

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2013/33



## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	P2-0120
<b>Naslov programa</b>	Tehnologije metastabilnih materialov s kovinsko osnovo
<b>Vodja programa</b>	10369 Ivan Anžel
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	12240
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje programa</b>	01.2009 - 12.2012
<b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b>	795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.10 Proizvodne tehnologije in sistemi
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	2.05
<b>- Veda</b>	2 Tehniške in tehnološke vede
<b>- Področje</b>	2.05 Materiali

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

#### 3. Povzetek raziskovalnega programa<sup>2</sup>

SLO

Osrednja znanstvena tema programa z naslovom "Tehnologije metastabilnih materialov s kovinsko osnovo", ki ga je v letih 2009-2012 izvajala raziskovalna skupina za materiale in tehnologijo materialov na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Mariboru je bila vezana na razvoj novih materialov iz termodinamsko metastabilnih stanj. Za razvoj teh materialov je zanimivo predvsem dejstvo, da lahko metastabilne faze oziroma mikrostrukture s temi fazami prehajajo v različne termodinamsko stabilnejša stanja, pri čemer je absolutno termodinamsko najbolj stabilna faza le zadnji korak v sekvenci razpada metastabilne mikrostrukture. V procesu razpada metastabilnih stanj lahko zato v odvisnosti od zunanjih vplivnih parametrov potečejo kemijske reakcije in nastopijo mikrostrukturne

spremembe, ki jih ne moremo predvideti pri ravnotežnih transformacijah. Nastanejo nove faze in mikrostrukture, ki jih ni v ravnotežnih faznih diagramih. Ker so lastnosti materialov odvisne od mikrostrukture lahko z ustvarjanjem metastabilnih stanj in z njimi povezanih mikrostruktur dosežemo tudi posebne, nove lastnosti inženirskih materialov.

Razvoj novih materialov iz termodinamsko metastabilnih stanj je bil v okviru izvedbe programa ozko povezan z raziskovanjem na področjih tehnologij izdelave metastabilnih materialov, mikrostrukturne karakterizacije teh materialov, določevanja lastnosti metastabilnih faz, ter ugotavljanja mikrostrukturnih sprememb metastabilnih stanj v različnih okoljih in v postopkih naknadne termomehanske obdelave. Osnovne raziskovalne vsebine programa so bile: Analiza dosedanjih in razvoj novih tehnologij za doseganje metastabilnih stanj; študij metod karakterizacije metastabilnih stanj, mikrostruktur in faz; določitev lastnosti metastabilnih materialov in njihovih faz; ter raziskave vpliva okolja in različnih oblik termomehanske obdelave na mikrostrukturo in lastnosti metastabilnih materialov.

Osrednje tehnologije, ki smo jih obravnavali v okviru programa so bile različne metode hitrega strjevanja in ekstremna plastična deformacija. Kot hitro strjevanje označujemo tiste postopke strjevanja pri katerih potuje strjevalna fronta z veliko hitrostjo (več kot 1cm/s), ekstremna plastična deformacija pa pomeni splošen koncept uporabe velikih plastičnih deformacij za izdelavo fino zrnatih materialov. V eksperimentalnem delu programa so bile obravnavane zlitine na osnovi zlata, bakra in aluminija. Ti zlitinski sistemi so bili izbrani zato, ker imajo njihova metastabilna stanja takšne fizikalne, mehanske in druge lastnosti, ki so zanimiva za slovensko družbo in njeno industrijsko okolje. Del svojih aktivnosti je raziskovalna skupina v okviru programa namenila tudi razvoju teorije metastabilnih stanj v materialih s kovinsko osnovo, kjer je pozornost bila osredotočena na razvoj modelov za opis termodinamsko metastabilnih stanj in odkrivanje mehanizmov nastajanja in razpadanja metastabilnih mikrostruktur.

ANG

The main topic of the research program with the title "Technologies of metastable metallic based materials" which has been performed by the research group for materials and materials technologies on the Faculty of mechanical engineering, University of Maribor in the years 2009-2012, was connected with development of new materials based on thermodynamically metastable states. For their evolution it is especially interesting that metastable phases can transform into different thermodynamically more stable states, so that the occurrence of the most stable phase is only the last step in the decomposition sequence. Therefore, depending on the external influential parameters, specific chemical reactions that couldn't be predicted or anticipated from known equilibrium transformations, take place in such thermodynamically metastable systems and consequently, new phases and microstructures, which cannot be found in the equilibrium phase diagram, come into existence. While the properties of materials are mainly dependent on the microstructure, it is possible, by inducing the metastable states, to attain special new properties of engineering materials.

Development of new engineering materials from thermodynamically metastable states was, in the frame of our programme, closely linked to research in the fields of production technologies, microstructural characterization, determining the properties of metastable phases and microstructural changes in different environments or during subsequent heat treatments. The basic research content of the programme consisted of: Analysis of known and development of new technologies for obtaining the metastable states; studying the methods of characterization the metastable states, their microstructure and phases; determining the properties of metastable materials and their phases; researching the influence of the environment and different kinds of subsequent heat treatment on the microstructure and properties of metastable materials.

The central technologies that were being considered in the programme are different methods of rapid solidification and severe plastic deformation. Rapid

solidification is denoted as process that involves enough high velocity of the solidification front (more than 1 cm/s and severe plastic deformation is the name for the general concept of using large plastic strains to produce ultra fine-grained materials -nanostructures. In the experimental part of the programme the gold, copper and aluminium based alloys were being treated. These alloying systems have been chosen while their metastable states possess those unique physical, mechanical and other properties that are interesting for Slovenian society and industrial environment. Part of activities of the programme group was directed towards the theory of metastable states in metallic materials. Attention was focused on the models for describing thermodynamically metastable states, and discovering mechanisms for forming and decomposing the metastable microstructures.

#### 4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu<sup>3</sup>

SLO

Pri študiju metastabilnih stanj v zlitinah na osnovi zlata smo v okviru programa potrdili hipotezo, da lahko s hitrim strjevanjem ustvarimo metastabilno mikrostrukturo, ki omogoča notranjo oksidacijo mikrolegirnega elementa. Z analizo hitro strjenih mikrostruktur in s spremljanjem procesa notranje oksidacije smo postavili model mehanizma reakcije. Po tem modelu poteka v termodinamsko metastabilni mikrostrukturi zlata z netopno komponento v površinskem sloju raztapljanje delcev intermetalne faze pred fronto notranje oksidacije in izločanje oksidnih delcev iz trdne raztopine.

Pri študiju metastabilnih mikrostruktur, ki nastanejo pri postopkih hitrega strjevanja smo v okviru programa posvetili precejšnjo pozornost tudi vplivu hitro strjene mikrostrukture spominskih zlitin iz sistema Ni-Ti na biokompatibilnost. Rezultati raziskovalnega dela so pokazali, da lahko z melt spin tehniko hitrega strjevanja ustvarimo na površini ulitih trakov tanko homogeno oksidno plast, ki izboljša korozijsko odpornost spominskih zlitin in posledično zmanjša toksičnost na človeške monocitne dendritne celice. Zaključek raziskav v okviru programa je pokazal, da izkazujejo Ni-Ti hitro strjeni trakovi imunomodulatorne lastnosti.

