

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/104



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0270
Naslov programa	Proizvodni sistemi, laserske tehnologije in spajanje materialov Production systems, laser technologies and materials welding - PLAS
Vodja programa	3551 Janez Grum
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	51411
Cenovni razred	C
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 209 INSTITUT ZA VARILSTVO d.o.o., Ljubljana
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.10 Proizvodne tehnologije in sistemi
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Program povezuje štiri raziskovalne sklope.
Delo na področju **Proizvodni sistemi** je bilo usmerjeno v: (1) razvoj modela integriranega načrtovanja in vodenja osvajanja izdelkov na

osnovi projektnega managementa in sočasnega inženiringa; (2) raziskave kompleksnosti v proizvodnji in novih konceptov porazdeljenih proizvodnih sistemov, ki temeljijo na principih avtonomije, samo-organizacije in samo-učenja; (3) raziskave principov produktno storitvenih sistemov, sistemov oddaljenega nadzora in krmiljenja in njihove implementacije v industriji; (4) razvoju tehnik 3D merjenja teles in razvoju metod za inženirsko podporo v medicini.

Raziskave na področju **Optodinamika in laserski sistemi** so usmerjene v razvoj novih laserskih sistemov ter njihovih aplikacij v industriji in medicini. Potekajo na petih povezanih temah:

Optodinamika, Laserski merilni sistemi, Laserski viri, Optomehatronski sistemi, Laserski mikroobdelovalni procesi. Posebej velja omeniti rezultat eksperimenta, kjer je bil prvič v svetu izmerjen elastični val, ki ga povzroči odboj laserskega bliska na ultravisokoodbojnim zrcalu. Razvitih je bilo veliko število laserskih obdelovalnih in merilnih sistemov za uporabo v industriji in medicini. Razviti so iterbijevi vlakenski laserji s preklpom ojačenja z rekordno kratko dolžino izhodnega bliska.

Na področju **Laserski obdelovalni procesi, oplemenitenje površin in neporušno testiranje** so raziskave potekale na: (1) laserskem legiranju in oblaganju Al zlitine s keramičnimi sestavinami; (2) udarnem utrjevanju z lasersko svetlobo visoke gostote moči in nano pulznimi učinki; (3) udarnem utrjevanju Al zlitin z mikrokovanjem; (4) plamenskem nabrizgavanju samozlivne NiCrBSi zlitine na površino ogljikovega jekla in lasersko navarjanje maraging jekla na substrat iz konstrukcijskega jekla. (5) Na področju neporušnih preiskav (5a) je razvit monitoring procesa laserskega rezanja in procesa brizganja polimernih materialov na osnovi akustične emisije; (5b) izvedena uporaba ultrazvoka za testiranje napak in delaminacije ojačanih polimernih materialov; (5c) mikromagnetno testiranje feromagnetnih materialov na osnovi Barkhausnovega šuma.

Raziskave na področju **Spajanja materialov** so potekale na: (1) laserskem varjenju gadolinija (za magnetno hlajenje) ter laserskem reparaturnem varjenju orodij. Razvita je tehnologija laserskega varjenja Al zlitin hladilnega elementa za hlajenje elektronike. (2) Varjenje in/ali obdelava materiala z gnetenjem: linijsko in točkovno varjenje Al zlitin (P30, AC30) ter mikro varjenje Cu ter Cu z Al za avtomobilsko industrijo. (3) Razvit je aktivni premaz za povečanje globine uvara pri TIG varjenju.

Institut za varilstvo je deloval na področjih: (1) analize pokljivosti pri specialnih avstenitnih materialih; (2) analize nanosov različnih materialov na osnovi grafita (npr. grefena) na različne za vesoljsko tehniko primerne materiale s pomočjo visokoenergijskih obločnih postopkov; (3) raziskavah spajanja visoko trdnostnih in prevodnih nanokompozitnih materialov.

ANG

The programme integrates four interrelated fields.

Manufacturing Systems: research is focused on: (1) development of a model of integrated planning and control of product and process development, based on project management and concurrent engineering; (2) research of complexity phenomenon and new concepts of structuring manufacturing systems based on principles of autonomy, self-organisation, and self-learning; (3) research on product-service systems, remote on-line monitoring and control; (4)

development of 3D measuring techniques and engineering methods to be implemented in medicine.

Optodynamics and laser systems: activities are aimed at the development of new laser systems and their applications in industry and medicine. They are conducted in five related topics:

Optodynamics, Laser measuring systems, Laser sources, Optomechatronic systems, Laser micromachining processes.

Outstanding is the result of the optodynamic measurement of the momentum of light on an elastic body. Several laser machining and measuring systems were developed. A single stage Yb-doped fiber laser based on gain switching with the shortest pulse duration or with the highest peak power is developed.

Laser machining processes, surface finishing and non-destructive testing: research is focused on: (1) laser alloying and cladding of Al alloy with ceramic components; (2) laser shock process of Al alloys with the interaction of laser light; (3) shot peening of aluminium alloys with glass and steel balls to study the surface resistance to fatigue and corrosion; (4) flame spraying of NiCrBSi alloy on the surface of carbon steel and laser cladding of maraging steel to the ordinary structural steel. (5) In the field of non-destructive testing are developed (5a) a monitoring system based on acoustic emission, for laser cutting process and for injection molding; (5b) the use of ultrasound testing for determination defects and delamination in reinforced plastic materials; (5c) the micro-magnetic testing of ferromagnetic materials based on Barkhausen noise.

Joining of materials. (1) laser welding of gadolinium is developed and patented; research on laser repair welding of tools with various tool steels, welding wire, and powders as fillers was performed. A laser pulse shape was investigated to improve weldability. A laser welding technology was developed for cooling units for battery packs. (2) Friction stir welding (FSW) and processing (FSP) was performed on linear and spot welding for the automotive industry. FSP significantly increased superplastic properties of alloys; (3) an active flux for fusion welding for increased penetration depth was developed.

Institut za varilstvo has been working on the topics: (1) analysis of cracking in special austenitic based materials and their applications in production; (2) analyzes were carried out on overlays based on graphite (e.g. graphene) on various base materials with high-energy-arc processes. (3) Initiated was research on joining high strength, highly conductive nanocomposite materials.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

Raziskave so potekale v okviru štirih, za razvoj sodobne proizvodnje ključnih programskih sklopov.

Na področju (I) **Proizvodnih sistemov** je delo potekalo na: (1) integraciji projektne vodjenja z elementi sočasnega osvajanja izdelka in razvoju generičnega modela

načrtovanja in vodenja procesno organiziranega osvajanja izdelkov in procesov naročil v malih in srednje velikih podjetjih. Generični model temelji na metodologiji, znanjih in izkušnjah projektnega managementa in sočasnega inženiringa, ter je primeren za osvajanje serijskega, promocijskega ali unikatnega izdelka. Implementacija modela je mogoča s standardnimi informacijskimi in komunikacijskimi orodji. Pogoj za sočasno osvajanje izdelkov je timsko delo, zato je bil razvit postopek oblikovanja jedrnega in projektnih timov zank sočasnega inženiringa, ki temelji na matriki odgovornosti in izračunu stopnje sodelovanja in odgovornosti udeležencev projekta; (2) raziskavah *fenomena kompleksnosti* v proizvodnji in novih konceptov strukturiranja in krmiljenja proizvodnih delovnih sistemov ter njihovega mreženja. Razvita so bile metode ocenjevanja operativne kompleksnosti, za iskanje avtonomnih delovnih struktur v kompleksnih mrežah ter ugotavljanje anomalij v materialnih tokovih v proizvodnji; (3) razvoju sistemov za *on-line nadzor procesa* in stanja naprave na osnovi senzorskih mrež, kar je bilo tudi implementirano v industriji; (4) raziskavah *konceptov samoučenja* v avtonomnih delovnih sistemov na osnovi podatkov ter razvoju sistemov za upravljanje znanja v proizvodnji in obnovi proizvodov; (5) raziskavah *produktno-storitvenih sistemov*, razvoju storitveno orientirane arhitekture, razvoju diagnostike stanja naprav na osnovi on-line spremljanja obratovanja ter razvoju storitev za podporo operacijam proizvodnih delovnih sistemov. Sistem je bil pilotno implementiran na HE Blanca; (6) razvoju tehnik *3D merjenja teles* in razvoju metode za inženirsko podporo pri rekonstrukcijski kirurgiji dojk. Metoda je uvedena v UKC Ljubljana; (7) raziskavah *krmiljenja na področju uporovnega točkovnega varjenja* in razvoju krmilnega sistema, ki na osnovi različnih merjenih veličin zagotavlja kvaliteto zvarnega spoja; za merjenja pomika je bil uporabljen strojni vid.

