom savremene kvantitativne mikrostrukturne analize, koristeći automatski uređaj za analizu slike QUANTIMET 500 MC linearnom metodom mjerenja na primjeru čistog aluminijuma i legura aluminijum-bakar izvršili smo određivanje veličine zrna, širine sekundarnih dendritnih grana (DAS) i širine eutektikuma (Le), kao i raspodjele po veličini (histogrami) i zapreminske udjele α - čvrstog rastvora i eutektikuma.

Uočeno je da sa porastom sadržaja titana u leguri opada srednja vrijednost veličine zrna. Izvršeno je i ispitivanje osobina ovih materijala i to: mjerenje tvrdoće i određivanje čvrstoće na pritisak.

Gljučne reči: legura, aluminijum, bakar, titan

ABSTRACT

In this paper, examines the effects of titanium contents in the interval of 0 - 0,25% on the structure of alloy aluminium - copper and on the structure of pure aluminium. By applying modern quantitative microstructure analysis the effect of the quantity of titanium in the alloy has been monitored.

By using automatic equipment for the analysis image of the QUANTIMET 500 MC and applying linear method of measurement through the example of pure aluminium and aluminium-copper alloys, we have determined grain size, dendrite arm spacing (DAS) and length eutectic (Le) as well as distribution by size (histogram) and volume parts of α - hard solution and eutectic. It has been noted that with the increase of titanium content in the alloy, the middle value of grain size decreases. Properties of these materials has been also examined including: hardness measuring and pressure strength determining.

Key words: alloy, aluminium, copper, titanium

UVOD

Cilj rada je da se ispita način formiranja i struktura čistog aluminijuma, a takode i legure aluminijum-bakar, zavisno od dodatka titana. Titan se kao modifikator strukture dodaje u obliku predlegure AlTi5B1. Predmet istraživanja u ovom radu su različiti sastavi iz sistema aluminijum-bakar, koji pokrivaju područje standardnih, ali i viših koncentracija bakra.

Posebna pažnja u ovom radu je poklonjena primjeni metode savremene kvantitativne mikrostrukturne analize pri mjerenju različitih strukturnih parametara. Ova metoda je pouzdanija, tačnija i brža u odnosu na manuelne metode metalografske analize. U industrijskim uslovima u standardnim legurama aluminijum-bakar tipična je dendritna struktura zrna. Neki radovi, kao i naša prethodna istraživanja pokazuju tendenciju stvaranja globularne strukture sa porastom sadržaja bakra. S druge strane, dodatak predlegure AlTi5B1 (odnosno titana i bora u odnosu 5:1) vrši modifikaciju strukture, tj. usitnjavanje zrna, što dodatno vodi mogućnosti upravljanja strukturom pa otuda i svojstvima.

EKSPERIMENTALNI RAD

Ekperimentalni rad je moguće podijeliti u dvije etape. Prvu etapu čini topljenje i livenje uzoraka različitih sastava iz sistema aluminijum-bakar koji pokrivaju područje standardnih ali i viših koncentracija bakra, kojima se kao modifikator strukture dodaje AlTi5B1 u opsegu 0-0,25% titana. Drugu etapu čini karakterizacija uzoraka dobijenih prethodnim topljenjem i livenjem i to korišćenjem metoda: savremene kvantitativne mikrostrukturne analize i svjetlosne (optičke) mikroskopije.

Kvantitativna mikrostrukturna analiza uzoraka izvršena je na poprečnom presjeku. Primijenjena je metoda svjetlosne mikroskopije u svijetlom polju i polarizovanom svijetlu. Mjereni su parametri livene strukture koji imaju najveći uticaj na odvijanje procesa u toku prerade legure, a istovremeno najbolje odražavaju pri tome nastale promjene. Dobijeni rezultati mjerenja strukturnih parametara su statistički obrađeni pri čemu su dobijene minimalna, maksimalna i aritmetička srednja vrijednost, kao i standardna greška.

REZULTATI I DISKUSIJA

Koristeći automatski uređaj za kvantitativnu analizu slike QUANTIMET 500 MC linearnom metodom mjerenja na primjeru čistog aluminijuma i legura aluminijum-bakar izvršili smo određivanje veličine zrna (minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti), kao i relativne standardne greške mjerenja - RSE, kao što se vidi iz Tabele I), širine sekundarnih dendritnih grana - DAS (Tabela II), kao i zapreminske udjele α -čvrstog rastvora i eutektikuma.

