

# Knjiga sažetaka; 16. Međunarodno savjetovanje ljevača: Globalna ljevačka industrija-Perspektive za budućnost; Studentska sekcija

---

**Edited book / Urednička knjiga**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Publication year / Godina izdavanja:* **2017**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:433508>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-13**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF METALLURGY

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



University of Zagreb  
Faculty of Metallurgy  
Sisak, Croatia



University of Ljubljana  
Faculty of Natural Sciences and Engineering  
Ljubljana, Slovenia



University North  
Koprivnica, Croatia



ELKEM AS  
Norway



# KNJIGA SAŽETAKA BOOK OF ABSTRACTS

*Studentska sekcija / Students section*

**16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA**  
**GLOBALNA LJEVAČKA INDUSTRIJA – Perspektive za budućnost**

**16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE**  
**GLOBAL FOUNDRY INDUSTRY – Perspectives for the Future**



Opatija, 15.-17. svibnja 2017. / Opatija, May 15<sup>th</sup>-17<sup>th</sup>, 2017



**16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA**  
**GLOBALNA LJEVAČKA INDUSTRIJA – Perspektive za budućnost**  
*Studentska sekcija*



**16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE**  
**GLOBAL FOUNDRY INDUSTRY – Perspectives for the Future**  
*Students section*



**ORGANIZATORI**

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak  
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija  
Sveučilište Sjever, Koprivnica  
Elkem AS, Norveška

**KNJIGA SAŽETAKA**

16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA: Globalna ljevačka industrija – Perspektive za budućnost, Studentska sekcija

**UREDNIK**

Anita Begić Hadžipašić

**TEHNIČKI UREDNICI**

Anita Begić Hadžipašić, Zdenka Zovko Brodarac

**IZDAVAČ**

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

**TISAK**

InfOmArt Zagreb d.o.o., Nikole Tesle 10, 44000 Sisak

**BROJ PRIMJERAKA**

50 kopija

**ISBN**

978-953-7082-24-6

**ZAHVALA:**

Organizacijski Odbor najljubaznije zahvaljuje *Studentskom centru Sisak* na financijskoj potpori sudjelovanja studenata Metalurškog fakulteta na 16. Međunarodnom savjetovanju ljevača.



**16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA**  
**GLOBALNA LJEVAČKA INDUSTRIJA – Perspektive za budućnost**  
**Studentska sekcija**



**16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE**  
**GLOBAL FOUNDRY INDUSTRY – Perspectives for the Future**  
**Students section**



**ORGANIZERS**

University of Zagreb Faculty of Metallurgy  
University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia  
University North, Koprivnica, Croatia  
Elkem AS, Norway

**BOOK OF ABSTRACTS**

16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE: Global foundry industry– Perspectives for the Future; Students section

**EDITOR**

Anita Begić Hadžipašić

**TECHNICAL EDITORS**

Anita Begić Hadžipašić, Zdenka Zovko Brodarac

**PUBLISHER**

University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia

**PRINT**

InfOmArt Zagreb d.o.o., Nikole Tesle 10, 44000 Sisak

**ISSUE**

50 copies

**ISBN:**

978-953-7082-24-6

**ACKNOWLEDGMENT:**

Organizing Committee would like to cordially thank to **Student's Centre Sisak** for financial support in participation of the students of the Faculty of Metallurgy at the 16<sup>th</sup> International Foundrymen Conference.



**16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA**  
**GLOBALNA LJEVAČKA INDUSTRIJA – Perspektive za budućnost**  
**Studentska sekcija**



**16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE**  
**GLOBAL FOUNDRY INDUSTRY – Perspectives for the Future**  
**Students section**



## PREGOVOR

Metalurška proizvodnja smatra se jednim od glavnih faktora koji utječe na razvoj svjetske ekonomije. Konkretna mjera povećanja konkurentnosti hrvatskih metalurških tvrtki je dostizanje ekonomične proizvodnje visoko kvalitetnog proizvoda umjerene cijene, vodeći računa o energetskim i ekološkim aspektima proizvodnje. Pritom se nameće imperativ povećanja transfera tehnologije i rezultata istraživanja između znanstveno istraživačkih institucija i realnog sektora.