Raziskave na področju (II) **Optodinamika in laserski sistemi** so bile usmerjene v razvoj novih laserskih sistemov ter njihovih aplikacij v industriji in medicini. Potekajo na petih, medsebojno tesno povezanih temah: (1) na tematiki Optodinamika je razvita metoda merjenja hitrosti lasersko induciranih udarnih valov z dvobliskovno senčno fotografijo; razvite so metode za merjenja hitrosti lasersko inducirane plazme, udarnih valov in kavitacijskih mehurčkov s hitro senčno fotografijo; razvit je eksperimentalni sistem za sočasno opazovanje porazdelitve in dinamike lasersko induciranih mehurčkov v prostoru. Izvedena je bila meritev elastičnega vala, ki ga povzroči odboj laserskega bliska na ultravisokoodbojnem zrcalu z odbojnostjo 99,999%; (2) na tematiki Laserski merilni sistemi so bili razviti laserski triangulacijski sistemi za merjenje oblike delov človeškega telesa v medicini (za potrebe ortopedije, nevrologije, pulmologije in dermatologije) in dodatno za merjenje stopala v gibanju. Sistem za merjenje stopal temelji na laserski večlinijski triangulaciji. Sistem je v svetovnem merilu med tremi, ki omogočajo 3D merjenje stopala med hojo. Razvit je bil homodinski laserski interferometer, ki ima nanometrsko in nanosekundno ločljivost.; (3) na tematiki Laserski viri so potekale raziskave vlakenskih laserjev za mikroobdelave elektronskih vezij, razvit je bil tudi ErYAG laser s preklpom kvalitete, ki oddaja rekordno kratke laserske bliske. Izvedene so bile raziskave krmiljenja za nadzor temperature črpalnih laserskih diod; (4) na tematiki Optomehatronski sistemi je bila razvita metoda za zajem premikov in deformacij elektrodnih konic med procesom uporovnega točkovnega varjenja. Razvit je sistem za karakterizacijo in testiranje laserskih sistemov za merjenje geografske lokacije oddaljenih ciljev ter sledenje premičnih oddaljenih ciljev in karakterizacijo njihovih trajektorij; (5) na tematiki Laserski mikroobdelovalni procesi so bile razvite aplikacije laserske tehnologije za izdelavo nove vrste merilnih letev (RLS), za varjenje termostatskih ventilov (Danfoss), za varjenje lamelnih paketov elektromotorjev (HIDRIA) in za razvoj laserskih medicinskih sistemov (FOTONA). (6) Razvita je bila tudi laserska fluorescenčna termometrija s sintetiziranimi oksidnimi mono in nanokristali. (7) Napredek je bil dosežen na področju raziskav za potrebe industrije, kjer so bile opravljene temeljne raziskave optodinamike na področju čiščenja zobnih kanalov s pomočju uvajanja Er:YAG bliska po vlakenskih konicah v vodo in na področju laserskega odstranjevanja tetovaž.

Povečan obseg financiranja v letu 2014 je omogočal izvedbo dodatnih aktivnosti na področjih laserskega varjenja in laserskega označevanja materialov. Pri laserskem varjenju so bili razviti optični koncepti soosne postavitve kamere za potrebe spremljanja procesa ter za potrebe samodejne zaznave zvarnega robu. Pri zapisu absolutne pozicijske oznake pa sta bila raziskana dva režima interakcije svetlobe s kovino, in sicer segrevanje do temperature tališča ter parnični režim. Rezultati kažejo na močno izboljšanje ponovljivosti procesa v primeru drugega režima.

Na področju **(III) Laserski obdelovalni procesi, oplemenitenje površin in neporušno testiranje** so raziskave potekale na naslednjih temah. (1) Na temi *lasersko legiranje in oblaganje* je potekalo oblaganje aluminijeve zlitine s keramičnimi sestavinami TiC, TiB₂ z dodatkom aluminija v različnih razmerjih s kontinuirno delujočim vlakenskim laserjem. (2) Raziskave *laserskega udarnega utrjevanja* aluminijeve zlitine so bile usmerjene na razumevanje procesa ob interakciji z lasersko svetlobo visoke gostote moči in nano pulznimi učinki. (3) Raziskave *utrjevanja* druge aluminijeve zlitine v različnih stanjih z mikrokovanjem s kinetično energijo steklenih in jeklenih kroglic so bile usmerjene na študijo odpornosti površin na utrujanje in na korozijsko odpornost. (4) Raziskava *plamensko nabrizgavanje* samozlivne NiCrBSi zlitine na površino ogljikovega jekla je potekalo neposredno po nabrizgavanju in po dodatni klasični toplotni obdelavi in po laserskem pretaljevanju; preiskava o laserskem navarjanju maraging jekla na substrat iz običajnega konstrukcijskega jekla. V sodelovanju z inštitutom Zoltan Bay pa so potekale raziskave lasersko obloženih materialov in parametrična analiza za razvoj matematično-numeričnega modela za napovedovanje geometrije, mikrotrdote, mikrostrukture podprto s porazdelitvijo temperaturnega polja. (5) Na področju *neporušnih preiskav* smo razvili (5a) monitoring procesa laserskega rezanja in procesa brizganja polimernih materialov preko zajema signalov akustične emisije; (5b) uporabo ultrazvoka za testiranje napak in delaminacije ojačanih polimernih materialov; (5c) mikromagnetno testiranje feromagnetnih materialov na osnovi Barkhausnovega šuma; raziskan je bil robni efekt in velikost reže med merilno tuljavo in merjencem.

Povečan obseg financiranja v letu 2014 je omogočil dodatne raziskave na področju inovativnega utrjevanja z laserskimi udarnimi valovi, visoko temperaturne toplotne obdelave na mikrostrukturne ter korozijske lastnosti plamensko nabrizganih NiCrBSi prevlek in analize AE pri injekcijskem brizganju polimernih materialov. Raziskave utrjevanja z laserskimi udarnimi valovi (LSP) so potrdile visoko uporabnost postopka predvsem v visoko tehnološko zahtevnih aplikacijah. Analiza korozijske odpornosti v prisotnosti kloridnih ionov je pokazala, da je proces izredno učinkovit. Analize spektroskopije Augerjevih elektronov (AES) ter mikroskopije na atomsko silo (AFM) so potrdile koristen učinek procesa LSP na dvig korozijske odpornosti. Na podlagi SEM/SEI/BEI ter XPS analiz smo potrdili, da LSP zavira selektivno raztapljanje Al matrice ter preprečuje interkristalni korozijski napad zaradi induciranih tlačnih napetosti ter bolj stabilnega površinskega oksidnega film višje vezavne energije. Sistematične analize učinkov procesa LSP na mikrostrukturne spremembe in dislokacijske premike na transmisijem elektronskem mikroskopu (TEM) so potrdile goste dislokacijske strukture, ki imajo poglobilni vpliv na nastanek strukture ultra finih zrn (60–200 nm) ter nano zrnate kristalne strukture (20–50 nm). Po laserskem udarnem utrjevanju smo potrdili tudi izrazito povečanje gostote dislokacij kjer so se le-te v primerjavi z osnovnim materialom povečale tudi za skoraj faktor 2,5. Analizirane so bile mikrostrukturne in korozijske lastnosti plamensko nabrizganih ter toplotno obdelanih NiCrBSi prevlek na nizko-ogljicnem jeklu. Elektrokemične korozijske teste smo opravili na nizko-ogljicnem osnovnem materilu, na vzorcu direktno po nabrizgavanju ter nabrizganih vzorcih po toplotnih obdelavah z namenom analize učinkov toplotne obdelave pri delni pretalitvi med solidus ter likvidus točko na korozijsko odpornost materiala. Proces injekcijskega brizganja različnih

polimerni materialov je bil obravnavan s postopkom merjenja akustične emisije (AE). Zajeti signali so bili klasificirani na osnovi frekvenčnih karakteristik in mere amplitudne porazdelitve signalov AE. Vpeljan je bil 5-dimenzionalni vektor lastnosti z realnimi opisnimi spremenljivkami, ki omogoča ovrednotenje stanja procesa in orodja injekcijskega brizganja. Vektorji lastnosti so klasificirani z nevronskimi mrežami. Rezultati potrjujejo uporabnost opisane tehnike za ovrednotenje integritete orodij za brizganje plastike in stanja procesa tudi pri uporabi resonančnih senzorjev AE.

Na področju (IV) **spajanja materialov** so potekale raziskave varivosti materialov: (1) lasersko varjenje gadolinija; lasersko reparaturno varjenje orodij z dodajnimi materiali: orodno jeklo, varilna žica na osnovi W in prah na osnovi W in Mo; raziskave oblike laserskega bliska - razvita je oblika laserskega varilnega pulza, ki omogoča uspešno popravilo trdih orodnih jekel in prepreči pokanje trdega orodnega jekla za delo v hladnem; razvita je bila tehnologija laserskega varjenja dveh težko varivih Al zlitin. (2) Razviti so bili *dodajni materiali* za lasersko reparaturno varjenje; razvita je tehnologija tanjšanja varilne žice za potrebe laserskega varjenja in izdelali so katalog dodajnih materialov za lasersko varjenje. (3) Raziskave *oblikovnega varjenja* za t.i. hitro izdelavo izdelkov z robotskim navarjanjem za izdelavo izdelkov z optimalno porazdeljenimi lastnostmi; (4) raziskave laserskega rezanja tankih folij in lesa. (5) *Varjenje in/ali obdelava materiala z gnetenjem*: raziskave linijskega in točkovnega varjenja Al zlitin ter mikro varjenje Cu ter Cu z Al; (6) raziskave varivost titana in sive litine: razvita je tehnologija bradavičnega varjenja. Razvit je aktivni premaz, ki pri talilnih postopkih TIG varjenja nerjavečega jekla poveča globino uvara. Analizirani so bili procesi degradacije orodij za tlačno litje aluminija in razviti modeli za napovedovanje napetostnih obremenitev.

Skupina **Instituta za varilstvo** je v raziskavah sodelovala na sledečih temah. (1) Pri razvoju *laserskega navarjanja* je bila razvita tehnologija, ki se uporablja na različnih orodjih in materialih. Raziskave so potekale tudi na (2) *analizah pokljivosti* pri specialnih avstenitnih materialih, (3) *analizah standardnih in nestandardnih napak* pri zvarih, njihovem zmanjševanju ter detekciji s pomočjo sodobnih metod brez porušitve. Razvito je bilo (4) *nanašanje različnih materialov* (grafena ipd.) na podlage iz lahkih kovinskih materialov, predvsem na titanovi bazi s pomočjo visokoenergijskega obločnega postopka. Skupina je pojačala dejavnost predvsem na spajanju novih toplotno obstojnih in visoko prevodnih materialov.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

Program je v celoti realiziran. Zastavljeni vsebinski cilji so doseženi. Večina rezultatov je tudi že objavljena. Objavljenih je skupno 157 člankov v revijah s faktorjem vpliva (IF), od tega 49 v A1 in 54 v A2. V nadaljevanju so podane ocene nekaterih doseženih rezultatov.