Pri študiju in analizi novih tehnologij za doseganje metastabilnih stanj smo v okviru programa izvajali tudi poskuse ekstremne plastične deformacije in pirolize z ultrazvočnim razprševanjem (USP). Za poskuse ekstremne plastične deformacije smo skonstruirali in izdelali lastno napravo za iztiskanje vzorcev skozi pravokotno ležeča kanala kvadratnega prereza. S poskusi na vzorcih, katerih jedro je bilo iz trdne raztopine Cu-Al, plašč pa iz disperzijsko utrjene zlitine Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, smo odkrili, da sta v kompozitnem plašču prisotna dva mehanizma plastične deformacije, medtem ko poteka plastično tečenje v enofazni kovinski matici le z drsenjem dislokacij. V disperzijsko utrjenem plašču poteka plastična deformacija s drsenjem dislokacij le do stopnje, ko se zaradi deformacijske utrditve sproži energijsko ugodnejši mehanizem drsenja vzdolž mej zrn. S spremljanjem toka oksidnih delcev smo postavili tudi model snovnega toka v orodju pri iztiskanju. Poskusi izdelave Au nanodelcev z USP postopkom so potrdili velik potencial te tehnologije. Rezultati so pokazali, da lahko s postopkom pirolize z ultrazvočnim razprševanjem kontroliramo velikost, obliko in topologijo nanodelcev, kar močno vpliva na njihove funkcionalne lastnosti. Nadaljnje raziskave na tem področju bodo pokazale kakšna je uporabnost te metode za izdelavo biomedicinskih funkcionalnih nanostrukturnih materialov.

Pri razvoju Al-zlitin s kvazikristali so bile z vakuumskim taljenjem in litjem sintetizirane zlitine Al-Mn-Be-Cu in Al-Mn-Be-B. Ugotovljeno je bilo, da dodatek Cu omogoča nastanek kvazikristalne faze že pri manjših hitrostih ohlajanja ter omogoča nadaljnjo optimizacijo lastnosti s termomehansko obdelavo, zato so bile

podrobno raziskane zlitine Al-Mn-Be-Cu. Z rentgensko difrakcijo, ki smo jo izvedli v sinhrotronu Elettra v Trstu, Italija, smo opredelili fazno sestavo zlitin. Zlitine, ki so se ohlajale hitreje kot 500 °C/s, so vsebovale že precejšen delež kvazikristalne faze, medtem ko je bila pri hitrostih ohlajanja večjih kot 1000 °C/s v aluminijevi osnovi le kvazikristalna faza, drugih intermetalnih faz pa ni bilo. To je kar za tri velikostne rede manjša ohlajevalna hitrost, kot je v binarni zlitini Al-Mn. V sodelovanju s Centrom za elektronsko mikroskopijo TU Graz, Avstrija in FEI Academy, Eindhoven, Nizozemska je bilo ugotovljeno, da ima kvazikristalna faza ikozaedrično zgradbo, z velikostjo kvazicelice 0,46 nm. Pri skupnem raziskovalnem delu z raziskovalnim središčem fundacije Bruno Kessler, Trident, Italija, je bilo ugotovljeno, da vsebujejo kvazikristali povečan delež berilija, ki jih stabilizira. Trdnostne lastnosti zlitin ohlajenih s hitrostjo ohlajanja med 500 °C/s in 1000 °C/s dosegajo vrednosti podobne kot v visokotrdnostnih aluminijevih zlitinah (napetost tečenja 400 MPa, natezna trdnost > 500 MPa) in nekoliko večji raztezek. Zlitine se dajo izdelati tudi s kontinuirnim litjem, kar bo lahko omogočilo masovno in bolj poceni izdelavo teh zlitin ter njihovo uvajanje v industrijsko proizvodnjo.

#### **5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>**

SLO

Osnovni raziskovalni cilji programske skupne so bili doseženi. Na področju tehnologij izdelave metastabilnih materialov smo uspešno raziskali vpliv parametrov pri različnih metodah hitrega strjevanja na mikrostrukturo in lastnosti. Potrjene so bile hipoteze poteka procesov in reakcij v materialih z metastabilno mikrostrukturo. V zaključnem delu programa smo uspešno skonstruirali in izdelali orodje za izvedbo poskusov ekstremne plastične deformacije. Opravljeni so bili eksperimenti iztiskanja in osnovna karakterizacija nanostrukturnih elementov. Na osnovi rezultatov eksperimentalnega dela so bili postavljeni modeli mehanizmov, procesov in pojavov, ki potekajo med procesom ekstremne plastične deformacije v disperzisijsko utrjenih zlitinah na osnovi Au in Cu.

Na področju karakterizacije metastabilnih stanj smo z metodami optične in elektronske mikroskopije, ter rentgenske strukturne analize identificirali pojave in mehanizme, ki potekajo v materialih z metastabilno mikrostrukturo. Uspešno je bil uveden Rastrski elektronski mikroskop opremljen s fokusiranim ionskim snopom (FIB) za 3D rekonstrukcijo metastabilnih mikrostruktur in sprememb po termomehanskih obdelavah. Nanostrukturne preiskave smo opravili z visoko ločljivim vrstičnim elektronskim mikroskopom s poljsko emisijo elektronov FEG SIRION 400 NC, ter z raziskovalno opremo, ki je na razpolago v Elettra, Sincrotrone Trieste, Italija (mikroskopija ESCA in XRD) ter drugih mednarodnih infrastrukturnih centrih.

Z metodami diferencialne dinamične kalorimetrije in merjenjem električne upornosti smo ugotavljali stabilnost zlitin in določali temperature (npr. solvus temperaturo), ki so potrebne pri optimizaciji toplotne obdelave. Za študij vpliva okolja na kemijske reakcije in fazne transformacije v materialih z metastabilno mikrostrukturo smo razvili in patentirali merilno celico, ki omogoča sprotno in neporušno spremljanje pojavov med toplotno obdelavo.

Aluminijeve zlitine utrjene s kvazikristali so bile razvite do stopnje, ki je bila predvidena pri prijavi programa. Poleg tega so bili v okviru raziskovalnega dela doseženi rezultati, ki v začetku niso bili predvideni, pa spadajo med pomembne znanstvene dosežke. To sta predvsem metoda za ekstrakcijo koeficientov povratnega sipanja elektronov iz mikropošnetkov z odbitimi elektroni ter ugotavljanje mehanskih lastnosti faz mikrometrski velikosti z uporabo mikroindentacije.

#### **6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>5</sup>**

Raziskovalno delo programske skupine je v celotnem programskem obdobju vključno z zadnjim programskim letom 2012 potekalo v skladu s planom raziskovalnega programa.