Nedvojbena interes industrije za metaluršku struku i obrazovanje ogleda se njihovom participacijom na značajnim programima cjeloživotnog učenja Metalurškog fakulteta (Međunarodno savjetovanje ljevača, Znanstveno-stručni seminari). Predstavljanjem inovativnih istraživanja baziranih na unaprjeđenju materijala i tehnologija odvija se transfer znanja stečenih interakcijom tvrtki i znanstvenika. Osim navedenog, a uvažavajući vještine i znanja stečene u praksi Fakultet prepoznaje i organizira radionice, predavanja i prezentacije radi transfera znanja i iskustva stručnjaka iz industrije usmjerenih prema nastavnicima radi podizanja kompetencija, ali i studentima radi stjecanja specifičnih znanja i vještina.

Visokoškolsko obrazovanje na Metalurškom fakultetu koncipirano programom i ishodima učenja zasniva se, između ostalog i na poticanju znanstvenoistraživačkog rada studenata s primijenjenim temama, kako bi ambiciozni i kreativni mladi ljudi postali samostalni rješavatelji problema, razvijajući i podupirući njihovu znatiželju, analitičnost, komunikativnost: kako bi postali diplomci kakve želi tržište rada!

Predsjednica Organizacijskog odbora

Izv.prof.dr.sc. Zdenka Zovko Brodarac



**16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA**  
**GLOBALNA LJEVAČKA INDUSTRIJA – Perspektive za budućnost**  
**Studentska sekcija**



**16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE**  
**GLOBAL FOUNDRY INDUSTRY – Perspectives for the Future**  
**Students section**



## PREFACE

Metallurgical production is considered to be one of the main factors influencing the development of the world economy. A concrete measure to increase the competitiveness of Croatian metallurgical companies is to achieve cost-effective production of high quality products with reasonable prices, taking into account the energy and environmental aspects of production. An imperative to increase the transfer of technology and the results of research between scientific research institutions and the real sector has been imposed.

The industry's undisputable interest in the metallurgical profession and education is reflected in their participation in significant lifelong learning programs at the Faculty of Metallurgy (International Foundrymen Conference, Scientific-Expert Seminars). Introduction of innovative researches based on material and technology improvement, knowledge transfer has been gained through interaction between companies and scientists. With respect to the skills and knowledge gained in practice, the Faculty recognizes and organizes workshops, lectures and presentations directed to the scientists in order to enhance their competences, but also to the students to acquire specific knowledge and skills.

Higher education at the Faculty of Metallurgy, conceived through the program and the learning outcomes, is based, inter alia, on promoting students scientific and research work on applied topics, enabling ambitious and creative young people to become independent problem solvers, developing and supporting their curiosity, analytics and communication: Graduates like the labour market need!

President of Organizing Board

Assoc.Prof. Zdenka Zovko Brodarac, PhD



**16. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE LJEVAČA**  
**GLOBALNA LJEVAČKA INDUSTRIJA – Perspektive za budućnost**  
*Studentska sekcija*



**16<sup>th</sup> INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE**  
**GLOBAL FOUNDRY INDUSTRY – Perspectives for the Future**  
*Students section*



## **ORGANIZACIJSKI I PROGRAMSKI ODBOR**

Zdenka Zovko Brodarac, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

Anita Begić Hadžipašić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

Natalija Dolić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

Stjepan Kožuh, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

Tamara Holjevac Grgurić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

Robert Pezer, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak

Ljubiša Balanović, Univerzitet u Beogradu Tehnički fakultet u Boru, Bor, Srbija

## **ORGANIZING AND PROGRAMME COMMITTEE**

Zdenka Zovko Brodarac, University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak, Croatia

Anita Begić Hadžipašić, University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak, Croatia

Natalija Dolić, University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak, Croatia

Stjepan Kožuh, University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak, Croatia

Tamara Holjevac Grgurić, University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak, Croatia

Rober Pezer, University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak, Croatia

Ljubiša Balanović, University of Belgrade Technical Faculty in Bor, Bor, Serbia



# SADRŽAJ / CONTENTS

**Monika Knežević**, Tamara Holjevac Grgurić

Primjena najboljih raspoloživih tehnika u procesu krekiranja

Best available techniques for the refining of mineral oil and gas – cracking

1

---

**Ivana Krtić**, Stjepan Kožuh

Eko-oznake ambalažnih materijala

Eco-labels of packaging materials

2

---

**Željka Krtić**, Tamara Holjevac Grgurić

Utjecaj procesnih parametara i uvjeta toplinske obrade na mikrostrukturu Cu-Al-Mn legure s prisjetljivošću oblika