Proizvodni sistemi. Splošni model sočasnega osvajanja izdelka za mala in srednje velika podjetja je oblikovan tako, da ga je mogoče implementirati s pomočjo standardnih informacijskih in komunikacijskih orodij. Storitvena arhitektura in on-line spremljanje kakovosti je uvedena v eno podjetje. Informacijsko-komunikacijska platforma za spremljanje in nadzor procesov in stanja opreme na hidroelektrarnah je pilotno implementirana na dveh večjih in dveh malih hidroelektrarnah. Razvita in implementirana

v industriji sta bila dva optična merilnika: merilnik lege šivnega zvara in merilnik debeline odkovka med kovanjem v vročem stanju. Razvita in implementirana je metoda za podporo pri rekonstrukciji dojk.

Optodinamika in laserski sistemi. Posebej velja omeniti rezultat izvirnega optodinamskega eksperimenta, kjer je bil prvič v svetu izmerjen elastični val, ki ga povzroči odboj laserskega bliska na ultra-visokoodbojnem zrcalu z odbojnostjo 99,999%. To je neposredna in neodvisna meritev gibalne količine svetlobe na elastičnem telesu. Doslej so jo namreč določali z opazovanjem gibanja težišča telesa, ki se vede kot togo. Rezultati so objavljeni v ugledni znanstveni reviji Physical Review Letters. Nadalje velja izpostaviti obsežen prenos znanja. Razvitih je bilo veliko število laserskih obdelovalnih in merilnih sistemov, ki se sedaj uporabljajo v industrijskem in medicinskem okolju.

Ocenjujemo, da je bil doprinos v okviru raziskovalnega sklopa **Laserski obdelovalni procesi, oplemenitenje površin in neporušne preiskave** v skladu s načrtovanim raziskovalnim programom in pričakovanji. Raziskovalni cilji so bili doseženi na različnih področjih, še posebno na področju preiskav materialov po laserskem udarnem utrjevanju, kinetičnem mikromehanskem utrjevanju in po laserskem površinskem oblaganju. Raziskave so bile izvedene tudi področju neporušnih preiskav kompozitnih materialov ter določevanja njihovih mehanskih lastnosti.

Spajanje materialov. Razvit je aktivni premaz, ki pri talilnih postopkih varjenja nerjavečega jekla poveča globino uvara. Razvita je tehnologija tanjšanje varilnih žic in izdelan je katalog dodatnih materialov za lasersko varjenje. Razvita je oblika laserskega varilnega pulza, ki omogoča uspešno popravilo trdih orodnih jekel za delo v hladnem brez razpok. Analizirani so procesi degradacije orodij za tlačno litje aluminija in razviti so modeli za napovedovanje napetostnih obremenitev.

Velik del razvojno raziskovalne skupine **Instituta za varilstvo** je bil angažiran pri konkretnih projektih za gospodarstvo, kjer je bil kljub krizi dosežen dvig prihodkov že devet let zapored in ustrezen donos iz poslovanja. Institut trenutno dosega 95 % prihodka z uslugami za gospodarstvo.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Ni sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	13195035	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Meritev elastičnih valov povzročenih z odbojem svetlobe
		ANG	Measurement of elastic waves induced by the reflection of light
	Opis	SLO	Odboj svetlobe od površine elastičnega telesa povzroči različne vrste elastičnih valov, ki se širijo znotraj trdnine. Najšibkejše take valove v splošnem povzroča sevalni tlak, ki deluje med odbojem svetlobe. Predstavljamo prvo kvantitativno meritev elastičnih valov povzročenih s svetlobnim tlakom na ultravisokoodbojnem zrcalu. Pri osvetlitvi prednje strani zrcala z laserskim bliski fluence 1 J/cm ² so bile s pomočjo koničnega piezoelektričnega senzorja pomikov na zadnji strani zrcala izmerjene amplitude pomikov velikosti nekaj pikometrov.
ANG		The reflection of light from the surface of an elastic solid gives rise to various types of elastic waves that propagate inside the solid. The weakest waves are generally those that are generated by the radiation pressure acting during the reflection of the light. Here, we present the first quantitative measurement of such light-pressure-induced elastic waves inside an ultrahigh-reflectivity mirror. Amplitudes of a few picometers were	

		observed at the rear side of the mirror with a displacement-measuring conical piezoelectric sensor when laser pulses with a fluence of 1 J=cm ² were reflected from the front side of the mirror.
	Objavljeno v	American Physical Society; Physical review letters; 2013; Vol. 111, iss. 18; str. 185501-1-185501-4; Impact Factor: 7.728; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.852; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Požar Tomaž, Možina Janez
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	12293915 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Evaluacija korozijske odpornosti aluminijeve zlitine AA6082-T651 po utrjevanju z laserskimi udarnimi valovi z metodo ciklične polarizacije in EIS metod <i>ANG</i> Evaluation of corrosion resistance of AA6082-T651 aluminium alloy after laser shock peening by means of cyclic polarisation and EIS methods
	Opis	<i>SLO</i> Proces laserskega udarnega utrjevanja brez zaščitne prevleke pri različnih gostotah moči smo uporabili na aluminijevi zlitini AA6082 z namenom podrobne evalvacije korozijske odpornosti v 0.6 M NaCl vodni raztopini. Rezultati cikličnih polarizacijskih testov so potrdili izboljšano korozijsko odpornost po procesu LSP, kar se odraža z večjim pasivnim področjem, izboljšano možnostjo repasivacije ter redukcijo korozijskega toka celo za faktor 12 v primerjavi z osnovnim, neobdelanim vzorcem. Nadalje, rezultati EIS po 24 urni izpostavi so potrdili za faktor 7 večje vrednosti polarizacijske odpornosti LSP vzorcev v primerjavi z osnovnim materialom (45 kΩcm ² proti 6.7 kΩcm ²). Analiza foto elektronske spektroskopije (XPS) LSP vzorcev je potrdila kemično bolj stabilen oksidni film Al ₂ O ₃ večje korozijske odpornosti, z manjšim anodnim raztapljanjem, ki nastane zaradi učinka plazme ter udarnih valov. <i>ANG</i> Laser shock peening (LSP) without ablative coating at various power densities was applied to AA6082 aluminium alloy to investigate corrosion behaviour in a 0.6 M NaCl solution. Cyclic polarisation results showed enhanced passivity with corrosion current reduction by as much as a factor of 12, compared to the untreated specimen. Additionally, EIS after 24 h confirmed almost seven times higher polarisation resistance after LSP, compared to the untreated specimen (45 and 6.7 k cm ²). XPS analysis indicated Al ₂ O ₃ enrichment, which contributed to higher corrosion resistance with reduced anodic dissolution of the LSP-treated surface due to plasma ablation and shock waves.
	Objavljeno v	Pergamon Press; Corrosion science; 2012; Vol. 59; str. 324-333; Impact Factor: 3.615; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.8; A'': 1; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Trdan Uroš, Grum Janez
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	11870235 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Upravljanje kompleksnosti proizvodnih sistemov s pristopom računske mehanike <i>ANG</i> Computational mechanics approach to managing complexity in manufacturing systems
	Opis	<i>SLO</i> Kompleksnost je bila identificirana kot vseprisotna in stalno naraščajoča lastnost proizvodnih sistemov. Konvencionalne teorije upravljanja ne vsebujejo orodij za opis, analizo in upravljanje kompleksnosti, in, posledično, niso primerne za obvladovanje težav, ki so posledica kompleksnosti. Nove pristope omogoča znanost o kompleksnosti, natančneje, računska mehanika. V članku je predlagana mera za kompleksnost in aplicirana na realne industrijske podatke. Rezultati

		študije izkazujejo značilno povezanost kompleksnosti in produktivnosti ter kažejo na to, da ima uporabljeno orodje velik vpliv na kompleksnost.
	ANG	Complexity has been identified as a ubiquitous and ever increasing property of manufacturing systems. Conventional theories of management lack the tools to describe, analyze, and manage complexity, and can, in turn, no longer cope with the issues it gives rise to. New approaches are offered by complexity science, namely by computational mechanics. In the paper, a method for complexity assessment is proposed and illustrated on real industrial data. The results of the presented case study suggest a distinct relationship between complexity and throughput, and indicate that the tool used has a major impact on complexity.
	Objavljeno v	Technische Rundschau; Hallwag Verlag; Colibri; Elsevier; CIRP annals; 2011; Vol. 60, iss. 1; str. 503-506; Impact Factor: 1.708; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.993; A': 1; WoS: IJ, IK; Avtorji / Authors: Vrabič Rok, Butala Peter
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	13336091 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO SEM/EDS karakterizacija vplivov utrjevanja z laserskimi udarnimi valovi na lokalni korozijski napad Al zlitine v kloridnem, skoraj nevtralnem okolju
		ANG SEM/EDS characterization of laser shock peening effect on localized corrosion of Al alloy in a near natural chloride environment
	Opis	SLO V tej študiji smo obravnavali vplive utrjevanja z laserskimi udarnimi valovi brez zaščitne prevleke (LSPwC) na korozijsko odpornost zlitine AA6082-T651 v kloridnem, skoraj nevtralnem okolju. Rezultati raziskav so potrdili omenjen postopek kot izredno učinkovit, ki omogoča nižje anodno raztapljanje materiala (Esw - Ecorr), izboljšano repasivacijo (Ecorr - Erp) z manjšim korozijskim tokom. Karakterizacija korozijskih napadov, izvedena s SEM/SEI/BEI in EDS analizami je potrdila kristalografski jamičasti napad kot primarni mehanizem korozijskega napada, kot posledica selektivnega raztapljanja Al matrice okoli Fe bogatih precipitativ. Nadalje, analize so potrdile, da utrjevanje z laserskimi udarnimi valovi zmanjša ne samo kristalografski in hemisferični jamičasti napad marveč tudi popolnoma preprečuje nastanek interkristalnega korozijskega napada.
		ANG This study examines the effect of laser shock peening without coating (LSPwC) on the corrosion behaviour of AA6082-T651 alloy in a near natural chloride environment. The results confirmed LSPwC as an effective method, yielding lower anodic dissolution (EswEcorr), improve drepassivation (EcorrErp) as well as corrosion current reduction. Characterization of the corrosion attack was performed by SEM/SEI/BEI and EDS analysis, where results confirmed crystallographic pitting as the predominant effect due to local dissolution of the Al matrix around Fe rich precipitates. Moreover, it was found that LSPwC reduces crystallographic and surface hemispherical pitting, as well as intergranular attack.
	Objavljeno v	Pergamon Press; Corrosion science; 2014; Vol. 82; str. 328-338; Impact Factor: 3.686; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.916; A'': 1; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Trdan Uroš, Grum Janez
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	13648155 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Vpliv laserskega udarnega utrjevanja na dislokacijske premike ter nastanek fino-zrnate strukture zlitine Al-Mg-Si
		ANG Laser shock peening effect on the dislocation transitions and grain refinement of Al-Mg-Si alloy