### 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>6</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	15705366	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Odziv monocitnih dendritnih celic v kontaktu s hitro strjenimi Ni-Ti trakovi, ki imajo spominske lastnosti
		<i>ANG</i>	Response of monocyte-derived dendritic cells to rapidly solidified nickel-titanium ribbons with shape memory properties
	Opis	<i>SLO</i>	Spominski materiali iz zlitinskega sistema Ni-Ti so zelo aktualni kot biomateriali za medicinske pripomočke. Žal je biokompatibilnost teh zlitin pogosto neustrezna zaradi neustrezne površinske mikrostrukture. V okviru naših raziskav smo pripravili hitro strjene trakove Ni-Ti spominske zlitine z uporabo melt-spin tehnike. Za karakterizacijo površine trakov so bile uporabljene metode: AES, rentgenske fotoelektronske spektroskopije in vrstične elektronske mikroskopije. Biokompatibilnost izdelanih trakov in njihove imunomodulatorne lastnosti so bile raziskane na človeških monocitnih dendritnih celicah (MoDCs). Ugotovili smo, da lahko z melt-spin tehniko na hitro strjenih trakovih dosežemo tanko homogeno oksidno plast, ki izboljša njihovo korozijsko odpornost in posledično zmanjša toksičnost na človeške monocitne dendritne celice. Ni-Ti hitro strjeni trakovi so spodbudili dozorevanje humanih monocitnih dendritnih celic. To je bilo zaznано s spremembo v morfologiji celic in s povečanim izločanjem molekul. Ni-Ti hitro strjeni trakovi v bistvu zvišajo nivo MoDCs, ki proizvedejo višje količine IL-10 in IL-20, kar ima za posledico v diferenciaciji IL-10 in TGF-beta, ki tvori CD4+T celice. Po drugi strani pa ti materiali v prisotnosti lipopolisaharidov zvišajo alostimulatornost in TH1 polarizacijsko sposobnost MoDCs, medtem ko je tvorba Th2 in Th17 citokinov regulirana na spodnjem velikostnem nivoju. Zaključimo lahko, da izkazujejo Ni-Ti hitro strjeni trakovi imunomodulatorne lastnosti do MoDCs. Te ugotovitve bi lahko bile klinično pomembne saj lahko povzročijo naprave iz Ni-Ti spominske zlitine zaželjene kakor tudi neželjene efekte na imunski sistem. To je odvisno od stimulativnih sposobnosti mikrookolja v katerih se naprava nahaja.
		<i>ANG</i>	Ni-Ti Shape Memory Alloys (SMAs) have attracted considerable attention as biomaterials for medical devices. However, the biocompatibility of Ni-Ti SMAs is often unsatisfactory due to their poor surface structure. Here we prepared Rapidly Solidified (RS) Ni-Ti SMA ribbons by melt-spinning and their surface was characterised by Augerelectron spectroscopy, X-ray photoelectron spectrometry and scanning electron microscopy. The biocompatibility of the produced ribbons and their immunomodulatory properties were studied on human monocyte-derived dendritic cells (MoDCs). We showed that melt-spinning of Ni-Ti SMAs can form a thin homogenous oxide layer, which improves their corrosion resistance and subsequent toxicity to MoDCs. Ni-Ti RS ribbons stimulated the maturation of MoDCs, as detected by changes in the cells' morphology and increased expression of HLA-DR, CD86, CD40 and CD83 molecules. However, Ni-Ti RS ribbons enhanced the tolerogenic properties of immature MoDCs, which produced higher levels of IL-10 and IL-27, driving the differentiation of IL-10- and TGF- $\beta$ -producing CD4+T cells. On the other hand, in the presence of lipopolysaccharide, an important pro-inflammatory biomolecule, Ni-Ti RS ribbons enhanced the allostimulatory and Th1 polarising capacity of MoDCs, whereas the production of Th2 and Th17 cytokines was down-regulated. In conclusion, Ni-Ti RS ribbons possess substantial immunomodulatory properties on MoDCs. These findings might be clinically relevant, because

		implanted Ni-Ti SMA devices can induce both desired and adverse effects on the immune system, depending on the microenvironmental stimuli.
	Objavljeno v	University of Wales; European cells & materials; 2012; Vol. 23; str. 58-80; Impact Factor: 3.028; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.456; A': 1; WoS: CQ, QE; Avtorji / Authors: Tomić Sergej, Rudolf Rebeka, Brunčko Mihael, Anžel Ivan, Savič V., Čolić Miodrag
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	14359830   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Citotoksičnost zlatih nanodelcev izdelanih z ultrazvočno razpršilno pirolizo ANG Cytotoxicity of gold nanoparticles prepared by ultrasonic spray pyrolysis
	Opis	SLO Članek opisuje sintezo Au-nano delcev pripravljenih s pirolizo preko ultrazvočnega razprševanja (USP) ostankov zlata. Študijo smo opravili na ciljnih celicah, ki so bili timociti podgan, kot vrsta neproliferirajočih celic, ter L929 fibroblasti miši, kot vrsta kontinuirano proliferirajočih celic. Frakciji 1 in 2, sestavljeni iz čistih nanodelcev zlata - določeni z vrstično elektronsko mikroskopijo s kombinacijo EDS analize- nista toksični za timocite, vendar zmerno reducirata proliferacijsko aktivnost L929 celic. Inhibicijski učinek frakcije 2, ki vsebuje delce manjših velikosti kot frakcija 1, je bil izrazitejši. Frakcija 3, sestavljena iz Au in do 3 m.% Cu je bila necitotoksična za timocite, vendar citotoksična za L929 celice. Frakcija 4, sestavljena iz Au in Ag kakor tudi frakcija 5, sestavljena iz Au ter sledi elementov Cu, Ni, Zn, Fe, in In, sta bili citotoksični tako za timocite kot tudi za L929 celice. Dobljeni rezultati kažejo, da USP omogoča sintezo čistih nanodelcev zlata z nadzorovano velikostjo, tudi iz ostankov zlata. V prihodnosti bodo potrebne mikrostrukturne analize in testi biokompatibilnosti pri delcih z višjo čistostjo Au primerjalno glede na citotoksične nano delce zlata, ki vsebujejo druge elemente. ANG The aim of this work was to study the cytotoxicity of different fractions of gold nanoparticles prepared by ultrasonic spray pyrolysis from gold scrap. The target cells were rat thymocytes, as a type of nonproliferating cells, and L929 mouse fibroblasts, as a type of continuous proliferating cells. Fractions 1 and 2, composed of pure gold nanoparticles, as determined by scanning electron microscopy with a combination of energy dispersive X-ray analysis, were nontoxic for thymocytes, but reduced moderately the proliferative activity of L929 cells. The inhibitory effect of fraction 2, containing particles smaller in size than fraction 1, was stronger. Fraction 3, composed of Au and up to 3% Cu was noncytotoxic for thymocytes, but was cytotoxic for L929 cells. Fraction 4, composed of Au and Ag nanoparticles, and fraction 5, composed of Au together with Cu, Ni, Zn, Fe, and In were cytotoxic for both thymocytes and L929 cells. These results suggest that USP enables the synthesis of pure gold nanoparticles with controlled size, even from gold scrap. However, microstructural analyses and biocompatibility testing are necessary for their proper selection from more cytotoxic gold nanoparticles, contaminated with other elements of gold alloys.
	Objavljeno v	Technomic Pub.; Journal of biomaterials applications; 2012; Vol. 26, no. 5; str. 595-611; Impact Factor: 2.082; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.017; WoS: IG, QE; Avtorji / Authors: Rudolf Rebeka, Friedrich Bernd, Stopić Srečko, Anžel Ivan, Tomić Sergej, Čolić Miodrag
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	14376214   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Notranja oksidacija Ag-VC kompozitov ANG Internal oxidation of Ag-VC composites