The effect of processing parameters on the microstructure of Cu-Al-Mn shape memory alloy

3

---

**Tomislav Novak**, Rober Pezer

Određivanje konstanti elastičnosti bakra atomističkim simuliranjem jednoosnog naprezanja

Atomistic calculations of elastic properties of copper in simulations of uniaxial tension

5

---

**Magdalena Selanec**, Stjepan Kožuh

Mikroskopska analiza Cu-Al-Mn slitine s prisjetljivosti oblika nakon valjanja

Microscopy analysis of Cu-Al-Mn shape memory alloy after rolling

6

---





## **PRIMJENA NAJBOLJIH RASPOLOŽIVIH TEHNIKA U PROCESU KREKIRANJA**

Monika Knežević<sup>1</sup>, Tamara Holjevac Grgurić  
Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

Rafinerije su kompleksna industrijska postrojenja za preradbu sirove nafte s ciljem dobivanja komercijalnih proizvoda visoke kvalitete. Rafinerijski procesi su uzrok velikih emisija u zrak, vodu i tlo, te se smatraju jednim od najvećih industrijskih zagađivača okoliša. Kako bi se postigla cjelovita zaštita okoliša putem integriranog sprječavanja i kontrole onečišćenja, rafinerije se moraju restrukturirati i modernizirati u skladu s preporukama Direktive 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća o industrijskim emisijama, što uključuje sustavnu primjenu najboljih raspoloživih tehnika, NRT.

U ovom radu poseban naglasak je stavljen na proces katalitičkog krekiranja u fluidiziranom sloju i NRT tehnike koje se primjenjuju kako bi se smanjile emisije sumpornih oksida, dušikovih oksida, hlapivih organskih spojeva, čestica te emisije u vodu i tlo.

**Ključne riječi:** preradba nafte, katalitičko krekiranje, emisije, najbolje raspoložive tehnike

## **BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR THE REFINING OF MINERAL OIL AND GAS – CRACKING**

Monika Knežević, Tamara Holjevac Grgurić  
University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia

Refineries are complex industrial plants for the processing and refining of crude oil to the high quality commercial products. A refinery processes result in enormous emissions to air, water and soil, and so are considered as one of the most significant industrial sources of air pollution. In order to achieve complete environment protection through integrated prevention and control of pollution, refineries have to restructure and modernize according to Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions, including the systematic application of Best Available Techniques for the Refining of Mineral Oil and Gas, BAT.

In this paper, emphasis is given to fluid catalytic cracking process and BAT techniques that can be applied to reduce emissions of sulphur oxides, nitrogen oxides, volatile organic compounds, particles, and emissions to water and soil.

**Keywords:** Refining of Mineral Oil, Catalytic Cracking, Emissions, Best Available Techniques

---

<sup>1</sup> E-mail: [monika.0023@hotmail.com](mailto:monika.0023@hotmail.com)



## EKO-OZNAKE AMBALAŽNIH MATERIJALA

Ivana Krčić<sup>2</sup>, Stjepan Kožuh  
Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

Zaštita okoliša je jedna od najaktualnijih, ali i najkompleksnijih tema na svjetskoj razini. Sve ljudske aktivnosti imaju određeni utjecaj na okoliš, kako na lokalnoj tako i na globalnoj razini. U skladu s tim postoje propisi koji nastoje zaštititi potrošače od neodgovornih i neinformiranih proizvođača. Na tržištu gotovo da i nema proizvoda koji nema istaknute različite simbole (oznake) koji bi kupcima trebali dati bitne informacije kako o proizvodu tako i o ambalaži u kojoj se proizvod nalazi. No rijetko tko zna protumačiti te oznake jer su često zbunjujuće i nepregledne, pa na kraju gube smisao. Razvrstavanje i odvajanje ambalažnog otpada za recikliranje trenutno predstavlja jednu od najvažnijih aktivnosti potrošača vezano uz zaštitu okoliša. Cilj ovog rada bio je detaljno objasniti različite vrste ambalažnih materijala (metal, papir, staklo itd.) te njihove eko-oznake koje olakšavaju naknadno sortiranje i recikliranje tih materijala. Također, prikazan je i kratki pregled oznaka koje se stavljaju na ambalažu opasnih tvari budući da njihov transport, skladištenje i zbrinjavanje zahtijevaju posebnu pažnju.