Opis	SLO	<p>V prispevku so opravljene sistematične analize učinkov laserskega udarnega utrjevanja brez zaščitne prevleke na mikrostrukturne spremembe in dislokacijske premike povzročeni z ultra-visokimi plastičnimi deformacijami. Na podlagi analiz optične mikroskopije, mikroskopije z uporabo polarizirane svetlobe, analiz na transmisijskem elektronskem mikroskopu ter ovrednotenja zaostalih napetosti smo potrdili signifikanten vpliv laserskega udarnega utrjevanja zaradi učinkov visokoenergetske plazme ter udarnih valovanj v obdelovancu. Čeprav rezultati optične mikroskopije niso potrdili praktično nikakršnega efekta laserskega utrjevanja na mikrostrukturne spremembe, t.j. toplotno vplivanje cone, razlik v porazdelitvi sekundarnih intermetalnih faz, ipd. smo na podlagi mikroskopskih anali z uporabo polarizirane svetlobe potrdili izrazito usmerjena podolgovata kristalna zrna dolžine do 455 nm v središču materiala, ter manjša naključno orientirana kristalna zrna velikosti 20 nm × 50 nm na površini zaradi učinka statične rekristalizacije. Ugotovili smo, da lasersko udarno utrjevanje povzroči v neposrednem površinskem sloju goste dislokacijske strukture. To se odraža z gosto distribucijo dislokacijskih linij, dislokacijskih mrež in celic, zavozlanih dislokacij, dislokacijskega zida ter v nekaterih primerih z nastankom nano-zrnate celične mikrostrukture. Rezultati analiz so potrdili, da imajo goste dislokacijske strukture ter formirani strižni trakovi zaradi učinkov ultra-visokih plastičnih deformacij pglavitni vpliv na nastanek strukture ultra finih zrn (60–200 nm) ter nano zrnato kristalno strukturo (20–50 nm). Potrdili smo tudi izrazito povečanje gostote dislokacij po laserskem udarnem utrjevanju, kjer so se le-te v primerjavi z osnovnim materialom povečale tudi za skoraj faktor 2.5 (29×10¹³ m⁻² proti 12×10¹³ m⁻²).</p>
	ANG	<p>This paper systematically investigates the effect of laser shock peening without coating parameters on the microstructural evolution, and dislocation configurations induced by ultra-high plastic strains and strain rates. Based on an analysis of optical microscopy, polarized light microscopy, transmission electron microscopy observations and residual stress analysis, the significant influence laser shock peening parameters due to the effect of plasma generation and shock waves propagation has been confirmed. Although the optical microscopy results revealed no significant microstructural changes after laser shock peening, i.e. no heat effect zone, differences in the distribution of second-phase particles, etc., expressive influence of laser treatment parameters on the laser shock induced craters was confirmed. Moreover, polarized light microscopy results have confirmed the existence of well-defined longish grains up to 455 nm in length in the centre of the plate due to the rolling effect, and randomly oriented smaller grains (20 nm - 50 nm) in the surface due to the static recrystallization effect. Laser shock peening is reflected in an exceptional increase in dislocation density with various configurations, i.e. dislocation lines, dislocation cells, dislocation tangles, and the formation of dense dislocation walls. More importantly, the microstructure is considerably refined due to the effect of strain deformations induced by laser shock peening process. The results have confirmed that dense dislocation structures during ultra-high plastic deformation with the addition of shear bands producing ultra-fine (60-200 nm) and nano-grains (20-50 nm). Furthermore, dislocation density was increased by a factor of 2.5 compared to the untreated material.</p>
Objavljeno v		Elsevier; Materials characterization; 2014; Vol. 97; str. 57-68; Impact Factor: 1.925; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.802; A'': 1; A': 1; WoS: QF; Avtorji / Authors: Trdan Uroš, Skarba M., Grum Janez
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	12064539	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba 3D laserskega skeniranja in izdelava kalupa dojke kot metoda optimizacije rekonstrukcije dojke po raku
		ANG	The use of 3D laser imaging and a new breast replica cast as a method to optimize autologous breast reconstruction after mastectomy
	Opis	SLO	Estetske in simetrične dojke so cilj pri rekonstrukcijski kirurgiji dojke po raku. Da bi se izognili večkratnim ponovitvam operacij, je bila razvita nova metoda, pri kateri je uporabljeno vzvratno inženirstvo za izdelavo kalupa nove dojke. Kalup je enak nasprotni dojki in načrtovan na podlagi predoperativnega 3D laserskega skeniranja. Med operacijo je kalup uporabljen za oblikovanje nove dojke. S to metodo je možno natančnejše, hitrejše in varnejše doseganje simetrije dojke v smislu volumna, projekcije, konture in položaja.
		ANG	Aesthetically pleasing and symmetrical breasts are the goal of reconstructive breast surgery. Sometimes, however, multiple procedures are needed to improve a reconstructed breast's symmetry and appearance. In order to avoid additional corrective procedures, we have developed a new method that uses a reverse engineering technique to produce what we call a new breast replica cast (NBRC). The NBRC is a mould of the contralateral healthy breast, designed according to preoperative laser 3D images. During surgery, the mould is used to help shape the new breast. With this method, we are able to achieve breast symmetry in terms of volume, projection, contour, and position on the chest wall more accurately, more quickly, and more safely than before.
	Šifra	F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov
	Objavljeno v	Churchill Livingstone; The Breast; 2011; [Vol. 20], Online first [no. 6]; [7] str.; Impact Factor: 2.491; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.838; A': 1; Avtorji / Authors: Ahčan Uroš, Bračun Drago, Živec Katarina, Pavlič Rok, Butala Peter	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	12641307	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Merjenje hitrosti ablacije trdih dentalnih tkiv z laserjem Er:YAG pri različnih režimih vodnega hlajenja : raziskovalno poročilo
		ANG	Measurements of Er:YAG ablation rate in hard dental tissues under different water cooling conditions
	Opis	SLO	Izvedli smo natančna merjenja prostornine izvrtin, izdelanih z ablacijo trdih zobnih tkiv z laserjem Er:YAG, z namenom, da bi preverili obstoj t.i. »hidrokinetičnega« pojava, ki je bil v nekaterih virih predložen kot alternativni mehanizem za lasersko ablacijo trdih tkiv. Navedenega pojava nismo zaznali na širokem območju testiranih laserskih parametrov in pogojev vodnega hlajenja tkiva. Nasprotno temu smo opazili, da pri enakih laserskih parametrih aplikacija vodnega pršila med laserskih bliskom zmanjšuje odzvem tkiva glede na odzvem brez aplikacije pršila. Naša opažanja so v soglasju z široko sprejetim principom prevladujočega mehanizma ablacije z laserjem Er:YAG, ki temelji na hitri ekspanziji lasersko močno pregrete vode ujete v intersticijsko strukturo trdih zobnih tkiv.

		effect could be observed under a broad range of tested laser parameters and water cooling conditions. On the contrary, the application of water spray during laser exposure of hard dental material was observed to diminish the laser ablation rate in comparison with laser exposure under the absence of water spray. Our findings are in agreement with the generally accepted principle of action for Erbium laser ablation, which is based on fast subsurface expansion of laser-heated water trapped within the interstitial structure of hard dental tissues.
	ANG	
Šifra	F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
Objavljeno v	Faculty of Mechanical Engineering, Laboratory for Digital Systems and Electrical Engineering; 2012; IV, 41 f.; Avtorji / Authors: Diaci Janez	
Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav	
3.	COBISS ID	16720150 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Vpliv procesnih parametrov na deformacijo vzorca in korelacija z zajetimi signali AE med procesom brizganja polimernih materialov
	ANG	The impact of process parameters on test specimen deviations and their correlation with AE signals captured during the injection moulding cycle
Opis	SLO	V raziskavi je zajeta analiza krčenja in deformacije brizganih izdelkov iz polipropilena polnjenega z kalcijevim karbonatom. To je material ki se v velikih količinah uporablja v avtomobilski industriji. Pri analizi so uporabljeni vzorci standardne oblike. V raziskavi je zajet vpliv šestih različnih procesnih parametrov. Med brizganjem vzorcev se je merilo signale akustične emisije in tlak v votlici orodja. Vsak vzorec je bil izmerjen s 3D optičnim skenerjem, kar je omogočalo natančno izmero krčenja in deformacije vzorca. S Taguchijevo metodo so se določili parametri obdelave, ki so dali vzorce z najmanjšim krčenjem in deformacijo skupaj z nominalno najboljšimi kakovostnimi karakteristikami. Najsignifikantnejši vplivni parameter je določen z analizo variance. Izkazalo se je da je to naknadni pritisk. Signali AE sovpadajo s krčenjem in deformacijo brizganih izdelkov in kažejo na možnost izboljšanja nadzora procesa brizganja.
	ANG	The aim of this work was to investigate the influence of six injection moulding process parameters on the post-moulding shrinkage and warping of parts made from polypropylene filled with calcium carbonate, as used in large quantities throughout the automotive industry. For experimental purposes, standard test specimens were used for the determination of post-moulding shrinkage and warping. Each experiment was observed precisely through the measurement of acoustic emission (AE) signals and in-cavity pressure. We scanned each test specimen using an optical 3D scanner for accurate measurement of post-moulding shrinkage and warping. The optimal set of parameters that provides minimal post-moulding shrinkage and warping, was determined by the Taguchi method, together with nominally-the-best (type II) quality characteristic. The most influential parameter was statistically obtained through analysis of variance, which showed that packing pressure had the largest impact. The results from the measured AE signals showed clear correlation with the post-moulding shrinkage and warping, indicating the possibility of on-line monitoring the adequacy of the process by capturing AE signals.
Šifra	F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov
Objavljeno v	Applied Science Publishers Ltd; Polymer testing; 2013; Vol. 32, iss. 3; str. 583-593; Impact Factor: 1.816; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.802; A'': 1; A': 1; WoS: QF, UY; Avtorji / Authors: Kusić Dragan, Kek Tomaž, Slabe Janez Marko, Svečko Rajko, Grum Janez	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

