

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2013/28



## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	P2-0344
<b>Naslov programa</b>	Materiali s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi
<b>Vodja programa</b>	19623 Goran Kugler
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	8100
<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>	1555 Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta 1522 Razvojni center orodjarstva Slovenije 1533 C3M d.o.o., Center za računalništvo v mehaniki kontinuuma - modeliranje in trženje
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.04 Materiali
<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

Materiali z visoko dodano vrednostjo, ki temeljijo na visokotehnološkem znanju in za katere so značilne nove funkcionalnosti in izboljšane karakteristike postajajo vedno pomembnejši za industrijsko konkurenčnost in tehnični napredek. Glede na nove modele industrijske proizvodnje so materiali ključ za današnji tehnični napredek in predstavljajo potreben pogoj za povečevanje vrednosti izdelkov in njihovih lastnosti. Novo obetavno področje na znanju temelječega razvoja materialov je tako imenovani koncept materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi (MFPL), ki predstavljajo popolnoma novo filozofijo in pristop tehnologiji in inženirstvu materialov za konstruiranje in izdelavo

posameznih komponent.

MFPL so materiali z zvezno porazdeljenimi prostorskimi variacijami kemične sestave, mikrostrukture, teksture, porazdelitve faz in vsebnost izločkov za doseganje makroskopskih in/ali mikroskopskih značilnosti, ki zagotavljajo različne funkcijske karakteristike sestavnega elementa za dano aplikacijo. MFPL so še vedno v začetni fazi razvoja in pričakuje se, da bodo imeli v naslednjih desetletjih velik vpliv na načrtovanje in razvoj novih komponent in struktur z izboljšanimi lastnostmi. Konvencionalen pristop izbire materialov za načrtovanje in izdelavo komponent temelji na seznamu obstoječih inženirskih materialov. V primeru pristopa z MFPL sledimo tako imenovani inverzni inženirski praksi, kjer karakteristične lastnosti strukturnega elementa diktirajo izbiro osnovnih sestavin materiala in procesne poti. Izbira materiala je pri obstoječem načrtovanju podvržena kompromisu med različnimi lastnostmi izbranega materiala. Po drugi strani je za MFPL značilen gradient lastnosti in ker lahko velik del MFPL-ja vsebuje celotne lastnosti vsake izmed komponent zato ni več potrebe po kompromisu in so lahko lastnosti vsake komponente popolno izkoriščene. Ti materiali predstavljajo velik potencial za uporabo za širok krog aplikacij na mnogih področjih kot so npr. biomehanika, avtomobilska industrija, logistika, vesoljska tehnologija, strojništvo, gradbeništvo, jedrska tehnologija in pomorstvo, še posebej pa na področjih kjer so delovni pogoji izjemno zahtevni (turbine, termične bariere, dinamično obremenjeni strojni deli, itd.).

Raziskovalni program je usmerjen v raziskave in razvoj novih, z znanjem podprtih masivnih kovinskih materialov in polimerov na osnovi MFPL s po meri izdelanimi lastnostmi skupaj z optimalnimi tehnologijami za njihovo izdelavo izkoriščajoč procese v materialu na celotni procesni verigi od litja, toplotne obdelave, preoblikovanja itd., s ciljem doseči širok krog uporabe. Koncept MFPL pa ni usmerjen le v gradient končnih lastnosti izdelkov ampak tudi v izdelovalne tehnologije za proizvodnjo materialov s homogenimi lastnostmi. Namreč, z uporabo koncepta funkcionalne gradiacije lastnosti je možno povečati prožnost obstoječih tehnologij in posledično produktivnost ter izboljšati lastnosti izdelkov.

ANG

Added value materials with higher knowledge content, new functionalities and improved performance are becoming very important for industrial competitiveness and sustainable development. According to the new models of manufacturing industry, materials are the key for today's technological advances and they represent the first step in increasing the value of products and their performance. A very promising new area of knowledge-based materials design is the concept of functionally graded materials (FGMs), which represent a completely new philosophy and approach of materials technology and engineering of component design and fabrication.

FGMs are materials with continuous, smooth spatial variations of chemical composition, microstructure, texture, phase distribution or particle content designed in order to obtain macroscopic and/or microscopic features suitable for different functional performance within a part for a given application. FGMs are in their early stages of evolution and are expected to have a strong impact on the design and development of new components and structures with better performance in the next decades. The conventional approach of materials selection for component design and fabrication is based on the list of existing engineering materials. In the case of FGM approach, an 'inverse design procedure' is followed, where the functional properties of the structural part dictate the choice of basic material ingredients and material processing routes. Materials selection in traditional component design involves a compromise between its desirable properties. On the other hand FGMs are characterized by gradient in properties and since significant proportions of FGMs can contain pure form of each component property, the need for compromise is eliminated and the properties of each component can be fully utilized. They possess huge potential for use in broad range of applications including for example, biomechanical, automotive, transport, aerospace, mechanical, civil, nuclear and naval engineering, and in particular where operating conditions are severe (turbines, thermal barrier, etc.).

The research program focuses on research and development of new knowledge-based bulk metallic and polymer based FGMs with tailored properties together with optimized technologies for their production exploiting the entire processing chain from casting, heat treatment to forming, targeting a wide range of applications. Furthermore this concept is not directed only toward the gradation of final properties of the produced components but also toward existing manufacturing technologies for production of material with homogeneous properties. Namely, by applying the concept of functional gradation the flexibility of existing technologies can be

increased which can consequently lead to increased productivity and improved properties of products.

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

SLO

V času od 2009-2012 so bile v okviru raziskovalnega programa Materiali s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi izvedene naslednje aktivnosti na različnih področjih dela: Na eksperimentalnem delu je bil na simulatorju termomehanskih stanj razvit test, ki omogoča simuliranje celotne livne naprave, od strjevanja v kokili do izhoda žile iz livne naprave z veliko natančnostjo. Rezultati študija izločanja delcev drugih faz in pri pogojih nehomogenega temperaturnega polja in kontroliranem ohlajanju pri kontinuirnem litju jekel so pomembni tudi za slovensko industrijo jekla, saj se pri tem procesu na industrijski skali pojavijo različne napetosti, ki sprožijo procese izločanja. Eksperimentalni del je bil podprt tudi z računalniškimi simulacijami, kjer je bil razvit test kontinuirnega ulivanja računalniško simuliran z na novo izdelanim in uspešno izvedenim modelom homogenega in heterogenega izločanja na osnovi teorije povprečnega polja.