Tabela I - Promjena veličine zrna u funkciji sadržaja titana u leguri aluminijum-bakar

Table I - Grain size change showing copper content in the aluminium-copper alloy

UZORAK	min, μm	max, μm	sr, μm	RSE, %
Al (0%Ti)	78,94737	2210,52632	537,69559	6,53767
Al (0,08%Ti)	18,98734	303,79747	101,31646	3,45954
AlCu5 (0,08%Ti)	18,98734	215,18987	85,72152	2,59978
AlCu8 (0,08%Ti)	12,65823	189,87342	74,4962	2,81358
AlCu15 (0%Ti)	193,54839	2709,67742	810,48387	5,06863
AlCu15 (0,02%Ti)	47,61905	777,77778	230,63492	3,78064
AlCu15 (0,08%Ti)	9,375	162,5	53,0	2,94158
AlCu15 (0,15%Ti)	15,15152	121,21212	49,71717	2,99332
AlCu15 (0,25%Ti)	10,10101	126,26263	48,39966	2,76879
AlCu15Mg3 (0,08%Ti)	30,30303	212,12121	87,31313	2,42991
AlCu23 (0,08%Ti)	20,20202	151,51515	57,71717	2,91693
AlCu33 (0,08%Ti)	113,92405	721,51899	366,78722	9,03907

Tabela II - Promjena širine sekundarnih dendritnih grana (DAS) u funkciji sadržaja bakra u leguri aluminijum-bakar

Table II - Dendrite arm spacing (DAS) change showing copper content in the aluminium-copper alloy

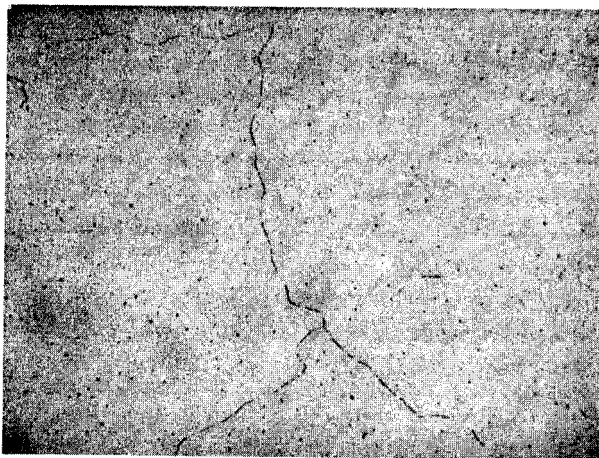
UZORAK	min, μm	max, μm	sr, μm	RSE, %	Vv, $\alpha\text{-r.}\%$
AlCu5 (0,08%Ti)	1,63	134,69	30,19837	2,93815	84,75599
AlCu8 (0,08%Ti)	1,63	102,04	26,8898	2,37747	83,48839
AlCu15 (0%Ti)	1,63	123,27	20,22536	2,12289	75,14505
AlCu15 (0,02%Ti)	1,63	112,65	23,13044	2,22268	76,67941
AlCu15 (0,08%Ti)	1,22	90,61	23,30254	2,3228	74,3853
AlCu15 (0,15%Ti)	1,22	102,86	20,66491	2,16452	74,28727
AlCu15 (0,25%Ti)	1,63	92,24	18,98537	2,09712	71,12862
AlCu15Mg3 (0,08%Ti)	1,63	102,86	19,65894	2,08456	76,84319
AlCu23 (0,08%Ti)	1,63	79,18	17,37533	2,0074	54,49193

Mikrostruktura uzoraka modificovanih sa titanom i onih bez titana je data na slikama od 1 do 4.