4.	COBISS ID	12916251	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razširjeni model analize tveganja aktivnosti projekta
		ANG	Extended risk-analysis model for activities of the project
	Opis	SLO	Projektno vodenje naročil izdelkov oziroma storitev postaja v mnogih podjetjih način poslovanja podjetja. Kljub temu, da gre v danem primeru večinoma za ciklično ponavljajoče se projekte, je zanje zelo pomembno obvladovanje njihovih tveganj. V članku je predstavljen model razširjene analize tveganj pri projektih osvajanja izdelkov oziroma storitev s poudarkom na rešitvi, oblikovani na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. V predlaganem modelu je k običajni analizi tveganj aktivnosti projekta, ki temelji na oceni verjetnosti nastopanja dogodkov tveganja ter oceni njihovih posledic, dodan še tretji parameter, to je ocena pogostosti ponavljanja dogodkov tveganja. Glede na izračunano stopnjo tveganja aktivnosti, projektni tim pripravi preventivne in kurativne ukrepe, na katere opozarjajo indikatorji stanja. Pomembna prednost predlagane rešitve je v tem, da so vodja projekta in člani tima pravočasno opozorjeni na dogodke tveganja in da po potrebi aktivirajo predvidene preventivne in kurativne ukrepe.
		ANG	Project management of product/service orders has become a mode of operation in many companies. Although these are mostly cyclically recurring projects, risk management is very important for them. An extended risk-analysis model for new product/service projects is presented in this paper. Emphasis is on a solution developed in the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana, Slovenia. The usual project activities risk analysis is based on evaluation of the probability that risk events occur and on evaluation of their consequences. A third parameter has been added in our model: an estimate of the incidence of risk events. On the basis of the calculated activity risk level, a project team prepares preventive and corrective measures that should be taken according to the status indicators. An important advantage of the proposed solution is that the project manager and his team members are timely warned of risk events and they can thus activate the envisaged preventive and corrective measures as necessary.
	Šifra	F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v	Springer; SpringerPlus; 2013; Vol. 2; str. 1-12; Avtorji / Authors: Kušar Janez, Rihar Lidija, Žargi Urban, Starbek Marko	
	Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	11752475	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv pogojev laserskega udarnega utrjevanja na korozijsko odpornost aluminijeve zlitine
		ANG	Influence of laser peening conditions on surface corrosion resistance of aluminium alloy
	Opis	SLO	Ustrezen potek zaostalih napetosti, pogosto pa tudi korozijska odpornost materiala predstavljajo ključne zahteve za uporabnost številnih strojnih delov v različnih aplikacijah. Tretiranje je bilo izvedeno s Q-preklopnim Nd:YAG laserjem, valovne dolžine 1064 nm pri trajanju pulza 10 ns, z 900 pulzov/cm ² in 2500 pulzov/cm ² . Korozijsko odpornost dveh aluminijevih zlitin smo testirali s potenciodinamičnimi polarizacijskimi testi v 3,5% vodni raztopini NaCl pri pH7 ter temperaturi 23°C. Podatke smo beležili pri hitrosti spremembe potenciala 10 mV/s, z začetnim potencialom testiranja -2000 mV/SCE. Elektrodni potencial smo povečevali do potenciala -500 mV/SCE. Stanje površine po korozijskih testih so bili opravljeni na optičnem ter elektronskem (SEM) mikroskopu, z EDS analizo ter z metodo inovativne ne-porušne 3D metrologije.

	ANG	An adequate residual-stress variation and frequently also improved corrosion resistance of a material are key requirements for usability of numerous machine components in various applications. Laser Peening was performed with a Q-switched Nd:YAG laser with a wavelength of 1064 nm, with pulse densities, i.e. 900 and 2500 pulses/cm ² . The corrosion behaviour of the laser peened aluminium alloys was investigated in 3.5% NaCl water solution at pH7 and 23°C. Potentiodynamic polarization tests were conducted at a scanning rate of 10mV/s, starting at 2000mV/SCE. Corrosion plots showed pitting corrosion attack. Surface conditions after corrosion tests at different pulse density levels were evaluated with optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), EDS analysis and innovative non-destructive 3D surface metrology method.
Šifra	B.04	Vabljen predavanje
Objavljeno v	University; Meeting presentations; 2011; Str. [1-5]; Avtorji / Authors: Grum Janez, Trdan Uroš, Ocana Jose Luis	
Tipologija	1.06	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine⁷

- Virtualni diagnostični center za hidroelektrarne (VDCHE), Zlato priznanje za inovacijo, Gospodarska zbornica Slovenije, Zbornica osrednjeslovenske regije, 2014; in srebrno priznanje za inovacijo, Gospodarska zbornica Slovenije, 2014 (Luka Selak, Alojzij Sluga, Peter Butala).
- Članek »SEM/EDS characterization of laser shock peening effect on localized corrosion of Al alloy in a near natural chloride environment« uvrščen na 19. mesto med Top 25 Hottest Articles in Corrosion Science (apr.-jun. 2014).
- Priznanje za kakovostne publikacije in uspešno predstavitev svojega znanstveno-raziskovalnega dela v mednarodnem prostoru 2014, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani (Uroš Trdan),
- Institut za varilstvo deloval preko 95% za industrijo, po uvajanju nove gradbene direktive je v letu 2014 vpeljal preko 100 postopkov spajanja v slovensko industrijo. Svoje rezultate trži že v 10 državah.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Proizvodni sistemi. V raziskavah so bili doseženi rezultati, odmevni v svetovnem merilu, na področjih strukturiranja proizvodnih sistemov, obvladovanja proizvodne kompleksnosti, on-line spremljanja in nadzora proizvodnih delovnih sistemov (procesov, naprav, operacij), učenja in diagnosticiranja na osnovi proizvodnih podatkov, razvoja produktno-storitvenih sistemov, kot tudi razvoja 3D merilnih tehnik in njihovi implementaciji v industriji in medicini. Razvit je bil model proizvodnje v oblaku ter obravnavan je bil sociološki vidik pri mreženju proizvodnih delovnih sistemov. Rezultati raziskav na razvoju generičnega modela integriranega načrtovanja in vodenja procesno organizirane proizvodnje predstavljajo izvirni prispevek, saj v literaturi ni zaslediti poglobljene študije o integraciji projektnega vodenja in sočasnega osvajanja izdelkov.

Optodinamika in laserski sistemi: raziskani so bili optodinamski vidiki interakcije laserskih bliskov s kovinami, dielektriki, tekočinami in v plinih. Rezultati raziskav med drugim pojasnjujejo temeljna vprašanja glede pretvorbe svetlobne energije v mehansko energijo. Tovrstne interakcije so namreč prisotne pri praktično vseh laserskih obdelovalnih procesih in medicinskih terapijah, zato poglobljeno razumevanje pomeni osnovo za razvoj novih oziroma optimizacijo obstoječih procesov. Razvoj laserskih 3D merilnih sistemov za merjenje gibajočih se teles je ravno tako odprl številne raziskave na področju medicine in sprotnega nadzora izdelkov.

Laserski obdelovalni procesi, oplemenitenje površin in neporušno testiranje: program raziskovalnega dela je bil sestavljen iz številnih segmentov znanstvenih ved povezanih s karakterizacije materiala pred in po utrjevanju z laserskimi udarnimi valovi ter podprt s podrobno kvantitativno ter kvalitativna analizo učinka laserskih uradnih valov. Rezultati so potrdili izrazito izboljšano korozijsko odpornost z izboljšano repasivacijo ter redukcijo korozijskega toka po utrjevanju z laserskimi udarnimi valovi. Skozi teste elektrokemične impedančne spektroskopije smo potrdili sedemkrat višje vrednosti polarizacijske upornosti kot pri osnovnem materialu. Analize so potrdile, da je to odraz modifciranega oksidnega filma, višje vezavne energije ter induciranih tlačnih zaostalih napetosti po procesu utrjevanja z laserskimi udarnimi valovi. Nadalje, postopek ustrezno zavira tako kristalografski kot hemi-sferični jamičasti napada ter preprečuje selektivni interkristalni napada. Sistematične analize učinkov laserskega udarnega utrjevanja na mikrostrukturne spremembe in dislokacijske premike povzročeni z ultra-visokimi plastičnimi deformacijami so potrdile izrazito povečanje gostote dislokacij z gostimi dislokacijskimi strukturami. Rezultati analiz so potrdili, da imajo goste dislokacijske strukture ter formirani strižni trakovi zaradi učinkov ultra-visokih plastičnih deformacij poglobitni vpliv na nastanek strukture ultra finih zrn ter nano zrn. Glede na izredno aktualnost teme pričakujemo veliko zanimanje v znanosti za rezultate, posebej za nove hibridne tehnike laserske inovativne obdelave površine.

Spajanje: Ugotovitve na področju raziskav laserskega varjenja, dodatnih materialov na osnovi W in prahovi na osnovi W in Mo za reparaturno popravilo orodij, varivosti, varjenja z aktivnim fluxom ter na področju FSW/P so pomembne tudi za razvoj znanosti. Predstavljajo pomemben doprinos v svetovno zakladnico znanja in potencial za razvoj nove raziskovalne smeri. Rezultati so bili objavljeni v pomembnih znanstvenih revijah in predstavljeni na domačih in mednarodnih konferencah.