**Ključne riječi:** eko-oznake, ambalažni materijali, Möbiusova petlja, ambalažni otpad

## ECO-LABELS OF PACKAGING MATERIALS

Ivana Krčić, Stjepan Kožuh  
University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia

Environmental protection is one of the most current, but also the most complex topic on a global level. All human activities have an influence on the environment, both at local and global levels. In accordance with these, the regulations existed to protect the customers from irresponsible and uninformed producers. On the market almost has no product that has highlighted the different symbols (labels) that customers should provide important informations about the product and the packaging in which the product is placed. But, hardly anyone knows how to interpret these labels because they are often confusing and non-transparent, so in the end they eventually lose their meaning. Classification and separation of packaging waste for recycling is currently one of the most important activities of consumers with regard to environmental protection. The aim of this study was to explain in detail the different types of packaging materials (metal, paper, glass, etc.) and their eco-labels that make easier subsequent sorting and recycling of these materials. Also, it is shown a brief overview of the labels that are placed on the packaging of hazardous substances since their transport, storage and waste management require special attention.

**Keywords:** eco-labels, packaging materials, Möbius loop, packaging waste

---

<sup>2</sup> E-mail: [ivanakrtic@hotmail.com](mailto:ivanakrtic@hotmail.com)



## UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA I UVJETA TOPLINSKE OBRADJE NA MIKROSTRUKTURU Cu-Al-Mn LEGURE S PRISJETLJIVOŠĆU OBLIKA<sup>3</sup>

Željka Krčić<sup>4</sup>, Tamara Holjevac Grgurić

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

Legure s prisjetljivošću oblika karakteriziraju dva jedinstvena efekta, pseudoelastičnost i efekt prisjetljivosti oblika, koji je posljedica bezdifuzijske austenitno-martenzitne transformacije u strukturi materijala. Cu-Al-Mn legure s prisjetljivošću oblika vrlo su atraktivne za komercijalnu primjenu, s obzirom na njihovu nisku cijenu koštanja, veliku superelastičnost, izvrsnu duktilnost te dobru obradivost hladnim deformiranjem.

U ovom radu, istražen je utjecaj procesnih parametara i uvjeta toplinske obrade na promjenu mikrostrukture i temperature martenzitne transformacije Cu-Al-Mn legura. Cu-8 % mas. Al-9 % mas. Mn legure s prisjetljivošću oblika pripremljene su taljenjem u elektrolučnoj peći te kontinuiranim lijevanjem. Istraživane legure zatim su toplinski obrađene pri temperaturi od 900 °C kroz 30 minuta te naglo hladjene u vodi. Termodinamički proračun stabilnosti faza ternarnog Cu-Al-Mn sustava u ravnotežnim uvjetima, proveden je programom Thermo-Calc 5. Ispitivanje mikrostrukture Cu-Al-Mn legura, u lijevanom stanju i nakon toplinske obrade materijala, provedeno je optičkim mikroskopom (OM) i pretražnim elektronskim mikroskopom opremljenim energijsko disperzijskim spektrometrom (SEM-EDS). Diferencijalnom pretražnom kalorimetrijom (DSC) utvrđene su temperature početka i završetka austenitne i martenzitne transformacije, kao i odgovarajuće entalpije. Dobiveni rezultati istraživanja pokazali su djelomično formiranje martenzitne strukture u lijevanom stanju Cu-Al-Mn legure dobivene kontinuiranim lijevanjem te potpuno formiranje martenzitne strukture, uglavnom V-tipa, nakon toplinske obrade i kaljenja materijala. Cu-Al-Mn legura pripremljena u elektrolučnoj peći, u lijevanom stanju pokazala je dvofaznu,  $\alpha+\beta$ , strukturu, i tek nakon toplinske obrade materijala početak formiranja martenzitne faze, uz dominantnu  $\alpha$ -fazu u strukturi legure. DSC rezultati pokazali su početak martenzitne transformacije kontinuirano lijevane Cu-Al-Mn legure pri temperaturi 36 °C, odnosno nakon kaljenja pri temperaturi 43 °C.

**Ključne riječi:** legure s prisjetljivošću oblika, Cu-legure, martenzitna transformacija, mikrostruktura

### ZAHVALA

Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2014-09-3405.