Da bi raziskali potencial za proizvodnjo masivnih materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi s pomočjo tehnologije iztiskanja smo na primeru iztiskanja Al zlitin podrobno študirali procese, ki vplivajo na razvoj snovnih lastnosti v vsaki tehnološki fazi proizvodnega procesa. Še naprej smo razvijali tudi makroskopski model za simulacije vročega iztiskanja z metodo končnih elementov in ga povezali z novim modelom na osnovi metode CA za simulacijo razvoja mikrostrukture med ohlajanjem materiala po deformaciji. Za izjemno pomembne simulacije termičnega utrujanja je bil razvit nov test, ki je veliko hitrejši in natančnejši od podobnih testov v literaturi. Novo razvit preizkušanelec je dodatno pomembno skrajšal čas testiranja. Nadalje je bil razvit nov material s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi na osnovi jekla AISI H13, ki omogoča izboljšanje obstojnosti proti termičnemu utrujanju orodji za tlačno litje. Opravljena testiranja termičnega utrujanja so pokazala, da ima razviti material superiorne lastnosti v primerjavi s klasičnimi, saj je bila rast termičnih razpok za 30x počasnejša v primerjavi z osnovnim materialom in približno 3x počasnejša v primerjavi z nitriranim osnovnim materialom. Na podlagi podatkov, ki so bili dobljeni pri meritvah koncentracijskih profilov v vzorcih izdelanega gradientnega materiala je bila za opis spremembe kemijske setave po globini vpeljana dvoparametrična funkcija. Njena uporaba predstavlja velik napredek v primerjavi z do sedaj uporabljenimi funkcijami. Z njeno pomočjo je bil predlagan izraz za napetosti v prerezu elementa, ki je sestavljen iz materiala s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi ter je upogibno oziroma membransko obremenjen. Na osnovi dobljenih rešitev je bila izpeljana enačba za izračun lomne žilavosti, s to pa je mogoče zelo uspešno napovedati napredovanje razpok ter s tem življenjsko dobo elementa.

Raziskani in študirani so bili različni sistemi z gradientnimi lastnostmi: i) v zlitinskih sistemih AlSi(Mg,Cu) je bil študiran vpliv dodatka Ce na potek strjevanja in izločanja. Ce spremeni morfologijo strjevanja obravnavanih zlitinskih sistemov v zadnjem strjevalnem področju in precipitacijo izločkov ter s tem vpliva na izboljšanje lastnosti, ii) v sistemu AlZnSb smo preučevali konstitucijo Al in Zn kota ternarnega sistema. Raziskava omogoča uporabo rezultatov pri načrtovanju novih nizkotemperaturnih materialov za spajanje in kovinske prevleke s posebnimi usmerjenimi lastnostmi, iii) preučevali smo indefinitni valj z gradientnimi lastnostmi od sredine proti površini, ki je bil sestavljen iz delovne plasti, ki je iz kromove bele litine, jedro pa iz sive litine s kroglastim grafitom. Izvedeni so bili izračuni faznih ravnotežij, simulacije poteka strjevanja, ohlajanja in napetosti. Na podlagi dobljenih rezultatov je bil izdelan načrta ulivanja in ohlajanja valja, ki omogoča doseganje

gradientnih lastnosti valja po preseku.

Za numerične simulacije materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi je bilo obstoječe orodje za modeliranje z metodo končnih elementov nadgrajeno in optimirano s konceptom izračuna mikro-makro modelov, ki omogoča učinkovit hkratni izračun mikro podproblemov na heterogenih računalniških grućah. Pristopi k izračunu konsistentne togosti, ki jih zasledimo v literaturi se namreć v konćni fazi vsi prevedejo na problem kondenzacije celotne togosti reprezentativnih volumskih elementov v makroskopsko lokalno togost, kar zahteva ogromno računalniškega ćasa. Z uporabo novega pristopa se izognemo mnogim računskim operacijam, kar pripomore k hitrejšemu reševanju problemov. Razvita metoda je bila prilagojena vzporednemu računanju tako, da se lahko posamezna mikro analiza v reprezentativnem volumskem elementu izvaja na svoji procesorski enoti.

Za računalniške simulacije na atomski prostostni skali je bila razvita in nadgrajena računalniška koda za simulacijo difuzijskih procesov na osnovi kinetićne Monte Carlo metode. V oddanem doktorskem delu je bil z razvito kodo študiran vpliv gruć atomov podkritićne velikosti in njihova mobilnost ter vpliv na konćno mikrostrukturo.

Na podroćju polimernih materialov so bile na podlagi študij in numeričnih analiz izvedenih v okviru programa v laboratorijskem okolju testirane razlićne tehnologije za izdelavo gradientnih polimernih izdelkov. Izvedeni so bili numerični preraćunu in simulacije za napovedovanje poteka izbranih tehnoloških postopkov in osnovno optimizacijo, ter na njihovi podlagi izvedene potrebne nadgradnje in modifikacije opreme, ki je potrebna za izvedbo testiranj. Najpomembnejše rezultate pri testiranjih smo dosegli pri kombinaciji biorazgradljivih polimerov prevlećenih s tankoslojnimi prevlekami, ki zagotavljajo daljšo obstojnost osnove izdelane iz biopolimera, ki je sicer površinsko precej občutljiv na povećano stopnjo vlaŹnosti. Od preostalih tehnologij, ki smo jih testirali in pri katerih smo dosegli pomembne rezultate izpostavljam o več komponentno brizganje termoplast/termoplast, termoplast/elastomer, termoplast/kovina in termoplast/siliko

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

SLO

V skladu s predlaganim ćasovnim planom in zastavljenimi raziskovalnimi cilji raziskovalnega programa so bile v ćasovnem obdobju 2009-2012 predvidene aktivnosti na desetih podroćjih oz. delovnih paketih: **i)** eksperimentalne študije elementarnih procesov, kjer je bilo na simulatorju metalurških stanj izveden študij procesov, ki vplivajo na razvoj mikrostrukture in porazdelitve vkljućkov in delcev drugih faz razlićnih kovinskih materialov pri pogojih nehomogene deformacije ter temperature. **ii)** karakterizacija, kje so bili ovrednoteni in študirani procesi v materialu z uporabo modernih metod (ETA, DSC, DTA, OM, SEM, TEM, XRD, ...) in podprto z termodinamskimi preraćuni in modeliranjem procesov. **iii)** razvoj modelov za opis obnašanja materiala na razlićnih prostorskih in ćasovnih skalah, **iv)** njihova uporaba v simulacijskih paketih in **v)** simulacije, kjer so bili razviti razlićni modeli za homogeno in heterogeno nukleacijo in rast izloćkov na osnovi teorije povprećnega polja, razvoj kode na osnovi kMC metode za študij difuzijskih faznih transformacij na atomski skali z uporabo interatomskih potencialov izraćunanih z uporabo MD. Na mezoskopski skali je bila razvita koda za simulacije razvoja mikrostrukture na osnovi metode CA. Na makroskopski skali je bilo obstojeće orodje za MKE nadgrajeno in optimirano s konceptom izračuna mikro-makro modelov, ki omogoća učinkovit hkratni izračun mikro podproblemov na heterogenih računalniških grućah. V

tem modelu smo uspeli popolnoma sklopiti makroskopsko in mikroskopsko prostorsko skalo in sicer z uporabo reprezentativnih volumskih elementov ter z izračunom konsistentne togosti na osnovi rešitve občutljivostnega problema na mikroskopski prostorski skali. **vi)** izdelava testnih materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi v laboratoriju, **vii)** testiranje teh materialov in **viii)** optimizacija procesov in lastnosti, kjer je bil razvit in izdelan nov material s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi, nova testna naprava in preizkušane, ki sta omogočila njihovo testiranje in optimizacijo porazdelitve lastnosti po volumnu. **ix)** združen dizajn MFPL in komponent, kjer je bilo izdelan prototip laboratorijskega orodja za tlačno litje. **x)** uporaba razvitih konceptov pri klasičnih tehnologijah, kjer smo optimirali procese litja, kovanja, valjanja, iztiskanja, nitiranja, toplotne obdelave, ter proizvodnje pri različnih industrijskih partnerjih.