	Opis	SLO	Notranja oksidacija kompozitov Ag-VC, ki vsebuje 5 vol% karbidov je bila raziskana pri treh različnih temperaturah oksidacije (350, 400, 600 °C). Dva mehanizma sta bila identificirana zaradi tvorbe dvojnih oksidov z relativno nizko temperaturo tališča. Pri temperaturah pod najnižjo eutektično temperaturo poteka in-situ oziroma direktna notranja oksidacija brez difuzije legirnega elementa s tvorbo oksidnega plašča, ki obdaja začetni karbid. Pri temperaturah nad eutektično točko nastanejo pri notranji oksidaciji tekoča oksidna področja, ki so rastla in s časom tvorila oksidno mrežo. Kinetika je potrdila prisotnost dveh različnih mehanizmov oksidacije.
		ANG	The internal oxidation (IO) of Ag - VC composites containing 5 vol.% of carbide was examined at three oxidation temperatures (350, 400, 600 °C). Two mechanisms were observed due to the formation of double oxides with relatively low melting points. At temperatures below the lowest eutectic point in-situ, or diffusion less IO, was observed with the formation and growth of oxide layers surrounding the initial carbide. At temperatures above the eutectic point IO resulted in the formation of liquid oxide pools, which grew in size and developed into a network of oxides within the metal matrix. The kinetics confirmed the presence of two distinct mechanisms
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Corrosion science; 2011; Vol. 53, iss. 1; str. 127-134; Impact Factor: 3.734; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.755; A'': 1; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Škraba Polona, Kosec Ladislav, Bizjak Milan, Rudolf Rebeka, Romčević Nebojša, Kosec Gorazd, Kosec Borut, Lazarević Zorica, Roth Jože, Anžel Ivan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	15658006	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mikroindentacija kot komplementarna metoda za identifikacijo faz
		ANG	Microindentation as a complementary method for phase identification
	Opis	SLO	Mikroindentacijo smo izvedli na petih fazah: i-AlCuFe, □-Al <sub>13</sub> Fe <sub>4</sub> , i-AlMnBeCu, H-faza in Be <sub>4</sub> AlMn. S kvalitativno analizo smo opredelili oblike indentacijskih krivulj, pojav ostrih sprememb v naklonu krivulj ter še nekatere druge značilnosti. Nekateri faze lahko preprosto prepoznamo že na osnovi kvalitativne analize indentacijskih krivulj, medtem ko je za druge potrebna kombinacija dveh ali več kvantitativnih parametrov Martensova trdota HM, Vickersova trdota HV, delež elastične energije □IT in reducirni modul Er.
		ANG	This work investigates the possibility of using microindentation as a complementary tool for phase identification, especially in heterogeneous microstructures. Five phases present in alloys Al <sub>64</sub> Cu <sub>23</sub> Fe <sub>13</sub> and Al <sub>94</sub> Mn <sub>2</sub> Be <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub> were indented in the microindentation region. A load of 20 mN was found to be convenient for testing because it was too low to produce cracks around indents, yet high enough to avoid too large scattering of the results, occurring at smaller loads. It allowed testing of particles as small as 10 μm in the lateral direction and 3 μm in thickness. Some phases can be distinguished from others by specific characteristics of indentation curves. Otherwise, a single quantitative parameter or combinations of several indentation parameters (defined in EN ISO 14577-1) sufficed. The microindentation can considerably help by phase identification; however, a wider application will require a database, providing indentation properties for a particular phase at different loads and taking into account the indentation size effect.
	Objavljeno v	Korean Institute of Metals and Materials; Metals and materials international; 2011; Vol. 17, no. 6; str. 865-871; Impact Factor: 1.183; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.755; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Zupanič Franc	
	Tipologija	1.01	



		Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	13864982	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razširitev Tanaka-Mura modela za iniciacijo utrujenostne razpoke v toplotno rezanem martenzitnem jeklu
		ANG	Extension of the Tanaka-Mura model for fatigue crack initiation in thermally cut martensitic steels
	Opis	SLO	Prikazan je multi-scale numerični model za modeliranje iniciacije in širjenja utrujenostne razpoke v toplotno rezanem robu z martenzitno mikrostrukturo. Simulacija temelji na uporabi Tanaka-Mura modela na mikro nivoju, z uporabo sintetične mikrostrukture, modelirane z Voronojevo tesalacijo. Model vključuje tri izboljšave (modeliranje večih drsnih ravnin, združevanje mikro razpok in segmentiranje mikro razpoke). Nadaljnjo širjenje razpoke je modelirano na makro nivoju. Rezultati numerične simulacije so pokazali zadovoljivo ujemanje z eksperimentalnimi rezultati.
		ANG	A multi scale numerical approach for evaluation of crack initiation and propagation in thermally cut structural elements made of martensitic steel is presented. A numerical simulation of micro-crack initiation is based on the Tanaka-Mura micro-crack nucleation model, where individual grains of synthetic microstructure are simulated using the Voronoi tessellation. Three improvements are added to this model (multiple slip bands, micro-crack coalescence and segmented micro-crack generation). Crack propagation is then solved on a macro scale model using linear elastic fracture mechanics approach. Some experimental tests have also been performed to check the accuracy of the numerical model. The results of the proposed computational model show a reasonable correlation with the experimental results.
	Objavljeno v	Elsevier; International Conference on Crack Paths 2009; Engineering fracture mechanics; 2010; Vol. 77, iss. 11; str. 2040-2050; Impact Factor: 1.571; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.214; A': 1; WoS: PU; Avtorji / Authors: Kramberger Janez, Jezernik Niko, Göncz Péter, Glodež Srečko	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

### 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine<sup>2</sup>

		Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	14464022	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mikrostrukturne spremembe jekel med vakuumsko cementacijo
		ANG	Microstructural changes during vacuum carburizing of steels
	Opis	SLO	V prispevku predstavljamo razvoj neporušne merilne metode za sprotno spremljanje procesa vakuumske cementacije jekel. Metoda temelji na zasledovanju difuzije ogljika med vakuumsko cementacijo v obdelovancu s sportnimi meritvami električne upornosti. S to metodo smo spremljali spremembo električne upornosti med vakuumsko cementacijo obdelovanca iz čistega železa in nerjavnega jekla (N360 iso extra).
		ANG	The present paper deals with in-situ and non-destructive characterization of the vacuum carburizing process. For this purpose, the unique laboratory device was set up, that enables measuring the carbon diffusion during vacuum carburizing process by electrical resistance measurements. We determined the kinetics of the process and the microstructural changes during carburizing of plain carbon and corrosion resistant stainless steel (N360 iso extra).
		B.03	



	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	Werkstoff-Internationsgesellschaft; Fortschritte in der Metallographie; 2010; Str. 303-308; Avtorji / Authors: Brunčko Mihael, Kneissl Albert C., Anžel Ivan	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	14463510	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Toplotna stabilnost in rekristalizacija hladno deformirane zlitine Au-0,5La
		ANG	Thermal stability and recrystallization of cold deformed Au-0,5La alloy
	Opis	SLO	Študij rekristalizacije in rasti kristalnih zrn pri hladno deformirani Au-La zlitini je bil izveden z uporabo optične in elektronske mikroskopije ter meritvami mikrotrdote. V odvisnosti od eksperimentalnih rezultatov je bila skonstruirana rekristalizacijska mapa, ki daje odnos med stopnjo deformacije, temperaturo žarjenja in doseženimi mehanskimi lastnosti.
		ANG	Recrystallization and grain growth of a cold deformed Au-La alloy have been studied with optical and electron microscopy as well as microhardness measurements. Depending on the experimental results a recrystallization map that gives the correlation between degree of deformation, annealing temperature and hardness has been constructed
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	Werkstoff-Internationsgesellschaft; Fortschritte in der Metallographie; 2010; str. 51-56; Avtorji / Authors: Kušič Bojana, Rudolf Rebeka, Kneissl Albert C.	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
3.	COBISS ID	14676502	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Teoretične osnove in eksperimentalna praksa zlitin z oblikovnim spominom
		ANG	Fundamentals and experimental results of shape memory alloys
	Opis	SLO	V uvodu prispevka so podane teoretične osnove zlitin z oblikovnim spominom, kateremu sledi obširna predstavitev opravljenega eksperimentalnega dela. V okviru predstavljene raziskave smo izvajali termo-mehanska "treninge" na žicah zlitin s oblikovnim spominom ob konstantni napetosti, da bi v zlitinah ustvarili enoosni spominski efekt. Raziskave so bile opravljene na treh zlitinskih sistemih (NiTi, NiTiW in CuAlNi) z različnimi mikrostrukturami. Raziskali smo vpliv mikrostrukture na razvoj in stabilnost dvosmernega spominskega efekta. V prispevku so prav tako podani rezultati izdelave vzorcev spominskih zlitin s postopki hitrega strjevanja, kot sta "melt-spinning" in "splat-cooling". Opisani so postopki termo-mehanskih treningov in karakterizacije mikrostrukture in funkcionalnih lastnosti spominskih zlitin.
		ANG	The present paper deals with review of basic fundamentals of shape memory alloys accompanied with our experimental results. Shape memory wires were trained under constant stress in order to introduce a uniaxial shape memory effect by a thermomechanical treatment. These investigations were carried out on three different alloy systems (NiTi, NiTiW and CuAlNi) with different microstructures. The influence of the microstructure on development and stability of the intrinsic two-way shape memory effect has been discussed. Furthermore, this work deals with the production of thin specimens of shape memory alloys by melt-spinning and splat-cooling, the training procedure and their characterization with respect to microstructure and functional properties.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	2010; Avtorji / Authors: Kneissl Albert C., Mehrabi Kambiz, Brunčko Mihael	
	Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa	