ANG

Manufacturing Systems. The results in this field are related to new concepts for structuring manufacturing systems, mastering of complexity in manufacturing, on-line monitoring of work systems (processes, devices, operations, environment), learning and diagnostics based on production data, development of product-service systems, as well as development of 3D measuring systems and their implementation in medicine. A new model of cloud manufacturing system is developed. Effect of social networking in production networks was examined. The results of research on the development of a generic model for integrated planning and control in process organized production are an original contribution while there is no evidence about similar approaches.

Optodynamics and laser systems: studied were optodynamic aspects of the interaction of laser pulses with metals, dielectrics, liquids and gases. The results of the research, inter alia, clarify fundamental questions regarding the conversion of light energy into mechanical energy. Such interactions are in fact present in virtually all laser machining processes and medical therapies. An in-depth understanding of these phenomena allows development of new and optimization of existing laser processes. The development of 3D laser measurement systems for measuring the moving bodies has also opened a number of studies in the field of medicine and real-time quality control of products.

Laser machining processes, surface finishing and non-destructive testing: The research work incorporated various segments of scientific disciplines, related to the characterisation of material prior to the laser shock peening and after it. The characterisation of the material was supported with a detailed quantitative and qualitative analysis of the effects of laser shock waves. Our results confirmed improved corrosion resistance, with improved repassivation as well as corrosion current reduction after laser peening. Through electrochemical impedance spectroscopy higher polarization resistance after laser shock peening, compared to the untreated specimen. The results were shown to be attributable to the modification of surface oxide form, with a binding energy and to the development of high compressive residual. Moreover, it was found that crystallographic and surface-hemispherical pitting can be reduced and intergranular attack completely prohibited. Systematic investigations of laser shock peening effects on the microstructural evolution, and dislocation configurations induced by ultra-high plastic strains and strain rates revealed exceptional increase in dislocation density with various configurations. The results have confirmed that dense dislocation structures during ultra-high plastic deformation with the addition of shear bands producing ultra-fine and nano-grains. Given the extraordinary significance of the topical theme we expect great interest of the science community for our results, especially for new hybrid techniques of innovative laser surface

processes.

Joining of materials: The obtained results in the field of research of laser welding, filler materials and filler powders, weldability, welding with an active flux, and on the field of friction stir welding and processing are important for the development of manufacturing science. They present important findings for the world knowledge treasury and are the basis for development of new research directions.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Proizvodni sistemi: Generični model integriranega načrtovanja in vodenja procesno organizirane proizvodnje je uporaben v vseh slovenskih malih in srednje velikih podjetjih, ki imajo v svojem proizvodnem programu osvajanje novih izdelkov, ki morajo priti na trg v čim krajšem času (do 50%), s čim nižjimi stroški (do 40%) in čim manj spremembami na izdelku ali procesu v fazi industrializacije izdelka (do 25%). Novi koncepti proizvodnih sistemov in obvladovanje kompleksnosti v proizvodnji so tematike, ki bodo temeljito spremenile slovensko industrijo. Področje produktno-storitvenih sistemov je na področju hidroelektrarn izkazalo velik potencial. On-line spremljanje delovnih sistemov je bilo uvedeno v podjetjih Litostroj Power in Cimos PTC Buzet, kjer se dnevno uporablja.

Raziskave s področja optodinamike in laserskih sistemov so velikega pomena tudi za slovenska podjetja, kot so Fotona, LPKF, Optotek, Danfoss, Yaskawa, Alpina, Ydria, Hidria in RLS Merilna tehnika, s katerimi smo na osnovi opisanih spoznanj razvili inovativne sisteme in produkte. Te rešitve pomagajo omenjenim podjetjem ohraniti visoko stopnjo tehnološke razvitosti in posledično konkurenčnosti v mednarodnem okolju. Najpomembnejši skupni razvojni dosežki so: sistemi za spremljanje laserskih medicinskih posegov, vlakenski laserji za uporabo v sistemih za hitro izdelavo elektronskih vezij in fotovoltaičnih elementov, adaptivno lasersko daljinsko varjenje, laserski 3D merilnik stopal ter sistem za laserski zapis absolutne pozicijske oznake. Laserski obdelovalni procesi, oplemenitenje površin in neporušno testiranje: Čeprav se tehnologija utrjevanja z laserskimi udarnimi valovi zaradi drage investicije in kompleksnosti postopka uporabljala predvsem za visoko tehnološke izdelke, menimo da rezultati raziskovalnega programa obetajo pomembne prispevke k dvigu tehnološke ravni proizvodnje in uvedbo novih tehnološko zahtevnih izdelkov v proizvodnjo. S tem bo podjetjem, ki bodo osvojile nove tehnologije, omogočena pomembna konkurenčna prednost tudi v avtomobilski industriji s povečanjem vzdržljivosti dinamično obremenjenih strojnih delov.

Spajanje: Raziskave in razvoj na področju spajanja materialov imajo velik pomen za razvoj Slovenije. Z raziskavami na področju reparaturnega varjenja orodij si številne slovenske orodjarne in livarne povečujejo dodano vrednost in konkurenčno prednost. Pomembne so tudi ugotovitve na področju laserskega varjenja, saj le te prispevajo delež k slovenskemu izvozu in BDP. Razvoj žic za lasersko reparaturno varjenje trenutno omogoča zaposlitev ene osebe, s samimi žicami pa želimo prodreti na svetovni trg dodatnih materialov. Iz razvitega aktivnega premaza je bilo ustanovljeno podjetje, ki trži in razvija omenjen produkt. Podjetje ima trenutno enega zaposlenega. Raziskave na področju tornega varjenja in gnetenja prispevajo pomemben delež prihodkov v dveh slovenskih podjetjih.

ANG

Manufacturing systems: The generic model of integrated planning and control of process organized production can be used in all Slovenian small and medium-sized enterprises, which production program is based on development of new products that have to come to market in the shortest possible time (50%), with the lowest cost (up to 40%) and minimal changes to the product and process in the industrialization phase of the product (25%). The research of new manufacturing concepts and mastering of complexity in production will have significant influence on the next generation manufacturing systems in Slovenian industry. The concept of product-service systems has been implemented on two turned hydropower plants and turned out to have a potential for industry. On-line monitoring of work systems is implemented in two companies (Litostroj Power, Cimos Buzet).

Research on optodynamics and laser systems are also of great importance for Slovenian companies, such as Fotona, LPKF, Optotek, Danfoss, Yaskawa, Alpina, Ydria, Hirdria and RLS measurement technique with whose we have developed innovative systems and products. These solutions help companies maintain a high level of technological development and hence competitiveness in the international environment. The most important developments are:

systems for monitoring laser medical interventions, fiber lasers for use in systems for rapid prototyping electronic circuits and photovoltaic elements, adaptive remote laser welding, laser 3D foot gauge, and a system for laser image of the absolute position markings.

Laser machining processes, surface finishing and non-destructive testing: Despite the fact, that laser shock peening technology requires high investment, while the process itself is rather complex and the technology is applied to high-precision products, we believe that the results of the research program promise significant contributions to the introduction of new products and new processing technologies into the production. This shall have an important impact on the increase of the competitiveness in the automotive industry with increased endurance of dynamically stressed machine components.

Joining of materials: The results of research of laser welding, filler materials and powders, weldability, welding with an active flux, and on the field of friction stir welding and processing are important for the development of Slovenian industry where welding and related technologies represent an important share of value adding processes.

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	79
bolonjski program - II. stopnja	26
univerzitetni (stari) program	278

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
32091	Vid Agrež	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32338	Vid Novak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
9756	Boris Cencič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28906	Uroš Trdan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32078	Dunja Ravnikar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30909	Lovro Kuščer	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15483	Andrej Kobal	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31562	Samo Simončič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Seid Žapčević	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
23586	Janez Lap	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28655	Rok Zupančič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30914	Rok Vrabič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29224	Peter Gregorčič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28703	Aleš Bizjak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10813	Janez Križan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
9327	Karolj Nemeš	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
34143	David Vegelj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28666	Zmago Jereb	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28609	Matej Pleterski	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Lluis Rins Mitjans	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

27638	Boštjan Perdan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26556	Zoran Bergant	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25465	Valter Gruden	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
35678	Robert Ivančič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
27660	Tadej Perhavec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26060	Simon Grbec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25463	Tomaž Požar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Blaž Černevssek	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29670	Aljoša Rožman	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28738	Saša Marušič	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
26044	Aleš Košnik	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31600	Jure Počkar	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
27630	Uroš Zupanc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
27637	Mitja Muhič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
26144	Lidija Rihar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32688	Boštjan Novak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij
Dr. - Doktorat znanosti
MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
32091	Vid Agrež	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
32078	Dunja Ravnikar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
30909	Lovro Kuščer	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	B - Družbene dejavnosti	
28655	Rok Zupančič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
30914	Rok Vrabič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29224	Peter Gregorčič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
28703	Aleš Bizjak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
28666	Zmago Jereb	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
28609	Matej Pleterski	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
27638	Boštjan Perdan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
26556	Zoran Bergant	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
27660	Tadej Perhavec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
26060	Simon Grbec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25463	Tomaž Požar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
- B** - gospodarstvo
- C** - javna uprava
- D** - družbene dejavnosti
- E** - tujina
- F** - drugo

12.Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
0	Elvedin Trakić	C - študent - doktorand	3	
0	Eric Barth	C - študent - doktorand	4	
0	Khumbulani Mpopu	B - uveljavljeni raziskovalec	3	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

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

13.Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

EUREKA: E!4177, PROFACTORY UES: Ubiquitous Oriented Embedded Systems For Globally Distributed Factories Of Manufacturing Enterprises
 FP7 2292311, ALPINE Advanced Lasers for Photovoltaic Industrial processing Enhancement.(call: FP7NMP2008LARGE2, project type: »Large scale integrating collaborative projects«).
 EUREKA: E!4954 ILUMEN Intelligent Laser Sources In Dermatology And Aesthetic Medicine, nosilec: FOTONA d.d. Ljubljana
 EUREKA E! 5343 COMOS: Collaborative Platform for operations support of worksystems. case of hydro power plants
 EU mednarodni projekt ESRR, Evropsko teritorialno sodelovanje SIAT: CROSS INNO
 Prekomejna mreža inovacijsko procesnega tehnološkega sodelovanja malih, srednjih podjetij ter raziskovalne sfere na konkretnih prekomejnih inovativnih tehnološko procesnih razvojnih projektih
 EUREKA: E!5855 RWC The development of a new resistance welding controller (RWC)
 Lifelong Learning Programme (Leonardo da Vinci): Certification of Welding Coordinators Related with LLP (WELDING coordination) (Institut za varilstvo)
 Lifelong Learning Programme: New education models that encourage transfer of competences (EduMECCA) (Institut za varilstvo)
 Lifelong Learning Programme (Leonardo da Vinci): Implementation of Virtual Technology in Education of Welders and Welding Specialist (Virtweld)
 Lifelong Learning Programme (DG EAC/41/09) Informal Training Recognition in Welding (BProf)
 Lifelong Learning Programme (KA3ICT): Develop open Operative system services for Smartphones that facilitates New Evaluation methods, and enhances use of Immediate feedback on evaluation results obtained in Tests as a creative learning tool (Doneit)
 Lifelong Learning Programme (Leonardo da Vinci): Disseminating new models for Plastic Welding Education (EuroPlast)
 EraSME CleanER: Cleaning engineering for remanufacturing,
 Lifelong Learning Programme (Leonardo da Vinci): Transfer of inovation: Hydro powerplant simulation
 EUREKA E! 8701 AHEAD razvoj naprednih ogljikovih materialov izdelanih s pomočjo električnega oblaka visokih energij, Dr.Ing. Miro Uran.