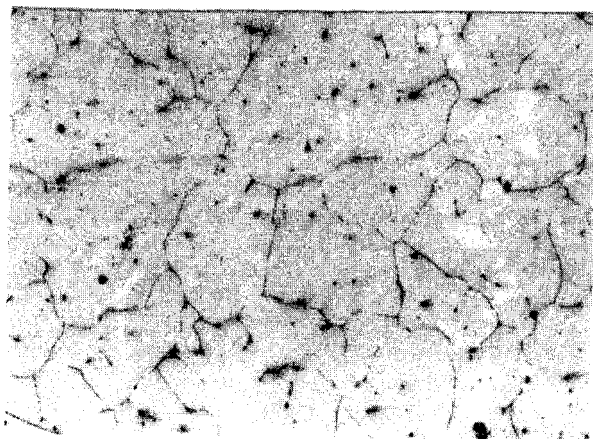
Znači, na mikrostrukturu se može uticati sem kontrolom tehnoloških parametara i dodatkom titana i bora u formi predlegure AlTi5B1 u kojoj se nalaze fini nerastvorni kristali TiB_2 faze koji vrše ulogu nukleanta najprije za TiAl_3 fazu, a zatim i za fazu aluminijuma i/ili α -čvrstog rastvora.

Dodatak titana čistom aluminijumu podiže likvidus i solidus linije pa na temperaturi od 665°C na likvidus liniji postoji peritektička reakcija između

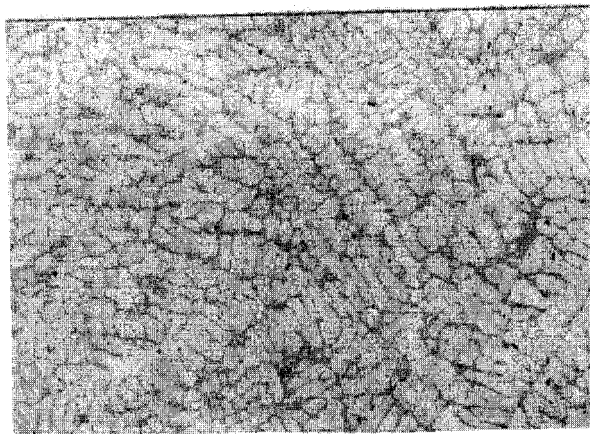
tečnosti sa 0,15% titana i $TiAl_3$ do formiranja čvrstog rastvora titana u aluminijumu sa 1,15% titana. Iznad $665^\circ C$ rastop je u ravnoteži sa čvrstim $TiAl_3$ koji se topi kod $1340^\circ C$. $TiAl_3$ rešetka je tetragonalna. Rastvorljivost titana u čvrstom aluminijumu je ograničena i snižava se sa smanjenjem temperature. Titan se uvodi u aluminijum i njegove legure kao dodatak koji modifikuje zrna i usitnjava strukturu pri kristalizaciji. Najveće dejstvo na usitnjavanje strukture titan ima pri koncentracijama bliskim peritektičkoj. Ako ovo rezultira boljom disperziom nerastvorenih konstituenata, poroziteta i nemetalnih uključaka, posledica je bitno poboljšanje mehaničkih svojstava. Pri koncentracijama manjim od peritektičke, usitnjavanje zrna je neznatno, a pri koncentracijama većim od peritektičke u početku se primjećuje izvjestan rast na krivoj broja zrna, a zatim njeno jako sniženje. U legurama dodatak titana povećava temperaturu kristalizacije.



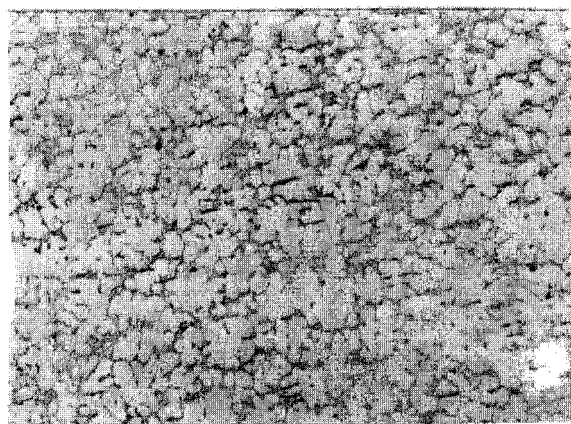
Slika 1 - Uzorak aluminijuma, modificiran sa 0% titana
Figure 1 - Microstructure of the aluminium sample with 0% titanium



Slika 2 - Uzorak aluminijuma, modificiran sa 0,08% titana
Figure 2 - Microstructure of the aluminium sample with 0,08% titanium



Slika 3 - Uzorak AlCu15, modificiran sa 0% titana
Figure 3 - Microstructure of the AlCu15 sample with 0% titanium