4.	COBISS ID	13647638	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Naprava za določevanje parametrov malo-cikličnega utrujanja z rotirajočim upogibnim preizkusom
		ANG	Rotating bending test machine for determination of low cycle fatigue parameters
	Opis	SLO	V patentu je predstavljen osnovni koncept naprave za določanje parametrov malo cikličnega utrujanja z rotirajočim upogibnim preizkusom.
		ANG	The basic concept of the specially designed testing machine and its characteristics are illustrated in the patent
	Šifra	F.06	Razvoj novega izdelka
	Objavljeno v	Minsitrstvo za gospodarstvo, Urad RS za intelektualno lastnino; 2009; 1 mapa (loč. pag.); Avtorji / Authors: Knez Marko, Glodež Srečko, Kramberger Janez	
	Tipologija	2.24	Patent
5.	COBISS ID	67806721	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Toplotna obdelava kovinskih materialov
		ANG	Heat-treatment of metallic materials
	Opis	SLO	Skripta obravnava toplotno obdelavo različnih kovinskih materialov. V začetku so pojasnjene osnove, ki so nujno potrebne za razumevanje in uporabo toplotnih obdelav. V nadaljevanju so opisane so najpomembnejše toplotne obdelave, z nazornimi primeri za tržno dostopne zlitine.
		ANG	The textbook describes heat treatment of different metallic materials. At the beginning, foundations of heat treatment are explained, which are necessary for understanding and application of heat treatment. In the subsequent chapters the most important heat treating procedures are explained, with numerous examples for the commercial alloys.
	Šifra	D.10	Pedagoško delo
	Objavljeno v	Fakulteta za strojništvo; 2011; IV, 226 str.; Avtorji / Authors: Zupanič Franc, Lojen Gorazd	
	Tipologija	2.05	Drugo učno gradivo

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>8</sup>

Prevzem vodenja razvoja in raziskovalne skupine Razvojna skupina Zlatarne Celje šifra: 1716-001 z dne 20.3.2006 (ARRS klasif.: tehniške vede/materiali/kovinski materiali). Vodenje projektov, ki potekajo v Zlatarni Celje d.d. in so sprejeti v sofinaciranje s strani ARRS, MORS, MVZT: CRP projekt M2-0108 (2006/2008): Razvoj kovinskih zlitin z oblikovnim spominom, Razvojno strateški projekt platforme I-techmed (2006/2007): Razvoj tehnologije termomehanske obdelave dentalnih zlitin za porcelansko tehniko (sklep št. 4302-7/2006-75), Eureka E!3555 projekt DEN-MAT (2004/2007): The development of new Au dental alloys, Eureka E!3863 projekt MET-STRI (2005/2008): The new approach of the strenghtening technology for metallic strips used for electro industry, ERA-NET projekt (2007/2009): Production and properties of Nanostructural Metal-Ceramic composites, Eureka E!4213 projekt NANO-FOIL (2008/2010), Eureka GONANO (2009/2011) Eureka ORTO-NITI (2012/2014) in Eureka CELL-TI (2010/2012).

## 10. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>9</sup>

### 10.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>10</sup>

SLO

Raziskave na področjih izdelave, karakterizacije in lastnosti metastabilnih materialov so pomembne tako za področje tehničnih kot tudi naravoslovnih znanosti. Programska skupina je z rezultati raziskovalnega dela v okviru programa dala odgovore na nekatera odprta znanstvena vprašanja, in pojasnila mehanizme določenih procesov in pojavov v metastabilnih materialih s kovinsko osnovo. S temi rezultati je bil dosežen nadaljnji korak k razvoju teh materialov in tehnologij za njihovo izdelavo.

Med odprta znanstvena vprašanja na katera je poskušala najti odgovor naša programska skupina v okviru raziskovalnega dela programa spada tudi mehanizem plastične deformacije v nanostrukturnih kompozitnih materiali. Poznano je namreč, da dislokacijska teorija, ki velja za kristalne kovine in zlitine, v primeru metastabilnih nanostrukturnih materialov ni uporabna. Zato so bile raziskave mehanizmov tečenja v nanostrukturnih kompozitih zelo aktualne in pomembne za razvoj znanosti na tem področju. S poskusi na vzorcih, katerih jedro je bilo iz trdne raztopine na osnovi bakra, plašč pa iz kovinsko keramičnega kompozita Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, smo odkrili, da sta v kompozitnem plašču prisotna dva mehanizma plastične deformacije, medtem ko poteka plastično tečenje v enofazni kovinski matici le z drsenjem dislokacij. V kompozitnem plašču poteka plastična deformacija s drsenjem dislokacij le do stanja, ko se zaradi deformacijske utrditve sproži energijsko ugodnejši mehanizem drsenja vzdolž mej zrn. Za razvoj znanosti so bile pomembne tudi nadaljne raziskave in nova spoznanja o vplivu defektov v kristalni strukturi metastabilnih materialov na potek kemijskih reakcij in faznih transformacij v trdnem. Raziskave so potrdile hipotezo, da potečejo v metastabilni mikrostrukturah s povečano koncentracijo mrežnih defektov kemijske reakcije, ki jih v termodinamsko ravnotežnih mikrostrukturah ni pričakovati. Tako smo na primer pri žarjenju hitro strjenega mikrolegiranega zlata zasledili tvorbo finih oksidnih delcev nanometrijske velikosti po volumnu kristalnih zrn. Ta pojav predstavlja svojevrsten paradoks saj termodinamski pogoji za to kemijsko reakcijo niso izpolnjeni. Maksimalna topnost kisika v zlatu je namreč prenizka, da bi lahko potekali oksidacijski procesi. Potencial tako izdelanih disperzijsko utrjenih zlitin zlata in postopka izdelave preko metastabilnega stanja mikrostrukture, se je pokazal v tankih prevlekah na medicinskih implantatih.