14.Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009-31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

Uvedba projektnega vodenja v podjetje CIMOS Koper, (M. Starbek).
 Uvedba projektnega vodenja v podjetje Litostroj Power Ljubljana, (M. Starbek).
 Proj. vodenje sočasnega osvajanja serijskega izdelka v podjetju Kolektor Liv Postojna, (M. Starbek).
 Uvajanje projektnega vodenja razvojno investicijskih projektov (gradnje objektov, tehnologije ter zahtevnejše investicijske naložbe) v Luki Koper, (M. Starbek).
 Uvedba sočasnega osvajanja izdelkov v podjetje Iskra MIS Kranj, (M. Starbek).
 V okviru projekta za podjetje TRIMO, d.d., Trebnje, je bil razvit in izdelan Merilni sistem za neporušno testiranje sendvič panelov, ki je integriran na proizvodno linijo podjetja, (P. Butala).
 V okviru sodelovanja s podjetjem PS Logatec so bile izdelane komponente za projekt mehatronskih učil, (P. Butala).
 V okviru sodelovanja z Univerzo v Mariboru (prof. Balič) je bil izdelan in dobavljen namizni CNC gravirni stroj LAKOS 150, (P. Butala).
 FOPINK: »Integracija forward observer modula v sistem ISPINK«, projekt TP MIR08/ 09, nosilec: Fotona d.d. Ljubljana, (J. Možina).
 Analiza mikrostrukture površine nanosa barve na kovinske ploščice, GOSTOL; Nova Gorica (J. Grum).
 Za University of Johannesburg, Južna Afrika je bil izdelan in dobavljen namizni CNC gravirni stroj LAKOS 150 ter laserski 3D skener, (P. Butala).
 CV sodelovanju s VITES – Visoko šolo za tehnologije in sisteme v Novem mestu je bil izdelan in dobavljen namizni CNC gravirni stroj LAKOS 150 ter laserski 3D skener, (P. Butala).
 Razširitev uporabe GPSMatrix merilnega sistema, naročnik Fotona d.d. Ljubljana, (J. Diaci).
 Kolektor ETRA33 Razvoj tehnologije spajanje proti lezenju odpornega jekla P911, (J. Tušek).
 Krka d.d. Analiza biokorozivno prizadetih zvarov na ceveh iz nerjavnega jekla (J. Tušek).
 Elvez d.d. Razvoj ultrazvočnega spajanja vodotesne posode za visokotlačne čistilce, (J. Tušek).
 Vitki proizvodni procesi – Polycom Škofja Loka, (M. Starbek).
 Raziskava na področju optimizacije toka materiala, Intechles Unec, (M. Starbek).
 CNC namizni obdelovalni stroj LAKOS 150 za University of Minho, Portugalska, (P. Butala).
 Uvajanje sistema stalnih izboljšav v podjetju Polycom Škofja Loka d.o.o (podizvajalci Eureka projekta), (M. Starbek).
 Sodelovanje s podjetjem Ekliptik pri razvoju CAD okolja za načrtovanje kirurških operacij in izdelavo namenskih, personaliziranih kirurških vodil, (P. Butala).
 Izdelava kalupov dojk za rekonstrukcijo dojk po mastektomiji, Univerzitetni klinični center Ljubljana, (P. Butala, D. Bračun).
 Merilnik šivnega zvara (TPV d.d.). (D. Bračun).
 Merilnik debeline odkovkov (Metal Ravne d.o.o.). (D. Bračun).
 Raziskovalna skupina Instituta za varilstvo je za industrijske uporabnike izvedla vrsto del pri optimizaciji, preskušanju in certifikaciji varilnih postopkov, (M. Uran).
 Določevanje kvalitete laserskega reza z akustično emisijo v Svoboda Svoent GmbH &Co KG, 2011 (J. Grum)

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹²

SLO

Večje število rezultatov raziskovalnega programa je ali že pilotno implementirano v industriji, ali pa v fazi prototipiranja. To potrjuje njihovo tehnološko zrelost. V nadaljevanju so izpostavljeni nekateri rezultati

Proizvodni sistemi. Splošni model sočasnega osvajanja izdelka je bil poskusno implementiran v petih slovenskih podjetjih in sicer: Cimos Koper, Kolektor LIV Postojna, Iskra MIS, Iskra PIO in Polycom Škofja Loka. Informacijsko-komunikacijska platforma za spremljanje in diagnosticiranje delovanja opreme na hidroelektrarnah je že implementirana na 4 elektrarnah (HE Boštanj, HE Blanca, MHE Volaka, MHE Zgornja Volaka). Merilnik lege šivnega zvara je implementiran v TPV d.d. in merilnik debeline odkovka med kovanjem v vročem stanju v Metalu Ravne d.o.o.. Razvita metoda za podporo pri rekonstrukciji dojk je implementirana v UKC Ljubljana.

Optodinamika in laserski sistemi. Sistemi za merjenje oblike delov človeškega telesa v medicini

so razviti za potrebe ortopedije, nevrologije, pulmologije in dermatologije. Sistem za merjenje stopala v gibanju za potrebe razvoja obutvene industrije. Uporabnost sistema za merjenje geografske lokacije oddaljenih objektov ter sledenje premičnih ciljev in karakterizacijo njihovih trajektorij je bila preverjena v sodelovanju s Slovensko vojsko. Razvite so aplikacije laserske tehnologije za izdelavo nove vrste merilnih letev (RLS), za varjenje termostatskih ventilov (Danfoss), za varjenje lamelnih paketov elektromotorjev (HIDRIA) in za razvoj laserskih medicinskih sistemov (FOTONA).

Laserski obdelovalni procesi, oplemenitenje površin in neporušno testiranje. Na podlagi tesnega sodelovanja s tujimi partnerji, t.j. E. T. S. Ingenieros Industriales, Španija ter Mechanical and Aeronautical Engineering, University of California, ZDA se kaže potencialna možnost uporabe postopka laserskega udarnega utrjevanja v zdravstvene namene (implantanti) kot tudi v avtomobilski industriji za povečanje vzdržljivosti dinamično obremenjenih delov. Raziskave signalov AE med procesom brizganja omogočajo boljši vpogled v možnosti nadzora procesa brizganja, ki omogoča razvoj univerzalnega sistema detekcije napak v orodjih za brizganje polimernih materialov in detekcijo vlage v zelo širokem spektru granulotov s sočasnimi (on-line) krmiljenjem parametrov brizganja.

Spajanje materialov. Aktivni površinski premaz za varjenje omogoča povečanje globine penetracije pri varjenju nerjavečih jekel tudi preko 300 %. Njegova prednost je, da se ga lahko uporabi skupaj z obstoječo tehnološko opremo (laserskimi sistemi in napravami za varjenje TIG in napravami). Primeren je predvsem za varjenje nerjavečega jekla ter titana večjih debelin. Ocenjena dodana vrednost izdelka zaradi znanja je velika.

Institut za varilstvo ponuja sodobne procese spajanja, metode kontrole, preskušanja, in druge usluge povezane z varjenjem, razvite samostojno in tudi v okviru tega projekta redno trži in ima v Sloveniji zanje preko 700 stalnih odjemalcev.

16. 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	200.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	V okviru raziskav je bilo razvitih in pilotno implementiranih vrsta rešitev za nadzor stanja opreme, zajem in analizo visokodinamičnih pojavov, prenos podatkov v diagnostični center, rudarjenje podatkov ipd. Vse to znanje ima v povezavi s podjetjem Litostroj Power velik potencial za združevanje v skupno podjetje, ki bi nudilo storitve podpore operacijam in vzdrževanju opreme na hidroel. hkrati pa znižanje stroškov uporabnikom.

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

1. TRDAN, Uroš, GRUM, Janez:
SEM/EDS karakterizacija učinkov laserskega udarnega utrjevanja na lokalni korozijski napad Al zlitine v skoraj naravnem kloridnem

Študija obravnava vpliv laserskega udarnega utrjevanja brez zaščitne prevleke (LSPwC) na korozijsko odpornost zlitine AA6082-T651 v skoraj naravnem kloridnem okolju. Rezultati so potrdili LSPwC postopek kot učinkovito metodo, kar se odraža z nižjim anodnim raztapljanjem materiala (Esw–Ecorr), izboljšano repasivacijo (Ecorr–Erp) ter redukcijo korozijskega toka. Karakterizacija lokalnega korozijskega napada izvedena s SEM/SEI/BEI ter EDS analizo je potrdila dominanten efekt kristalografskega jamičastega napada zaradi lokalnega raztapljanja Al matrice

v neposredni bližini vključkov obogatenih z Fe. Nadalje, analize so potrdile, da LSPwC postopek učinkovito zavira tako kristalografski kot hemi-sferični jamičasti napad ter v celoti preprečuje selektivno interkristalno degradacijo materiala.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

INOVATIVNA REKONSTRUKCIJA DOJKE PO MASTEKTOMIJI

V sod. med Kliničnim oddelkom za plastično, rekon., estetsko kirurgijo in opeklino Kirurške klinike UKC Ljubljana in Lab. za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računal. tehnol., FS, Univerza v Ljubljani, je bila razvita in vpeljana v prakso nova metoda za rekon. dojke po mastektomiji.