Raziskovalne hipoteze, program dela in zastavljeni cilji, so bili v skladu s predlogom vsebine projekta in s predlagano časovnico v celoti realizirani. Iz programa izhajajo mnoge objave, največkrat v zgornji četrtini znanstvenih publikacij naših področij, nagrade in priznanja, patent in številna mednarodna sodelovanja, vključenost v evropske projekte in izdelana mnoga diplomska, magistrska in doktorska dela, ter izvedeni številni aplikativni projekti s slovensko kovinsko predelovalno, polimerno in metalurško industrijo.

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

Raziskovalni program je potekal v skladu z zastavljenimi cilji in predlogom, brez sprememb. V raziskovalni skupini je prišlo do zamenjave doc. dr. Gašper Gantarja z doc. dr. Marko Janez Slabetom in sicer zato ker je slednji zamenjal prvega na mestu direktorja Razvojnega centra orodjarstva TECOS. Zamenjava ni vplivala na izvajanje ciljev programa. Da bi še dodatno pokrili delovanje na področje raziskav umetnih bioloških tkiv smo v letu 2010 v programsko skupino vključili novega raziskovalca dr. Janeza Prešerna. Le ta je kasneje zapustil programsko skupino, ker je dobil svoj podoktorski projekt.

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

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	1039199	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Kinetika transformacije in izločanja v nerjavnem dupleks jeklu 30Cr10Ni
		<i>ANG</i>	Transformation and precipitation kinetics in 30Cr10Ni duplex stainless steel
	Opis	<i>SLO</i>	Da bi izboljšali mikrostrukturo med litjem, vročim preoblikovanjem in med toplotno obdelavo 30Cr10Ni dupleks nerjavnega jekla potrebujemo natančne podatke o izločanju in faznih transformacijah, ki potekajo pri visokih temperaturah. V tem prispevku smo študirali kinetiko izločanja in faznih premen za različne čase žarjenja v temperaturnem območju med 873 – 1573 K.
		<i>ANG</i>	In this contribution the precipitation and transformation processes at various aging times in the temperature range 873 – 1573 K were studied. The precipitation of the sigma phase was observed after just 3 min of aging, and after 30 min of aging at around 1053 K its fraction exceeded 40 %. An intensive austenite-to-ferrite transformation was observed above 1423 K. Optical microscopy, EDS, EBSD, XRD as well as microindentation hardness, hardness, impact toughness and tensile tests were carried out in order to evaluate the obtained microstructures of aged samples.
	Objavljeno v	Minerals, Metals & Materials Society; ASM International; Metallurgical and materials transactions; 2010; Vol. 41A, September; str. 2197-2207; Impact Factor: 1.712; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.709; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Fazarinc Matevž,	

		Terčelj Milan, Bombač David, Kugler Goran	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	1057375	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pogoji za učinkovito razbitje lite mikrostrukture nerjavnega dupleks jekla 30Cr10Ni
		ANG	Conditions for the efficient crushing of the as-cast microstructure of 30Cr10Ni duplex stainless steel
	Opis	SLO	Da bi bolje razumeli pogoje pri katerih pride do pojava razpok med vročim preoblikovanjem dupleks nerjavnih jekel smo študirali obnašanje jekla 30Cr10Ni z lito mikrostrukuro med vročo plastično deformacijo. Razvili smo posebno eksperimentalno proceduro, ki je omogočila iskanje optimalne procesne poti, s katero je bilo možno učinkovito razbiti karbidno mrežo. Ugotovili smo, da se lahko izognemo pojavu razpok, če se pri čim višjih temperaturah znebimo lite mikrostrukture. Našli smo tudi način kako to čim učinkoviteje dosežemo.
		ANG	The hot deformation behavior of as cast 30Cr10Ni duplex stainless steel was investigated with the aim to better understand the conditions that lead to the occurrence of cracking. The results indicate that in the temperature range 1423-1523 K the ascast microstructure exhibits increased workability, while below this temperature the microstructure is prone to cracking. As such, the microstructure should be crushed in the high temperature range in order to avoid the occurrence of cracking.
	Objavljeno v	Minerals, Metals & Materials Society;ASM International; Metallurgical and materials transactions; 2010; Vol. 41B, no. 6; str. 1328-1337; Impact Factor: 0.963;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.709; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Terčelj Milan, Fazarinc Matevž, Bombač David, Kugler Goran	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	1168223	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba nevronske mreže za določevanje verjetnostnih krivulj neuspeha za mehanske lastnosti pri vročem iztiskanju aluminijevih zlitin
		ANG	Determination of scrap/supply probability curves for the mechanical properties of aluminium alloys in hot extrusion using a neural network-like approach
	Opis	SLO	V tem delu je bila za modeliranje vpliva kemične sestave in tehnoloških parametrov na mehanske lastnosti vroče iztiskovane Al zlitine 6082 uporabljena umetna inteligenca. CAE enačbe so bile ustrezno modificirane in uporabljena je bila LHS metoda, ki je omogočila izpeljavo posebnih verjetnostnih krivulj, definiranih kot pogojna verjetnost za preseganje predpisanega izmeta ali predpisanih mehanskih lastnosti pri danem naboru vplivnih parametrov vročega iztiskanja Al zlitin.
		ANG	In this paper a neural networklike approach that accounts for the different uncertainties in the hot extrusion of AA6082 alloys is given. The results, presented in the form of scrap/supply curves, suggest the use of a probabilistic approach in the process of hot extrusion. The proposed approach considers both the epistemic and aleatory uncertainties and takes into account all the available influential input variables. It was found that mechanical properties and the yield can be additionally optimized by reducing the epistemic uncertainties, which consequently requires more accurate measurements and more reliable control of the production processes.
	Objavljeno v	Pergamon; Expert systems with applications; 2012; Vol. 39, No. 5; str. 5634-5640; Impact Factor: 2.203;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; A': 1; WoS: EP, IQ, PE; Avtorji / Authors:	