Pomemben korak na področju razvoja novih tehnologij izdelave nanostrukturnih metastabilni stanj predstavljajo poskusi izdelave Au nanodelcev s postopkom pirolize z ultrazvočnim razprševanjem. Raziskave so pokazale, da lahko s tem postopkom kontroliramo velikost, obliko in topologijo nanodelcev, kar močno vpliva na njihove funkcionalne lastnosti.

Raziskovalno delo na področju razvoja aluminijevih zlitin s kvazikristalnimi fazami je dalo pomembne rezultate za razvoj znanosti na tem področju. Analiziran je bil vpliv dodatka tretjega in četrtega legirnega elementa na stabilnosti kvazikristalov in kinetiko njihovega razpada. Opredeljena je bila fazna sestava zlitine Al-Mn-Be-Cu v odvisnosti od pogojev strjevanja, ter pojasnjen vpliv dodanih legirnih elementov na stabilnost kvazikristalnih faz. Ugotovljeno je bilo, da vsebujejo kvazikristali povečan delež berilija, ki jih stabilizira. Dodatek Cu omogoča nastanek kvazikristalne faze že pri manjših hitrostih ohlajanja ter omogoča nadaljnjo optimizacijo lastnosti s termomehansko obdelavo. Trdnostne lastnosti teh zlitin dosegajo vrednosti visokotrnostnih aluminijevih zlitin in nekoliko večji raztezek, kar predstavlja dober potencial za njihovo uvajanje v industrijsko proizvodnjo.

ANG

Researches in the fields of manufacturing, characterization and properties of metastable materials are important for engineering, as well as for the natural sciences (e.g. materials science, physics, chemistry...). In the results of research program gave our program group the answers to some open scientific questions and explained the mechanisms of certain processes and phenomena in metastable metallic materials. With these results a significant step further in development new metastable materials and technologies for their production has been attained.

Among the open questions for which our program group tried to find the answers in the frame of the research program work belongs also the mechanism for plastic deformation in nano-structured composite materials. It is well-known that the dislocation theory (valid for crystal-structured metals and alloys) can not be applied to the metastable nano-structured materials. Consequently, the research of these mechanisms can be considered as a top-ranking topic of crucial importance for further development in this field. The experiments performed on the samples of which the core consisted of Cu based solid solution and the coat presented the metal-ceramic composite Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, revealed two mechanisms of plastic deformation in the composite coat, while the plastic flow in core proceeds by dislocation sliding. In the composite coat plastic deformation proceeds by dislocation sliding as long as deformation strengthening in

the volume of grains triggers energetically more favorable mechanism of grain boundary sliding.

For the progress in science were also important the investigations and the new cognitions about the influence of lattice-defects in the microstructures of metastable materials on chemical reactions and phase transformations in solid state. Researches confirmed the hypothesis that chemical reactions, which can not be expected in thermodynamically stable microstructures, occur in metastable microstructures with increased concentrations of lattice-defects. So, for the instance, formation of fine nano-sized oxide-particles throughout the crystal grains has been found out during annealing of rapidly solidified micro alloyed gold. This phenomenon can be regarded as a peculiar paradox as thermodynamical conditions for this chemical reaction are not fulfilled. The potential of dispersion strengthened gold alloy produced in this way from the metastable state of the microstructure, has been confirmed in thin surface layers on medical implants.

Significant step further in the field of development of new technologies for production the nanostructural metastable states present the experiments of producing the gold nano-particles with technology of ultrasonic spray pyrolysis. The researches have shown that with this technology it is possible to control the size, morphology and topology of nanoparticles, the important characteristics which influence their functional properties.

The research work in the field of aluminium alloys with quasicrystalline phases gave important results for development of the science in this field. The influence of addition of the third and fourth alloying elements on the stability of quasicrystals and kinetics of their decomposition has been analyzed. The phase composition of the Al-Mn-Be-Cu alloy, as a function of solidification conditions has been also defined, and the impact of added alloying elements on the stability of quasicrystalline phases was explained. The strength properties of these alloys reach the values of high-strength aluminium alloys and they show slightly higher elongation, which present a good potential for their implementation in the industrial production.

## 10.2.Pomen za razvoj Slovenije<sup>11</sup>

SLO

V svetu poteka veliko število raziskav, ki se ukvarjajo z razvojem tehnologij in materialov, ki so v metastabilnem stanju. Ne samo to, vedno več je aplikativnih projektov ter primerov ustanavljanja tako spin-off kakor tudi drugih podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo takšnih materialov. Ker gre za visokotehnološke proizvode, je dodana vrednost zelo velika. Trenutno je v Sloveniji veliko relativno uspešnih podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo in predelavo aluminija, bakra in žlahtnih kovin ter s področji livarstva in preoblikovanja. Ta podjetja obvladujejo tehnologijo uveljavljenih zlitin, vendar mnoga dosegajo sorazmerno majhno dodano vrednost. Če bodo hotela ostati konkurenčna tudi v bodočnosti, se bodo morala usposobiti tudi za izdelavo tehnološko zahtevnejših materialov in izdelkov. Pogosto se morajo podjetja zaradi maloštevilnega inženirskega kadra ter omejenih sredstev ukvarjati s tekočimi in kratkoročnimi problemi, ki se morajo rešiti v nekaj dneh, zaradi česar so dolgoročne raziskave, ki bi bile nujne za nadaljnji razvoj podjetja, pogosto zapostavljene. S tega stališča menimo, da smo s poglobljanjem teoretičnega znanja o materialih in tehnologijah ter razvojem in obvladovanjem sodobnih tehnologij materialov, dosegli ustrezn nivo znanja za kvalitetno podporo slovenski kovinski industriji, ki se že sooča s potrebo po uvajanju novih tehnologij in materialov. Kot programska skupina na Fakulteti za strojništvo UM pridobljena znanja sproti prelivamo v pedagoški proces ter prenašamo na študente, ki se bodo v nekaj letih zaposlili in ki bodo predstavljali nosilce razvoja v naših podjetjih.

Že dosedanje delo na raziskovalnem programu nam je zaradi zanimivosti in koristnosti tematike omogočilo navezovanje in sodelovanje s številnimi podjetni doma in v tujini, kakor tudi z mnogimi uveljavljenimi raziskovalnimi skupinami, kar bomo ob nadaljevanju programa še dodatno razširili in poglobili.

ANG

Numerous research projects are running all over the world dealing with the development of technology and materials that are in a metastable state. Moreover, there are a lot of applied projects and the founding of spin-offs and other companies that are concerned with the production of suchlike materials. The added-value of this high tech production is very high. Momentarily, there are in Slovenia, a lot of very successful companies concerned with production, processing and founding of aluminium, copper and noble metals. These companies master the technology of valued alloys; however, they attain poor added-value on the market.

To stay competitive in the future they must also be qualified for the production of technologically-advanced materials and products. In these companies those long-term research activities that are important for growth are often disregarded, due to limited financial funds and a few engineers who are occupied with current and short-term problems. From this point of view, we believe that with deeper theoretical knowledge of materials and technologies and also with development and mastering of modern materials technology, we obtained high level of knowledge for quality support to Slovenian industry which is already confronted with demand for initiation of new technologies and materials.

As a program group at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor we carry acquired knowledge on pedagogical process and for our students who will in a few years employ themselves and will represent the carriers of progress to our companies.

Already previous work on a research program has enabled us, due to curiosity and the usefulness of the topic, establishment of contacts, and collaboration with numerous local and foreign companies, as well as research groups. Moreover, these connections would be widened and consolidated with the continuation of our research program.