Estetične in simetrične prsi so cilj rekon. kirurgije dojke. Pogosto je potrebno več posegov za doseganje zelenega videza. V izogib dodatnim posegom smo razvili novo metodo, s katero izdelamo kalup replike nove dojke (NBRC). NBRC kalup je izdelan na osnovi zrcalne geometrije preostale zdrave dojke, izmerjene v predop. postopku s 3D merilnikom oblike teles. Med op. posegom se kalup uporablja za oblikovanje nove dojke. Tako smo sposobni doseči boljše simetrijo, natan. pozicijo dojke na prsnem košu, sam op. poseg se izvede hitreje in varneje.

http://www.24ur.com/specialno/nega_in_zdravje/nove-metode-slovenskih-zdravnikov.html
[COBISS.SI-ID 12161051]

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
matične RO (JRO in/ali RO s
koncesijo):*

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo

Janez Grum

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

11.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/104

¹ 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](#)

² 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. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ 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, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa 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](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa 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](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja 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](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ 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 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ 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](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (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](#)

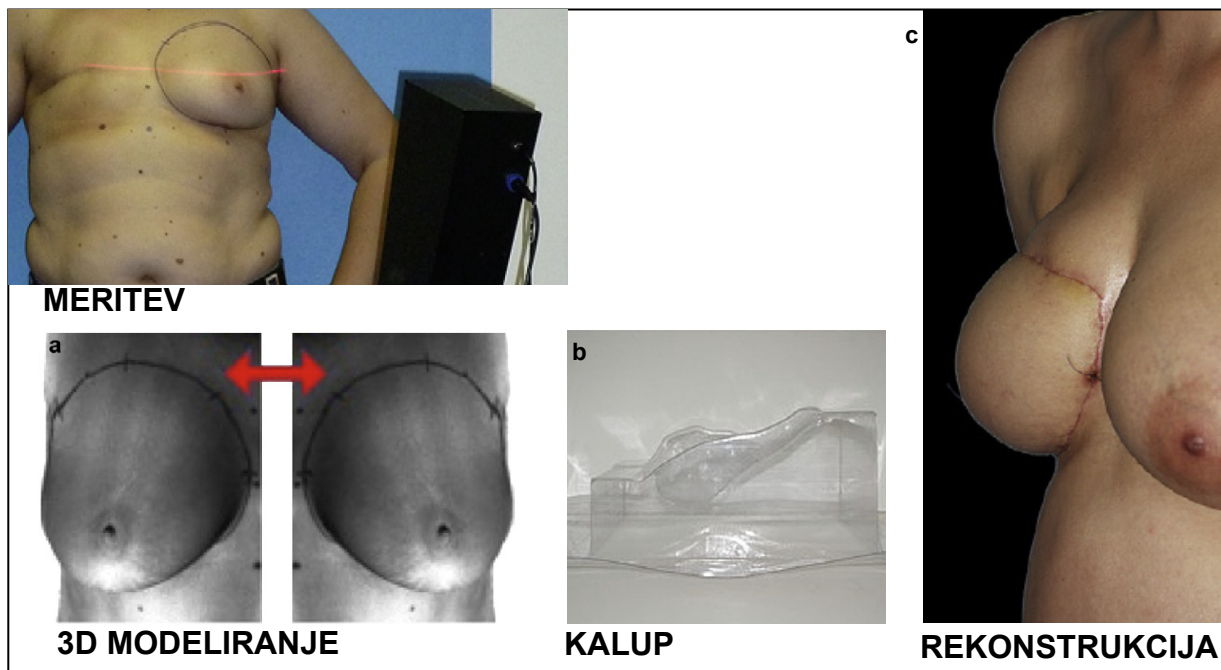
Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b
13-B7-34-67-22-13-8C-42-B0-5F-FA-D2-27-17-C2-A6-8D-D7-33-44

Priloga 1

INTERDISCIPLINARNE RAZISKAVE

Področje: MEDICINA

Dosežek 1: Inovativna rekonstrukcija dojke po mastektomiji



Klinični oddelek za plastično, rekonstrukcijsko, estetsko kirurgijo in opeklino Kirurške klinike UKCL

Laboratorij za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

Estetične in simetrične prsi so cilj rekonstrukcijske kirurgije dojke. Pogosto je potrebno več posegov za doseganje želenega videza in simetrije rekonstruiranih dojke. V izogib dodatnim korekcijskim posegom, smo na osnovi reverzibilnega inženiringa razvili novo metodo, s katero izdelamo kalup replike nove dojke (NBRC). NBRC kalup je izdelan na osnovi zrcalne geometrije preostale zdrave dojke, izmerjene v predoperativnem postopku s 3D merilnikom oblike teles. Med operativnim posegom se kalup uporablja za oblikovanje nove dojke. S to metodo smo sposobni doseči boljšo simetrijo dojke v smislu volumna in oblike, natančnejšo pozicijo dojke na prsnem košu, sam operativni poseg se izvede hitreje in varneje.

http://www.24ur.com/specialno/nega_in_zdravje/nove-metode-slovenskih-zdravnikov.html

Priloga 2

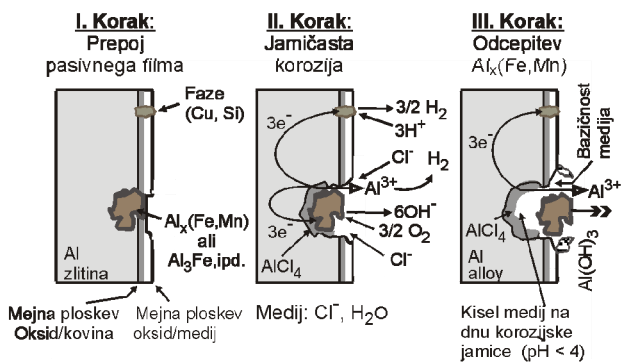
INTERDISCIPLINARNE RAZISKAVE

Področje: TEHNIKA

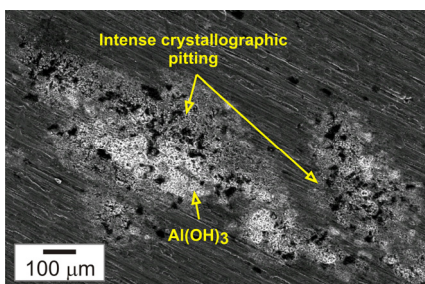
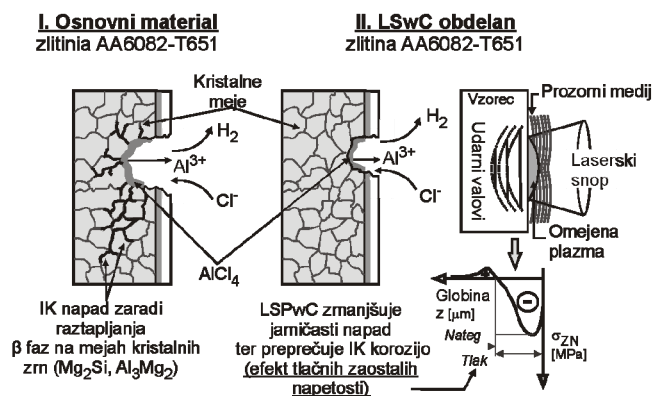
Dosežek 1: SEM/EDS karakterizacija učinkov laserskega udarnega utrjevanja na lokalni korozijski napad Al zlitine v skoraj naravnem kloridnem okolju

SHEMATSKI PRIKAZ UČINKOV PROCESA LSPwC

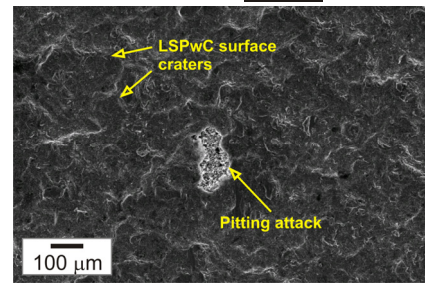
a) Odcepitev $Al_x(Fe,Mn)$ precipitativ



b) LSPwC učinek na zaviranje interkristalnega (IK) napada



OSNOVNO STANJE



PO PROCESU LSPwC

Študija obravnava vpliv laserskega udarnega utrjevanja brez zaščitne prevleke (LSPwC) na korozijsko odpornost zlitine AA6082-T651 v skoraj naravnem kloridnem okolju. Rezultati so potrdili LSPwC postopek kot učinkovito metodo, kar se odraža z nižjim anodnim raztapljanjem materiala ($E_{sw} - E_{corr}$), izboljšano repasivacijo ($E_{corr} - E_{rp}$) ter redukcijo korozijskega toka. Karakterizacija lokalnega korozijskega napada izvedena s SEM/SEI/BEI ter EDS analizo je potrdila dominanten efekt kristalografskega jamičastega napada zaradi lokalnega raztapljanja Al matrice v neposredni bližini vključkov obogatenih z Fe. Nadalje, analize so potrdile, da LSPwC postopek učinkovito zavira tako kristalografski kot hemi-sferični jamičasti napad ter v celoti preprečuje selektivno interkristalno degradacijo materiala.

Doseženi rezultati potrjujejo lasersko udarno utrjevanje, kot izredno perspektiven postopek v smeri zagotavljanja boljše korozijske odpornosti v agresivnem okolju, saj trend v industriji spodbuja nove/inovativne postopke za izboljšanje površine strojnih delov, z vidika finančnih prihrankov ter podaljšanja življenjske dobe.