		Peruš Iztok, Terčelj Milan, Kugler Goran	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	5006433	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Učinkovita numerična združena vključitev tlaka, časa in temperature za materialni elastoviskoplastični model z uporabo simbolnega pristopa
		ANG	Efficient numerical implementation of pressure, time and temperature superposition for elasto-visco-plastic material model by using a symbolic approach
	Opis	SLO	Članek obravnava implementacijo elasto viskoplastičnega konstitutivnega modela v metode končnih elementov z uporabo simbolnega pristopa. Numerični primeri, ki so bili preverjeni na polyethylene terephthalate (PET) polimerih potrjujejo, da se simbolni sistem lahko uporabi tudi pri razvoju kompleksnih konstitutivnih modelov, ki so zmožni simulacije odziva materiala, ki se dobro ujema z eksperimentalnimi meritvami v širokem območju hitrosti deformacije, temperature in obremenitvenih pogojev.
		ANG	This article is concerned with the finite element implementation of an elastoviscoplastic constitutive model using a symbolic approach. The numerical examples derived for polyethylene terephthalate (PET) polymers demonstrate that symbolic systems can be applied to develop complex constitutive models capable of simulating material responses that are in good agreement with experimental measurements over a wide range of strain rates, temperatures, and loading conditions.
	Objavljeno v	Wiley; International journal for numerical methods in engineering; 2010; Letn. 84, št. 4; str. 470-484; Impact Factor: 1.925; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.826; A': 1; WoS: IF, PO; Avtorji / Authors: Rodič Tomaž, Šuštar Tomaž, Šuštarč Primož, Korelc Jože	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	1133407	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv Ce na strjevanje in mehanske lastnosti zlitine A360
		ANG	Effect of Ce on solidification and mechanical properties of A360 alloy
	Opis	SLO	Preiskovan je bil vpliv dodatka Ce na zlitino AA A360 (Al10% Si0.5% Mg) z uporabo ravnotežnega termodinamskega izračuna, termične analize, diferenčne vrstične kalorimetrije (DSC) in vrstične elektronske mikroskopije (SEM). Namen je bil preiskati spremembe, ki se pojavijo med strjevanjem in izločanjem pri različnih dodatkih Ce, kakor tudi njegov vpliv na mehanske lastnosti. Rezultati kažejo, da se temperature strjevanja evtektika ( $\alpha$ Al + Mg <sub>2</sub> Si) zniža. Prav tako se zniža tudi temperature konca strjevanja. Entalpija izločanja določena z DSC metodo se zmanjša z dodatkom Ce, medtem ko izločanja poteče hitreje in intenzivneje, kar nakazuje na povečanje reakcijske kinetike. Mehanske lastnosti, kot so trdota in natezna trdnost, se povečajo z večanjem deleža Ce v zlitini. Faza, ki prispeva k povečanju trdote preiskovanih zlitin, je sestavljena iz Al, Ce, Mg in Si.
		ANG	The effect of Ce addition on the AA A360 (Al-10%Si-0.5%Mg) alloy was investigated using equilibrium thermodynamic calculation, thermal analysis, differential scanning calorimetry (DSC) and scanning electron microscopy (SEM). The purpose is to study the variations that occur during solidification and precipitation with different Ce additions, as well as their effect on the mechanical properties. The results show that the Ce addition decreases the eutectic ( $\alpha$ Al + Mg <sub>2</sub> Si) temperature. The solidus temperature also decreases with the increasing Ce addition. The precipitation enthalpy determined using DSC decreases with the Ce addition, while precipitation takes place more rapidly and intensively, indicating increased reaction kinetics. The mechanical properties like hardness and tensile strength also

		increase with the Ce addition. The phase that contributed to the hardness of the investigated alloy was composed of Al, Ce, Mg and Si.
Objavljeno v		Elsevier Sequoia; Journal of alloys and compounds; 2011; Vol. 509, no. 27; str. 7349-7355; Impact Factor: 2.289; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.755; A': 1; WoS: EI, PM, PZ; Avtorji / Authors: Vončina Maja, Kores Stanislav, Mrvar Primož, Medved Jože
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

### 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine<sup>7</sup>

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	15730454 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Postopek izdelave kompozitnih plošč iz magnezijevih zlitin in keramične pene in kompozitne plošče</p> <p><i>ANG</i> Manufacturing process of composite plates from magnesium alloys and ceramic foam and composite plates</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Postopek temelji na infiltriranju kovinske taline (ki po strjevanju predstavlja osnovo) v pore keramične pene, ki deluje kot utrjevalna faza. Način litja, dimenzioniranje kokile, predgrevanje keramične pene oziroma kokile, temperatura litja, uporaba izolacijskega pokrova in vibriranje omogočajo popolno zapolnitev por s talino. Uporablja se gravitacijsko litje. Značilnost postopka je, da med litjem in strjevanjem celoten sistem vibrira. Uporaba tako izdelanih kompozitnih plošč je v avtomobilski, letalski in vojaški industriji, saj imajo te kompozitne plošče zelo dobre mehanske lastnosti, veliko prebojno odpornost glede na specifično težo in zelo otežen razrez.</p> <p><i>ANG</i> Process bases on the infiltration of metal melt (matrix) in the pores of ceramic foam (hardening phase). Method of casting, sizing of mould, preheating of ceramic foam or mould, pouring temperature, use of insulating cover and vibrating enable complete filling the pores with metal. For manufacturing of composite plates the gravity casting and vibrating of total system during casting and solidification is used. Such composite plates are used in automotive, aircraft and military industry because composite plates have good mechanical properties, high breakthrough strength at low density and resistance to cutting.</p>
	Šifra	F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2011; [11] str.; Avtorji / Authors: Mrvar Primož, Medved Jože, Zupanič Franc, Bončina Tonica, Steinacher Matej
	Tipologija	2.24 Patent
2.	COBISS ID	1151327 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Umetna inteligenca in laboratorijska simulacija procesa preoblikovanja</p> <p><i>ANG</i> Artificial intelligence and laboratory simulations of hot working process</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> S pomočjo laboratorijske simulacije procesa vročega preoblikovanja in uporabe umetne inteligence je bilo razvito orodje, s katerim je podjetje Metal Ravne d.o.o. optimiralo tehnološki proces preoblikovanja jekel. Aplikacija poznanih IT orodij (nevronske mreže) v proces predelave jekla spada med inovacije proizvodnih postopkov, ki jo odlikuje tudi interdisciplinarno sodelovanje z velikim gospodarskim rezultatom.</p> <p><i>ANG</i> Employing laboratory simulations of hot working proces and using artificial intelligence approach new metododlgy has been developet by which the steel company Metal Ravne successfully optimized technological process of hot working of steels. Application known IT tools (neural networks) into process of hot working of steels belongy to the group of inovations of</p>