## 11. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2012<sup>12</sup>

### 11.1. Diplome<sup>13</sup>

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	01
bolonjski program - II. stopnja	0
univerzitetni (stari) program	04

### 11.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti<sup>14</sup>

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
28409	Niko Rozman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15673	Andrej Ivanič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
5522	Samo Lubej	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Franc Berk	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Natalija Orešek	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

**Mag.** - Znanstveni magisterij

**Dr.** - Doktorat znanosti

**MR** - mladi raziskovalec

## 12. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju<sup>15</sup>

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
28409	Niko Rozman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

**A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi

**B** - gospodarstvo

**C** - javna uprava

**D** - družbene dejavnosti

**E** - tujina

**F** - drugo

**13. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, doktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2012**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
0	Sergej Tomić (R. Srbija)	C - študent - doktorand	6	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent - doktorand iz tujine
- D** - doktorand iz tujine

**14. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2012<sup>16</sup>**

SLO

Elettra, Sincrotrone Trieste, Italy, VI Framework Program Transnational Access, RII3-CT-2004-506008: IA-SFS), izvedba rentgenske difrakcije XRD s sinhrotronskim sevanjem v okviru naslednjih projektov (številke projektov): 2007442, 2008403, 20085042, 20090314: Phase analysis of Al-Mn-Be-X alloys containing quasicrystals in  
20110158: Phase analysis in ternary Al-Mn-Be system X-RAY DIFFRACTION Sem-33 (Franc Zupanič)  
Projekt izveden v Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italija  
EUROPEAN COMMISSION - SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME, Research Infrastructures Action Project n. 026134(RII3)ANNA  
European Integrated Activity of Excellence and Networking for Nano and Micro-Electronics Analysis, Transnational Access Scheme.  
Chemical composition of phases in Al-Mn-Be-X alloys, Project No. ANNA\_UC2\_RP008, TA 2.2 – FBK - SIMS, TA 2.3 – FBK – ToF-SIMS, TA 2.6 – FBK – XPS (Franc Zupanič)  
Graz University of Technology, Austrian Centre for Electron Microscopy and Nanoanalysis, Analytical TEM investigation of quasicrystalline samples (Franc Zupanič)  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za primijenjenu fiziku, Unska 3, 10 000 Zagreb, Hrvaška: Interaction of laser UV-light with the surface of metallic materials and characterisation using focussed ion beam (FIB). (Franc Zupanič)  
ASULAB, A division of The Swatch Group Research and Development Ltd, Rue des Sors 3, CH – 2074 MARIN, Contract No.: P-95/2005 – ITM, Continuous casting of alloys; Experiments on the production of nickel-base and cobalt-base alloys (Franc Zupanič)  
Metalwerks PMD, Inc., 401 Steel Street , Aliquippa, PA 15001-5415, United States of America, Contract No.: P-128/2006 – ITM, Continuous casting of alloys (Franc Zupanič)  
University of Belgrade Beogradu, High School of Dentistry: Smart dental materials (Rebeka Rudolf)  
Institute of Physics Belgrade, Centre for Raman spectroscopy (Rebeka Rudolf)  
University of Niš, Medicine faculty, Centre for characterisation of biomaterials (Rebeka Rudolf)  
RWTH Aachen, Institute for recycling, Germany (Rebeka Rudolf)  
University of Belgrade, Department of Metallurgical Engineering, The research group of advanced materials and technologies (Rebeka Rudolf)

Institute Vinca Serbia, Centre for new technologies (Rebeka Rudolf)  
Bilateralni projekt z Republiko Avstrijo (BI-AT09-10-003): Nanostrukturni kovinsko-keramični kompoziti (Ivan Anžel)  
Bilateralni projekt z Republiko Hrvaško (BI-HR/09-10-023): Razvoj novih kovinskih materialov z oblikovnim spominom (Ivan Anžel)  
Bilateralni projekt z Republiko Srbijo (BI-SR/10-11-022): Optične lastnosti kovinskih nano prahov (Ivan Anžel).  
Bilateralni projekt z Norveško (SLO/NO BI /07-09-005): Napoved utrujenostne življenske dobe (Janez Kramberger)  
Bilateralni projekt s Češko Republiko (SLO/CZ BI /08-09-014): Vpliv laserskega rezanja na dinamično trdnost jekla (Janez Kramberger)

**15. Vključenost v projekte za uporabnike, ki v so obdobju trajanja raziskovalnega programa (1. 1. 2009 – 31. 12. 2012), potekali izven financiranja ARRS<sup>17</sup>**

SLO

Zlatarna Celje d.d.: Mikrostrukturna analiza nastalih defektov na različnih izdelkih iz Au in Ag zlitin; Optimizacija precizijskega litja; Razvoj novih postopkov za površinsko zaščito nakita pre korozijo (Rebeka Rudolf)  
Maksim d.o.o.: Razvoj novih postopkov pocinkanja in tehnologij v kontejnerski tehniki (Rebeka Rudolf)  
Pocinkovalnica d.o.o.: Študij nastanka Zn plasti na različnih konstrukcijskih elementih (Rebeka Rudolf)  
Metal Nova Čuprija: Robotizacija varjenja, Razvoj ATOM kontejnerja (Rebeka Rudolf)  
Metal Cinkara Čuprija: Raziskava vpliva različnih mikroelementov na lastnosti Zn-taline (Rebeka Rudolf)  
Cinkara Indija: Raziskava priprave površine konstrukcijskih elementov za pocinkanje (Rebeka Rudolf)  
Magneti d.d.: Razvoj novih magnetnih materialov (Mihael Brunčko)  
Primat d.d.: Novi materiali v tehnologijah podjetja Primat (Ivan Anžel)

**16. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)<sup>18</sup>**

SLO

Raziskovalno delo naše programske skupine na področju razvoja novih materialov iz termodinamsko metastabilnih stanj in tehnologij njihove izdelave v programskem obdobju 2009-2012 je dalo rezultate, ki kažejo veliko stopnjo zrelosti in dajejo dobre možnosti za postopen prenos v industrijsko prakso. Na področju metastabilnih zlitin na osnovi zlata so raziskave potrdile smiselnost ustvarjanja metastabilnega stanja, saj smo s hitrim strjevanjem ustvarili pogoje za potek notranje oksidacije, oziroma za disperzijsko utrjanje površinskega sloja. Potencial tako izdelanih zlitin in postopka izdelave preko metastabilne mikrostrukture, je v tankih prevlekeh na medicinskih implantatih. Laboratorijski poskusi so pokazali, da lahko v takšnih primerih z naknadno NO dosežemo izboljšane mehanske lastnosti ob ustrezni biokompatibilnosti v površinskem sloju, hkrati pa izboljšamo tudi obrabno odpornost materiala, ter ustvarimo zaščito pred nastankom biofilma na implantatih. Raziskave na področju metastabilnih funkcionalnih zlitin (spominske zlitine) je pokazal velik potencial uporabljenih tehnoloških postopkov hitrega strjevanja za izdelavo mikrokomponent iz teh zlitin. Pred implementacijo teh rezultatov v prakso pa bo potrebno izboljšati stabilnost tehnologije izdelave do stopnje, ki bo zagotavljala konstantne funkcionalne lastnosti izdelka. Zelo dobri rezultati so bili pri izdelavi nanostruktur in funkcionalnih nanodelcev doseženi tudi s postopki ekstremne plastične deformacije in pirolize z ultrazvočnim razprševanjem. Nadaljnje raziskave na tem področju pa bodo dale oceno uporabnosti te metode



za izdelavo biomedicinskih funkcionalnih nanostrukturnih materialov. Al-zlitine s kvazikristali je možno izdelovati z litjem. To so predvsem postopki kontinuirnega in tlačnega litja, izmed novejših inovativnih metod pa bi bil zelo primeren postopek litja na en valj (single-roll continuous casting). Zlitine so dosegle že veliko stopnjo zrelosti, čeprav je potrebnih še nekaj raziskav za opredelitev optimalne kemijske sestave za različne postopke litja. Duktilnost in žilavost do sedaj razvitih zlitin omogočata tudi veliki stopnje plastične deformacije in s tem izdelavo delov s preoblikovanjem. Ulitki bi se lahko uporabljali za nosilne dele avtomobilov, saj se dosegajo približno takšne trdnosti, kot v najtrdnejših aluminijevih zlitinah, hkrati pa so zelo duktilne.