Slika 4 - Uzorak AlCu15, modificiran sa 0,25% titana
Figure 4 - Microstructure of the AlCu15 sample with 0,25% titanium

Izvršena su i ispitivanja svojstava ovih materijala i to: mjerenje tvrdoće i određivanje čvrstoće na pritisak. Tvrdoća je mjerena Brinell-ovom metodom (Tabela III). Ispitivanje pritisne čvrstoće uzoraka vršeno je na elektronskoj kitalici od 10 tona (Tabela III). Mehanička svojstva zavise kako od sastava legure, tako i od strukture materijala. Da bi se popravila struktura vrši se modificiranje. Ispitivanjima se došlo do zaključka da je tvrdoća materijala modificiranog sa titanom veća od tvrdoće nemodificiranog materijala. Porast procenta titana izaziva porast tvrdoće, a kristalna struktura postaje sitnozrna.

Takođe se vidi i da je pritisna čvrstoća uzoraka modificiranih sa titanom veća od pritisne čvrstoće nemodificiranih uzoraka.

Tabela III - Tabelarni prikaz rezultata ispitivanja tvrdoće (HBsr) i čvrstoće na pritisak

Table III - Hardness and compression strength of the alloys from the aluminium-copper system obtained during the experiment

UZORAK	HBsr	$\sigma_{0,2p}$ (N/mm ²)	σ_{mp} (N/mm ²)
Al (0%Ti)	25,025	38,22	119,74
Al (0,08%Ti)	27,00	49,94	141,66
AlCu5 (0,08%Ti)	64,35	101,92	471,34
AlCu8 (0,08%Ti)	76,725	147,77	478,98
AlCu15 (0%Ti)	90,00	214,01	491,72
AlCu15 (0,02%Ti)	91,25	221,66	491,72
AlCu15 (0,08%Ti)	96,625	229,30	557,96
AlCu15 (0,15%Ti)	102,40	230,83	558,98
AlCu15 (0,25%Ti)	103,375	239,49	558,98
AlCu15Mg3 (0,08%Ti)	142,5	371,97	675,16
AlCu23 (0,08%Ti)	110,00	292,99	563,45
AlCu33 (0,08%Ti)	197,50	501,91	672,61

ZAKLJUČAK

Različiti strukturni parametri koji su dobijeni kao rezultat primjene savremene kvantitativne mikrostrukturne analize na čistim aluminijum i legure aluminijum-bakar nam omogućavaju da objasnimo uticaj dodatka titana na način formiranja i strukturu u tom sistemu. Iz priloženih rezultata ispitivanja se vidi da:

- sa porastom sadržaja titana za isti hemijski sastav legure aluminijum-bakar opada srednja vrijednost veličine zrna (kao što se vidi iz Tabele I). Dodatak predlegure AlTi5B1 (odnosno titana i bora u odnosu 5:1) vrši modifikaciju strukture, tj. usitnjavanje zrna (što je prikazano na slikama 1 i 2). Znači, titan se dodaje kao rafinator zrna i veoma je efikasan u smanjenju veličine zrna.

- sa porastom sadržaja bakra u leguri opada srednja vrijednost širine sekundarnih dendritnih grana (kao što se vidi iz Tabele II).

- čvrstoća na pritisak i tvrdoća legura aluminijum-bakar rastu sa porastom sadržaja titana (kao što se vidi iz Tabele III). Takođe, magnezijum povećava čvrstoću na pritisak i tvrdoću legura i smanjuje veličinu zrna.

LITERATURA

- [1] L. F. Mondolfo, *Aluminium Alloys: Structure and Properties*, Butterworth and Co (Publishers) Ltd, London (1976), p.253-266 (knjiga).
- [2] X. Yang, J.D. Hunt and D. V. Edmonds, *A quantitative study of grain structures in twin - roll cast aluminium alloys*, part II: AA 3004, ALUMINIUM - 69, Jahrgang (1993)2, p. 158-162 (~asopis).
- [3] B. Radonjic, *Directionality of Cast Aluminium Structure*, ALUMINIUM 58(1982)11, p. 646-649 (časopis).
- [4] AM. Samuel, FH. Samuel, *Effect of Alloying Elements and Dendrite Arm Spacing on the Microstructure and Hardness of an Al-Si-Cu-Mg-Fe-Mn (380)*, Journal of Materials Science (1995) Apr 1; 30(7):1698-1708 (časopis).