		production processes and is characterized as interdisciplinary with great economic result.
	Šifra	E.01 Domače nagrade
	Objavljeno v	Gospodarska zbornica Slovenije; 2011; Avtorji / Authors: Kugler Goran
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela
3.	COBISS ID	7898708 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Tehnologije malih satelitov: s perspektive novincev primer Vesolje-si iz Slovenije
		<i>ANG</i> Small satellites technologies from newcomers perspective - Slovenian Space-Si case
	Opis	<i>SLO</i> Prispevek predstavi center odličnosti Vesolje-si in njegove raziskovalno-razvojne cilje. Za razvoj novih tehnologij in napredne infrastrukture bo postavljen multidisciplinarni laboratorij, za raziskave materialov, strukture, mikropogonskih sistemov, elektronskih komponent in vizualnega nadzora. Eksperimentalne tehnike, bodo v kombinaciji z virtualnimi modeli za osnovne analize in izračunom občutljivosti s pomočjo inverznih analiz omogočale inovativen razvoj vesoljskih tehnologij.
		<i>ANG</i> In Slovenia a new Centre of Excellence for Space Sciences and technologies SPACE-SI became operational in 2010. The RTD goals of the SPACE-SI consortium consisting of academic institutions, hightech SMEs and large industrial and insurance companies are focused on nano and micro satellite technologies that are enabling high precision interactive remote sensing and precise maneuvering of small spacecraft in formation flying missions.
	Šifra	F.05 Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja
	Objavljeno v	Utah State University]; Connecting the dots; 2010; Str. 1-10; Avtorji / Authors: Rodič Tomaž, Oštir Krištof, Matko Drago, Batagelj Boštjan, Peljhan Marko, Malič Barbara, Zwitter Tomaž, Šuštar Tomaž
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
4.	COBISS ID	1128031 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Testiranje temperaturnega utrujanja masivnih materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi
		<i>ANG</i> Thermal fatigue testing of bulk functionally graded materials
	Opis	<i>SLO</i> Odpornost na temperaturno utrujanje je ena izmed najpomembnejših lastnosti materialov, ki so podvrženi ponavljajočim se hitrim temperaturnim spremembam, npr. Pri tlačnem litju ali vročem kovanju. Namen študije je bil raziskati primernost materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi (MFPL) za njihovo uporabo pri orodjih, ki so med svojim delovanjem podvržena temperaturnemu utrujanju. V ta namen je bil razvit specialni test, ki je bil vgrajen na simulator termomehaskih stanj Gleeble 1500D. Gradinet lastnosti v vzorcih je bil dosežen z variacijo vsebnosti Si po globini. Rezultati so pokazali superiorno odpornost na temperaturno utrujanje razvitih MFPL v primerjavi z vzorci, ki so bili narejeni iz konvencionalnih materialov. Rezultati te študije so in še bodo prispevali k podaljšanju življenske dobe orodij za tlačno litje.
		<i>ANG</i> Thermal fatigue resistance is one of the most important characteristics of the materials subjected to rapid temperature changes, i.e., highpressure die casting, hot forging. Therefore the aim of the research was to determine the suitability of using the functionally graded materials (FGM) in applications subjected to thermal fatigue. A specially designed thermal fatigue test was utilized, developed to be used on servohydraulic testing machine, Gleeble 1500D. The FGM samples were prepared using a laser cladding method that ensures sound welds. The gradation in the properties was made by changing silicon content with varying welding parameters,

		and thus achieving gradation of the secondary carbide content. The test results show that the silicon distribution has large effect on thermal fatigue resistance; the resistance is decreasing with the increasing the content of silicon in the filler material. This was studied through the sequence of crack formation. The results of this study will contribute to prolonged use of die casting tools.
Šifra	F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja
Objavljeno v	Elsevier; Proceedings of 11th International Conference On The Mechanical Behavior Of Materials, Villa Erba, Como, Italy 2011, June 5-9, 2011; Procedia engineering; 2011; str. 692-697; Avtorji / Authors: Fazarinc Matevž, Muhič Tadej, Šalej Alenka, Bombač David, Fajfar Peter, Terčelj Milan, Kugler Goran	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
5. COBISS ID	1092959	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Napovedovanje statično rekristalizirane mikrostrukture med vročim izstiskanjem aluminijevih zlitin
	ANG	Prediction of statically recrystallized microstructure during extrusion of aluminium alloys
Opis	SLO	Za napovedovanje razvoja mikrostrukture aluminijevih zlitin po deformaciji je bil razvit model, ki temelji na teoriji celičnih avtomatov (CA) in je bil sklopljen z metodo končnih elementov (MKE). Kombiniranega CAMKE modela omogoča numerično napovedovanje rasti zrn v plasti pod površino na stiku orodje vroč aluminij izstiskanih palic in ki poteka po deformaciji pred gašenjem v industrijski procesni verigi vročega izstiskanja. Rezultati te raziskave demonstrirajo, da lahko numerične modele uspešno uporabimo za simulacije kompleksnih termomehanskih in metalurških procesov med vročim izstiskanjem.
	ANG	To predict evolution of microstructure of aluminum alloys after deformation a numerical model based on the method of cellular automata (CA) has been developed and combined with the finite element model (FEM). The main objective of the combined FEMCA model is to enable numerical predictions of growth of grains in the subsurface layers of extruded bars that occurs after deformation before the quenching in the industrial hot extrusion production chain.
Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
Objavljeno v	Wydawnictwo Naukowe "Akapit"; Informatyka w Technologii Materiałów; 2010; Vol. 10, no. 4; str. 294-306; Avtorji / Authors: Cvahte Peter, Kugler Goran, Rodič Tomaž	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

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

--

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

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

SLO

Predlagani raziskovalni program je bil usmerjen v razvoj nujnih tehnologij za izdelavo MFPL-jev, kot tudi procesov, do katerih prihaja med procesom gradiacije. Rezultati programa so tako pripomogli h boljšemu razumevanju tako mehanizmov, ki povzročajo gradiacijo, kot tudi procesov, ki na različnih časovnih in prostorskih skalah potekajo v materialih med njihovim termomehanskim procesiranjem. Nadalje so pripomogli tudi h boljšemu razumevanju vplivov

različnih tehnoloških parametrov na lokalni razvoj mikrostrukture, kar pa je zelo pomembno tako s teoretičnega kot tudi praktičnega vidika. Modeliranje razvoja mikrostrukture med razvojem MFPL je omogočilo združitev več tehnoloških parametrov, ki jih je mogoče optimirati za le najvišji izplen končnega ali vmesnih izdelkov. S pomočjo razvitih modelov, računalniških orodij, eksperimentalnih pristopov in naprav ter tehnologije za proizvodnjo materilov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi, smo močno premaknili omejitve pri izdelavi takšnih materialov.

ANG

The proposed research program has been directed toward the development of necessary technologies for production of FGMs as well toward the study of the processes that take place in the material which is subjected to the properties gradation processing. The results obtained within the framework of this programme have contributed to a better and deeper understanding of mechanisms which control gradation of properties in FGMs and to better understanding of the influence of various processing parameters on the local development of microstructure, which is very important from a theoretical as well as from a practical point of view. Modeling of the evolution of microstructure during processing of FGMs enabled both the deeper understanding of synergetic influence of various processing parameters and optimization of the properties of the semi- or final product. Furthermore, developed models, computational tools, experimental approaches and developed equipment together with technologies for production of FGMs, enabled to largely remove some essential difficulties occurring in production of such materials.