**17. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali**

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>19</sup>	

**18. Izjemni dosežek v 2012<sup>20</sup>**

**18.1. Izjemni znanstveni dosežek**

V letu 2012 smo naredili pomemben korak na področju razvoja novih tehnologij izdelave nanostrukturnih metastabilnih stanj. S postopkom ultrazvočne razpršilne pirolize smo pridobili nanodelce zlata, ter raziskali njihove imunomodulatorne lastnosti. Rezultati raziskav so pokazali, da je obseg znižanja citotoksičnosti in kasnejše proizvodnje citokinov, kot tudi način celične smrti, odvisen od sestave nanodelcev. Na ta način smo potrdili, da USP omogoča sintezo nanodelcev zlata, ki bi bili primerni za različne biološke aplikacije, in da ConA-obdelani splenociti predstavljajo zanesljiv model za hitro in natančno oceno imunotoksikoloških profilov teh delcev.

**18.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek**

--

**C. IZJAVE**

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa

**Podpisi:**

*zastopnik oz. pooblaščen oseba JRO  
in/ali RO s koncesijo:*

in

*vodja raziskovalnega programa:*

Univerza v Mariboru, Fakulteta za  
strojništvo

Ivan Anžel

**ŽIG**

Kraj in datum: 

Maribor	6.3.2013
---------	----------

**Oznaka prijave: ARRS-RPROG-ZP-2013/33**

<sup>1</sup> Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani ARRS (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>3</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>4</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>5</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>8</sup> Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>9</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1. 1. 2009 – 31. 12. 2012), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Vpišite število opravljenih diplom v času trajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

<sup>14</sup> Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času trajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite MR. [Nazaj](#)

<sup>15</sup> Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2012), ustrezno označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

<sup>16</sup> Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>17</sup> Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>18</sup> Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>19</sup> Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>20</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2013 v1.00

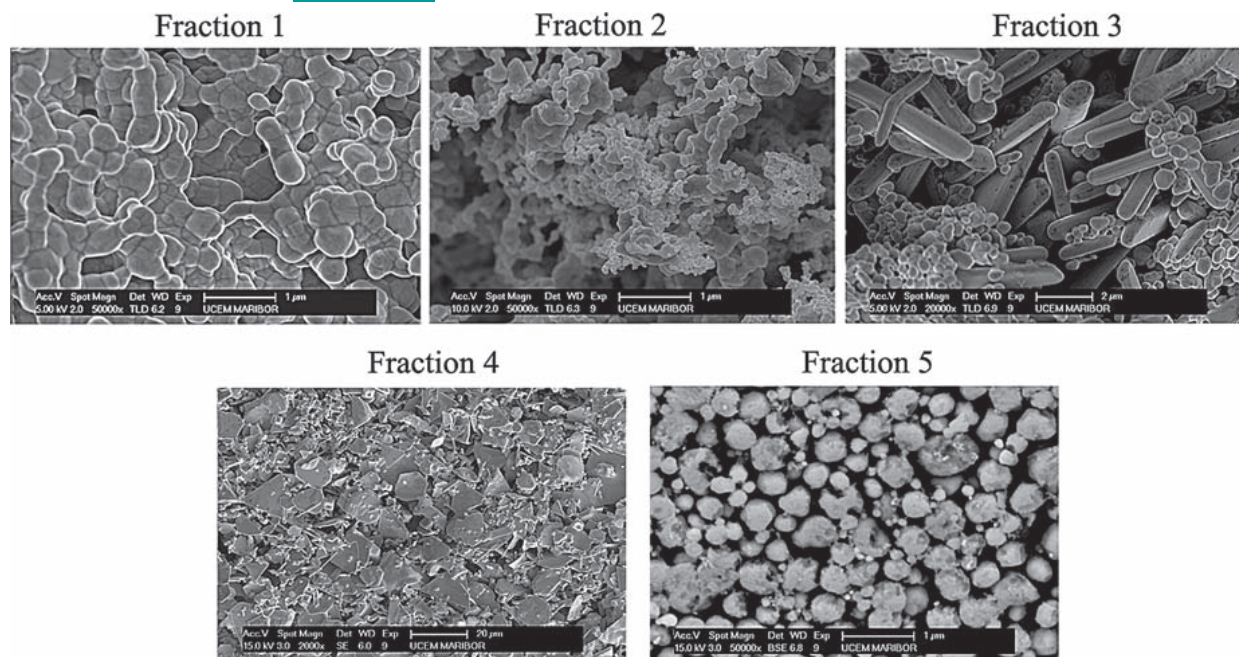
18-99-BC-66-4B-95-B9-F0-88-34-E1-60-A8-87-6B-64-79-A2-FA-2D

VEDA

Področje: šifra in naziv področja

Dosežek 1: Analiza imunomodulatornih lastnosti nanodelcev zlata,

Vir: COBISS.SI-ID [15970838](#)



V letu 2012 smo naredili pomemben korak na področju razvoja novih tehnologij izdelave nanostrukturnih metastabilnih stanj. S postopkom ultrazvočne razpršilne pirolize smo pridobili nanodelce zlata, ter raziskali njihove imunomodulatorne lastnosti.

Pripravili smo 5 različnih frakcij nanodelcev ter izvedli karakterizacijo mikrostrukture in citotoksičnosti nanodelcev skupaj z njihovimi imuno-modulatornimi lastnostmi. Pri tem smo koristili Con –canvalin A(ConA) obdelan s splenociti podgan kot model aktiviranih imunskih celic. Frakciji 1 in 2 sta bili sestavljeni iz čistih zlatih nanodelcev in sta bili ne-citotoksični, a sta kljub temu zmanjšali celično proliferacijo. Frakcija 2, ki je vsebovala manjše delce, ki so bili tudi manj aglomerirani kot delci frakcije 1, je povzročila »up in down« uravnavanje proizvodnje IL-2 in IL-10 oziroma posledično aktivacijo splenocitov. Frakcija 3, ki je vsebovala nanodelce sestavljene iz Au in Cu do 3 at.%, je bila tudi necitotoksična, a je vseeno povzročila redukcijo IL-2 proizvodnje in celično profileracijo. Frakciji 4 in 5, ki sta bili kontaminirani z legirnimi elementi iz ostankov zlata, sta bili citotoksični. Rezultati raziskav so pokazali, da je obseg znižanja citotoksičnosti in kasnejše proizvodnje citokinov, kot tudi način celične smrti, odvisen od sestave nanodelcev. Na ta način smo potrdili, da USP omogoča sintezo nanodelcev zlata, ki bi bili primerni za različne biološke aplikacije, in da ConA-obdelani splenociti predstavljajo zanesljiv model za hitro in natančno oceno imunotoksikoloških profilov teh delcev.