<sup>3</sup> Rad je prezentiran na 21. Tehnologijadi 2017. godine

<sup>4</sup> E-mail: [zeljka.krtic@gmail.com](mailto:zeljka.krtic@gmail.com)



## THE EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS ON THE MICROSTRUCTURE OF Cu-Al-Mn SHAPE MEMORY ALLOY<sup>5</sup>

Željka Krčić<sup>6</sup>, Tamara Holjevac Grgurić

University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia

Shape memory alloys (SMA) exhibit unique properties such as a pseudoelasticity and shape memory effect that is a consequence of diffusionless austenitic-martensitic transformation. Cu-Al-Mn alloys are commercially very attractive materials due to low cost, superelasticity, excellent ductility and cold workability. In this work, the influence of processing parameters as well as heat-treatment on the microstructure and martensitic transformation temperatures of Cu-Al-Mn shape memory alloy was investigated. Cu-8 % wt. Al-9 % wt. Mn SMA alloy was prepared by melting in the electric-arc furnace and by continuous casting. Alloys were heat-treated at 900 °C for 30 minutes and then quenched in the water. Thermodynamic modelling of stable phases for ternary Cu-Al-Mn system in the equilibrium conditions was performed by Thermo-Calc 5 software. Microstructure investigations of Cu-Al-Mn alloy, in the as-cast state and after heat-treatment, were carried out by optical microscope (OM) and scanning electron microscope equipped by energy dispersive spectrometer (SEM-EDS). Differential Scanning Calorimetry (DSC) was performed for determination of starting and finishing austenitic and martensitic transformation temperatures as well as enthalpies. Results showed partially formation of martensitic structure in the as-cast state of the continuously cast Cu-Al-Mn alloy, and completely martensitic phase, mostly V-shape martensite, after heat-treatment. Cu-Al-Mn SMA alloy prepared by electric-arc melting in the as-cast state showed two-phase morphology,  $\alpha+\beta$ , and after heat-treatment inception of martensite phase, with predominant  $\alpha$ -phase. DSC results indicated start martensitic transformation temperature at 36 °C for as-cast and 43 °C for heat-treated continuously cast SMA alloy.

**Keywords:** *shape memory alloys, Cu-based alloys, martensitic transformation, microstructure*

### ACKNOWLEDGEMENT

*This work has been fully supported by Croatian Science Foundation under the project IP-2014-09-3405.*

<sup>5</sup> Paper was presented at 21<sup>st</sup> Tehnologijada, 2017

<sup>6</sup> E-mail: [zeljka.krtic@gmail.com](mailto:zeljka.krtic@gmail.com)



## ODREĐIVANJE KONSTANTI ELASTIČNOSTI BAKRA ATOMISTIČKIM SIMULIRANJEM JEDNOOSNOG NAPREZANJA

Tomislav Novak<sup>7</sup>, Robert Pezer

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

Molekularna dinamika je metoda u kojoj se gibanje svakog pojedinog atoma ili molekule izračunava izravnom primjenom Newtonovih zakona (posebno 2.). Praktičan račun će uključiti veliki broj čestica, od nekoliko desetina do čak nekoliko milijuna. U tako složenim proračunima nužno je koristiti kompjutorsko simuliranje jer je kompleksni izračun nemoguće obaviti analitički za inženjerski relevantne sisteme. Makroskopske veličine se dobivaju statističkom obradom mikroskopskih putanja čestica. To je alat koji možemo koristiti za razumijevanje makroskopske fizike polazeći od atomskih fenomena. Ova metoda posljednjih godina doživljava veliki uzlet i ima široku primjenu za proračun termodinamičkih svojstava plinova, tekućina i čvrste tvari. U ovom radu ćemo predstaviti simulaciju jednostavnog, ali iznimno važnog eksperimenta jednoosnog istezanja gredice bakra korištenjem realnog međuatomskog potencijala pri čemu ćemo odrediti krivulju napreznja-deformacija i Youngov modul elastičnosti.