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

SLO

MFPLji, ki temeljijo na naprednih znanjih pridobivajo na pomembnosti, v naslednjem desetletju pa se pričakuje, da bodo močno vplivali na razvoj novih tehnologij na različnih področjih. V Sloveniji je veliko kovinsko predelovalne in livarske industrije, ki dobavlja dele tako za domač in tuj trg. Z razvojem koncepta MFPLjev je, ali še bo, mnogo od njih postavljenih pred nove tehnološke zahteve in probleme. Ker se morajo prilagajati novim zahtevam je izrednega pomena, da se fundamentalno razumevanje procesa združeno z tehnološkim znanjem ponudi industriji na začetku, ko je le to znanje najbolj potrebno. Po drugi strani pa je uvajanje novih tehnologij, predlaganih in/ali razvitih v okviru tega programa, izboljšalo kvaliteto študija, tako za dodiplomske kot tudi podiplomske študente na Oddelka za materiale in metalurgijo, Naravoslovnotehniške fakultete. Rezultati tega programa imajo pozitiven vpliv na kompetitivnost slovenskih izdelovalcev polimernih materialov. Na tem mestu je potrebno poudariti, da je več kot 50 mas. % materialov, ki so izdelani in predelani v Sloveniji polimerov, ta odstotek pa iz leta v leto raste. V Sloveniji je trenutno več kot 2000 firm, ki se ukvarjajo z izdelavo in predelavo polimerov, 80% proizvodnje pa izvozijo na zahtevne evropske trge. Zaradi močnih pritiskov držav, kjer imajo nizke plače, naša podjetja potrebujejo sveže znanje in imajo zato velike koristi od rezultatov tega raziskovalnega programa.

ANG

Advanced knowledge based FGMs are gaining on importance and it is expected that in next decades they will play very important role in the development of modern technologies in various sectors. In Slovenia there are many metals forming and foundry companies that are suppliers of parts and tools to various domestic and foreign industries. With development of concept of FGMs, many of them are or will be exposed to new technological problems. Since they have to deal with their specific technologies, it is very important that fundamental understanding of the processes together with technological expertise are available to them when needed. On the other hand, the implementation of the results obtained within the framework of this research program improved the education quality for students at the undergraduate and post-graduate level. The results of this programme are very important for increasing of competitive positions of our polymer producers. It should be noted that more than 50% of all materials produced and transformed in Slovenia are polymers at the moment and the procentage is growing constantly. In Slovenia there are more than 2000 companies (mostly SMEs) producing parts made of polymer materials. They export more than 80% of its production on most demanding EU markets. Due to high competition from low-wages countries this companies need new knowledge and are directly benefiting from the results of this research programme.

## 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	1
bolonjski program - II. stopnja	0
univerzitetni (stari) program	34

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
29476	Matevž Fazarinc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28493	David Bombač	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27656	Boštjan Bradaškja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29477	Sebastjan Kastelic	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27682	Jurij Gontarev	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Zdenka ZOVKO BRODAR,	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
20140	Peter Cvahte	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
26490	Ažbe Križaj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27601	Maja Vončina	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
11884	Miran Pirnat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28346	Stanislav Kores	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29478	Grega Klančnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25497	Martin Lamut	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Boštjan Metelko	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Barbara Lamut	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
30753	Miran Kadiš	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
13518	Vid Krušič	<input type="radio"/>	<input checked="" 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	
29476	Matevž Fazarinc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
28493	David Bombač	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
27656	Boštjan Bradaškja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
29477	Sebastjan Kastelic	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

27682	Jurij Gontarev	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
26490	Ažbe Križaj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
28346	Stanislav Kores	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
29478	Grega Klančnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25497	Martin Lamut	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	F - Drugo	

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	
655	Tatjana Večko Pirtovšek	A -	12	
0	Alessandra Padoan	C - študent - doktorand	6	
0	Emanuele Crucitti	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

EUREKA - Mini-MASS Minimized weight, Magnesium-intensive Aircraft Seat Structures, NTF, P. Mrvar  
 EUREKA – ESPAL Energy Savings by application of Electromagnetic Field in the production of Al-alloy billets by DC casting method, NTF, P. Mrvar  
 FP7 NanoBioTouch Nano-resolved multi-scale investigations of human tactile sensations and tissue engineered nanobiosensors, NTF, C3M, T. Rodič  
 COST Akcije MP 0602, Advanced Solder materials for high temperature application, NTF, J. Medved  
 TEMPUS IV DePSME-VENet Development of Partnerships with SMEs in BA by Virtual Engineering Networ, NTF, T. Rodič  
 TEMPUS WBC-VMnet WBC Virtual Manufacturing Network - Fostering an Integration of the Knowledge Triangle, NTF, T. Rodič  
 BI- Bolgarija Termodinamična stabilnost zlitin lahkih kovin, NTF, Jožef Medved  
 FP6 NANOBIOACT Nano-engineering biomimetic tactile sensors, C3M, T. Rodič  
 FP7 SuPLight - Sustainable and efficient Production of Light weight solutions• TEMPUS WBC Virtual Manufacturing Network – Fostering an Integration of the Knowledge, C3M, T. Rodič  
 FP7 AppliCMA Development of wear resistant coatings based on complex metallic alloys for functional applications, TECOS, J.M. Slabe  
 F P 7 ENERPlast From design to manufacturing: Instruments for reducing the energy consumption and carbon emissions of the polymer industry and its supply chains, TECOS, J.M. Slabe  
 FP7 TIPSS Tools for Innovative ProductServiceSystems for Global Tool and Die Networks,

TECOS, J.M. Slabe  
 EC; Research Fund for Coal and Steel Flexible and costeffective innovative manufacturing of complex 3Dbent tubes and profiles made of highstrength steels for automotive lightweight structures – ProTuBend, TECOS, J.M. Slabe  
 Vseživljenjsko učenje; Leonardo da Vinci, Transfer of innovation Improvement of Vocational Education in field of Injection Moulding EDMOULD, TECOS, J.M. Slabe  
 Tempus IV, Project Nr. : 158623; Development of Partnerships with SMEs in BA by Virtual Engineering Network DePSMEVENet, TECOS, J.M. Slabe  
 EUREKA Izboljšanje nadzorni sistem vodenja razvoja in proizvodnje – IPDS, TECOS, J.M. Slabe  
 EUREKA Razvoj inteligentnega, samo-kontrolirajočega se orodja – SMART MOULD, TECOS, J.M. Slabe  
 EUREKA Javni razpis za sofinanciranje mednarodnih raziskovalnih projektov v okviru iniciative MNT-ERA.NET II – Razvoj mikro orodja za injekcijsko brizganje plastičnih materialov z učinkovito rabo nano tehnologij MI-NANOTECH, TECOS, J.M. Slabe  
 EUREKA Javni razpis MANUNET 4 v okviru EraNet projektov, za mednarodno sodelovanje na tehnološkem področju predelovalne dejavnosti – Majhna vetrna elektrarna z napajanjem iz industrijskih plinov in zračnih tokov – EOLTECCO, TECOS, J.M. Slabe

### 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

- Uvajanje numeričnih metod za optimiranje tehnologije iztiskovanja v podjetju IMPOL s poudarkom na tolerancah, Impol, C3M, T. Rodič
- 2D Modeliranje in numerična simulacija preciznega štancanja, Hidria, C3M, T. Rodič
- Pre-operative treatment planning software, IGEA (I), C3M, T. Rodič
- Mathematical modelling of stone cutting process, Cofiplast (I), C3M, T. Rodič
- (Skin B) Skin physiological changes during long duration space flight, ESA, C3M, T. Rodič
- Difuzijsko spajanje aluminija, TALUM d.d., NTF, J. Medved
- Preiskave vzorcev s STA in TCW, RCJ d.o.o., NTF, J. Medved
- Preiskave materialov za merjenje električne prevodnosti kamene volne ,Knauf Insulations Tehnologija d.o.o.,NTF, J. Medved
- Optimiziranje tehnologije nitriranja iztiskovalnega orodja (DN 031103) : mikrostrukturalna analiza prečnega preseka nitriranih površin v peči Impol in referenčni peči in določitev novih parametrov nitriranja za peč Impol, Impol, NTF, M. Terčelj
- Izboljšanje mehanskih lastnosti in lastnosti mehanske obdelave za zlitino AA6082 (AC30) z uporabo nevronske mreže , Impol, NTF, M. Terčelj
- Meritve temperature orodja med iztiskanjem na 55 MN iztiskovalnici, Impol, NTF, M. Terčelj
- Optimiranje hlajenja orodja z dušikom na direktni 55 MN iztiskovalnici, Impol, NTF, M. Terčelj
- Optimizacija in modernizacija programske opreme 20/25 MN kovaške stiskalnice, Metal Ravne, NTF - M.Terčelj, G. Kugler
- Ekspertni sistem za obvladovanje informacij in aplikacijo metod umetne inteligence v proizvodnji jekel, Metal ravne, NTF - G. Kugler
- Laboratorijske raziskave in izdelava namenskega mikrostrukturnega modela na osnovi metode CA za potrebe projekta RIP09 – InoProAl, G. Kugler
- Razvoj litih pametnih deformacijskih elementov za podzemne objekte s kontrolirano deformacijsko krivuljo, Livar d.d. Ivančna Gorica, NTF, P. Mrvar
- Analiza mehanizma in nukleacije perlita z vibracijami in deformacijami v sivi litini s kroglastim grafitom, Livar d.d. Ivančna Gorica, NTF, P. Mrvar
- Specializirano izobraževanje inženirjev podjetja LTH Castings za področje tlačnega litja Al in Mg zlitin, LTH Castings, NTF, P. Mrvar
- Analize poškodb in napak, LTH Castings, P. Mrvar
- Selekcija cepiv in nodulatorjev za izdelavo sive litine s kroglastim grafitom, Kovis, NTF, P. Mrvar
- Optimizacija zavornih bobnov, Novoline, NTF, P. Mrvar
- Razvoj kontaktnih prevlek za visoko kapacitivne kondenzatorje, ki se uporabljajo v sistemih fotovoltajike in vetrnih elektraren, Iskra Semič, NTF, P. Mrvar
- Razvoj stelitnih plošč in litih rotorjev, Magneti, NTF, P. Mrvar
- Razvoj in analiza valjev nove generacije z vidika zmanjševanja notranjih napetosti, Valji, NTF, P. Mrvar
- Analiza tankih prevlek za avtomobilske žaromete, Hella, NTF, P. Mrvar
- Arheo livarsko metalurški projekt z Narodnim muzejem Slovenije rekonstrukcije bojnega orožja iz leta 1500, NTF, P. Mrvar
- V obdobju 2009-2012 je Tecos izvedel preko 500 industrijskih projektov, zato jih ne bomo naštevali, je pa možno na zahtevo dobiti celoten spisek

**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

Poleg sklopa z naslovom »uporaba razvitih konceptov pri klasičnih tehnologijah (x)«, ki je bil namenjen predvsem takojšnjemu prenosu novih spoznanj v industrijsko prakso in v okviru katerega smo optimirali procese litja, kovanja, valjanja, iztiskanja, nitriranja, toplotne obdelave, ter proizvodnje pri različnih industrijskih partnerjih, so tudi mnogi drugi rezultati raziskav in razvoja v okviru programa bodisi dovolj zreli za implementacijo v praksi ali pa predstavljajo velik potencial za njihovo implementacijo z minimalnimi dodatnimi vložki v raziskave. Najbolj zrele aplikacije so: *indefinitni valj z gradientnimi lastnostmi*, ki je bil sestavljen iz delovne plasti (kromova bela litina) in jedra (siva litina s kroglastim grafitom (SGI) in ki je bil preiskujen tako v laboratorijskih, kot tudi v industrijskih pogojih. Na tem valju so bile izvedene obsežne preiskave, rezultati pa so omogočili izdelavo načrta ulivanja in ohlajanja valja za doseg optimalnih gradientnih lastnosti valja po preseku in zmanjšanje napak, kar se že uspešno uporablja v proizvodnji indefinitnih valjev. *Razvoj novih lahkih zlitin z gradientnimi lastnostmi* z dodatki redkih zemelj (Ce in Nd) omogoča kontrolirano strjevanje novih faz in razvoj izločkov. Posledica je izboljšanje mehanskih in drugih lastnosti kar omogoča aplikacijo v različnih vejah industrije z zmanjšanjem teže izdelkov in prihrankom energije. *Nov test za termično utrujanje* je tehnološko dovršen in uporaben za testiranje gradientnih materialov. *Razvita tehnologija za izdelavo gradientnega materiala za izboljšanje orodij za tlačno litje* je pokazala velik potencial, trg za njeno implementacijo pa zelo velik. Na področju polimerov smo najpomembnejše rezultate pri testiranjih dosegli pri kombinaciji *biorazgradljivih polimerov prevlečenih s tankoslojnimi prevlekami*, ki zagotavljajo daljšo obstojnost osnove izdelane iz biopolimera. Od preostalih tehnologij izpostavljam več komponentno brizganje termoplast/termoplast, termoplast/elastomer, termoplast/kovina in termoplast/silikon. Pred implementacijo biopolimerov s tankoslojnimi prevlekami bi bila potrebna še nadaljnja testiranja, s pomočjo katerih bi zagotovili obstojnost/razgradljivost prilagojeno življenjski dobi izdelka. Spekter uporabe izdelkov iz biopolimerov je ob zagotovitvi primerne obstojnosti in mehanskih lastnosti je zelo širok, še posebej v avtomobilski industriji. Največja tržna niša za implementacijo dosežkov na področju več komponentnega brizganja so visokotehnološki mikro izdelki za področje medicine in mikro komponente v elektro in elektronski industriji. Vsi ostali rezultati na področju polimerov so razviti do stopnje, da jih je mogoče neposredno implementirati v praksi. *Nov koncept računskega okolja za analizo mehanskega odziva gradientnih materialov* pa omogoča učinkovit izračun na heterogenih računalniških gručah, s tem pa razvoj novih specializiranih programskih rešitev za analizo in načrtovanje teh materialov na več področjih njihove uporabe.