**Ključne riječi:** molekularna dinamika, atomističko simuliranje, jednoosno napreznje.

## ATOMISTIC CALCULATIONS OF ELASTIC PROPERTIES OF COPPER IN SIMULATIONS OF UNIAXIAL TENSION

Tomislav Novak, Robert Pezer

University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia

Molecular dynamics is a method of calculating the motion of each individual atom or molecule utilizing Newton's laws of motion (in particular the 2nd). Practical approach will include a large number of particles, from several dozen to even a few million. In such a complex calculation, the use of computer simulations is a must because the complex calculation cannot be done analytically for engineering relevant systems. Macroscopic physical quantities are obtained by using statistical analysis of the microscopic particle trajectories. It is a tool for enhancing our understanding of the macroscopic physics starting from atomistic phenomena. This method has received a large boost within the last few years and has found application in calculation of thermodynamic properties of gases, liquids and solids. In this work we shall present simulation of a simple, but exceptional, uniaxial tensile test of a copper bar based on the realistic interatomic potential. We shall determine the stress-strain curve and Young's modulus of elasticity.

**Keywords:** molecular dynamics, atomistic calculations, uniaxial tension.

---

<sup>7</sup> E-mail: [tnovak.sisak@gmail.com](mailto:tnovak.sisak@gmail.com)



## MIKROSKOPSKA ANALIZA Cu-Al-Mn SLITINE S PRISJETLJIVOSTI OBLIKA NAKON VALJANJA

Magdalena Selanec<sup>8</sup>, Stjepan Kožuh  
Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

Slitine s prisjetljivosti oblika (SMA) su funkcionalni materijali s jedinstvenim svojstvom prisjetljivosti oblika koja je posljedica martenzitne fazne transformacije. Osnovna im je karakteristika vraćanje slitine u oblik koji je imala prije deformacije. Slitine s prisjetljivosti oblika pripadaju skupini relativno „novih“ metalnih materijala. Cu-Al-Mn slitine s prisjetljivosti oblika imaju široko područje primjene zbog svoje duktilnosti. U ovom radu analizirana je mikrostruktura Cu-8.3%Al-9.4%Mn (mas.%) legure s prisjetljivosti oblika nakon hladnog i toplog valjanja. Istraživana legura je proizvedena vertikalnim kontinuiranim lijevanjem u oblik šipke promjera 8 mm. Nakon lijevanja provedeno je valjanje (hladno i toplo). Postupkom hladnog valjanja dobivena je traka debljine 1,0 mm, a toplim valjanjem traka debljine 1,6 mm. Karakterizacija mikrostrukture istraživane legure provedena je pomoću optičkog mikroskopa i pretražnog elektronskog mikroskopa (SEM) opremljenog uređajem za energetska disperzijsku spektroskopiju (EDS). Mikroskopijskom analizom nije utvrđena martenzitna mikrostruktura nakon hladnog i toplog valjanja Cu-Al-Mn legure.

**Ključne riječi:** legure s prisjetljivosti oblika, Cu-Al-Mn, kontinuirano lijevanje, mikrostruktura, valjanje

### ZAHVALA

Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2014-09-3405.

---

<sup>8</sup> E-mail: [magdalenaselanec@gmail.com](mailto:magdalenaselanec@gmail.com)



## MICROSCOPY ANALYSIS OF Cu-Al-Mn SHAPE MEMORY ALLOY AFTER ROLLING

Magdalena Selanec<sup>9</sup>, Stjepan Kožuh  
University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak, Croatia

Shape memory alloys (SMAs) are functional materials with a unique shape memory property which is a consequence of martensitic phase transformation. Their main feature is the return in shape which alloy had before deformation. Shape memory alloys belong to a group of relatively “new” metallic materials. Cu-Al-Mn shape memory alloys could have a wide application due to their ductility. In this work, the microstructure of Cu-8.3%Al-9.4%Mn (in wt%) shape memory alloy after cold and hot rolling was analyzed. The investigated Cu-Al-Mn alloy was produced by vertical continuous casting method in form a cylinder rod of 8 mm in diameter. After the casting the cold and hot rolling was performed. By cold rolling process the strip with thickness of 1.0 mm was obtained, while by hot rolling the strip with thickness of 1.6 mm was produced. The microstructure characterization of investigated alloy was carried out by optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) equipped by device for energy dispersive spectroscopy (EDS). Microscopy analysis not indicated the martensitic microstructure after cold and hot rolling of Cu-Al-Mn alloy.

**Keywords:** *shape memory alloys, Cu-Al-Mn, continuously casting, microstructure, rolling*

### ACKNOWLEDGEMENT

*This work has been fully supported by Croatian Science Foundation under the project IP-2014-09-3405.*

---

<sup>9</sup> E-mail: [magdalenaselanec@gmail.com](mailto:magdalenaselanec@gmail.com)