**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 checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	cca. 3.500.000,00 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>19</sup>	Spin-off visoko tehnološko podjetje bi se ukvarjalo z izboljšanjem obrabnih karakteristik in odpornosti na termomehansko utrujanje različnih orodij in strojnih elementov s pomočjo, v okviru programske skupine razvitih tehnologij za izdelavo materialov s funkcionalno porazdeljenimi lastnostmi. Potrebna infrastruktura obsega proizvodni oddelek in razvojno-raziskovalni oddelek v skupni velikosti cca. 200 m <sup>2</sup> . Oprema: CNC sistem za lasersko navarjanje, MIG/MAG naprava za navarjanje ter oprema za karakterizacijo navarjenih slojev (NDT metode, metalografija) in oprema za testiranje materialov s funkcionalno porazdeljenimi

lastnostmi za potrebe modeliranja, optimizacije, dizajna in numeričnih simulacij. Poleg osnovne opreme bi potrebovali še granik za prenašanje težkih bremen in računalniško opremo.

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

### 18.1. Izjemni znanstveni dosežek

### 18.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Integralni pristop pri izdelavi kovinskih materialov:

Proizvodnja kovinskih materialov spada med zahtevne in drage postopke, saj vključuje več vmesnih stopenj izdelave, ki porabljajo veliko energije. Zato je optimizacija proizvodnega procesa zaželeno. To je mogoče doseči z boljšim in poglobljenim razumevanjem posameznih vplivnih parametrov, ki določajo tehnološko pot materiala v proizvodnem procesu. Zaradi velikega števila vplivnih parametrov predstavlja to velik izziv, ki ga je mogoče doseči le z uporabo modernih informacijskih in komunikacijskih tehnologij. Razviti integralni pristop omogoča reševanje omenjene problematike, njegova učinkovitost in uporabnost pa je razvidna iz mnogih znanstvenih objav ter mnogih uspešnih prenosov teh rezultatov v industrijsko prakso. Uspešnost prenosa znanj pa se kaže tudi v patentnih prijavih in raznih nagradah, kot je npr. Zlato priznanje za inovacijo Gospodarske zbornice Slovenije za leto 2011.

## 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 Ljubljani,  
Naravoslovnotehniška fakulteta

Goran Kugler

### ŽIG

Kraj in datum:

**Oznaka prijave: ARRS-RPROG-ZP-2013/28**

<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 prilogo/-i k temu poročilu.

Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitve 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

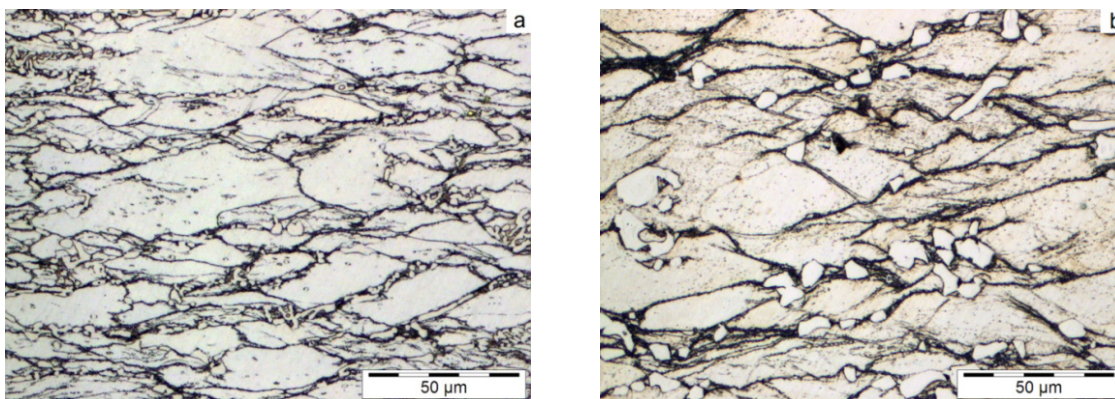
57-84-6E-43-7D-CD-BC-5C-66-23-CA-A5-39-CE-D3-A5-11-73-45-31

# TEHNIKA

## Področje: 2.04.02 - Kovinski materiali

### Dosežek: Integralni pristop pri izdelavi kovinskih materialov

Viri: (1) Večko-Pirtovšek T., Kugler G., Godec M., Terčelj M., Metall. mater. trans. A, 43 (2012), 3797-3808; (2) PERUŠ I., TERČELJ M., KUGLER G. Expert syst. Appl., 39 (2012) 5634-5640; (3) BOMBAČ D., FAZARINC M., SAHA PODDER A., KUGLER G. J. mater. eng. perform., 22 (2013) 742-747; (4) BRADAŠKJA B., FAZARINC M., KUGLER G. Steel res. Int., 83 (2012) 1221-1228; (5) VEČKO PIRTOVŠEK T, KUGLER G., GODEC M., TERČELJ M. Mater. Char. 62 (2011) 189-197.



Vpliv temperature ogrevanja na vročo preoblikovalnost pri 850 °C za jeklo AISI D2 v litem stanju (ingot), hitrost deformacije  $1 \text{ s}^{-1}$ , deformacija 0.9: (a) Mikrostruktura deformiranega vzorca ogrevanega na optimalni temperaturi in (b) ogrevanega na previsoki temperaturi (nastanek mikrorazpok in izločeni karbidi na mejah zrn in bolj grobi euteklični karbidi).

Proizvodnja kovinskih materialov spada med zahtevne in drage postopke, saj vključuje več vmesnih stopenj izdelave, ki porabljajo veliko energije. Zato je zaželena optimizacija proizvodnega procesa glede na porabo energije, lastnosti materialov in na tehnološki izplen. To je mogoče doseči z boljšim in poglobljenim razumevanjem posameznih vplivnih parametrov, ki določajo tehnološko pot materiala v proizvodnem procesu. Zaradi velike konkurence na trgu je optimizacija pogojev izdelave glede na ceno in zahtevane lastnosti neizogibna. Pri tem je dobro znano, da obstajajo na tem področju velike rezerve za izboljšave in z ustreznim pristopom lahko dosežemo znatne učinke. Zaradi velikega števila vplivnih parametrov predstavlja to velik izziv, ki ga je mogoče doseči le z uporabo modernih informacijskih in komunikacijskih tehnologij. Razviti integralni pristop omogoča reševanje omenjene problematike, njegova učinkovitost in uporabnost pa je razvidna iz mnogih znanstvenih objav ter mnogih uspešnih prenosov teh rezultatov v industrijsko prakso, predvsem v naša jeklarska podjetja, v naše livarne in v podjetja za izdelavo aluminija. Uspešnost prenosa znanj pa se kaže tudi v patentnih prijavih in raznih nagradah, npr. Zlato priznanje za inovacijo Gospodarske zbornice Slovenije za leto 2011.