

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/185



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L2-2100
<b>Naslov projekta</b>	Razvoj nove generacije trdih prevlek s pulznim naprševanjem
<b>Vodja projekta</b>	9090 Peter Panjan
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	4171
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje projekta</b>	05.2009 - 04.2012
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.04 Materiali 2.04.01 Anorganski nekovinski 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 PROJEKTA

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

SLO

Cilj projekta je bil priprava PVD-prevlek s klasičnim pulznim naprševanjem in pulznim nanašanjem pri veliki vršni moči (HIPIMS). Pulzno magnetronsko naprševanje smo uspešno uporabili za pripravo CrN trdih prevlek pri nizki temperaturi (pod 200°C). Takšne prevleke smo vpeljali v industrijsko uporabo (Iskra Avtoelektrika, Kolektor

Magma). Isto tehniko smo uspešno uporabili tudi za pripravo aluminijoksidnih prevlek.

Za delo v HIPIMS režimu smo preuredili naprševalnik s štirimi magnetronskimi izviri. S tem postopkom smo naredili nanos enojnih TiAlN in CrN plasti, ter večplastnih struktur TiAlN/CrN. Razvoj različnih nanokompozitnih in nanoplastnih trdih prevlek z HIPIMS postopkom, je bil tudi tema sodelovanja z Ecole Polytechnique (Montreal, Canada) in Lawrence Berkeley National Laboratory (USA), kjer je bil dr. Matjaž Panjan iz naše raziskovalne skupine, na podoktorskem izobraževanju.

Naredili smo razvoj nanoplastne AlTiN/TiN trde prevleke modre barve, ki je primerna za zaščito rezalnih orodij za obdelavo zelo trdih in žilavih materialov. Izrazita modra barva je posledica selektivne absorpcije in interference v vrhnji plasti z debelino nekaj nm. V letu 2012 smo za to prevleko pridobili patent št. 23538. Danes orodja zaščiteni z modro prevleko v redni proizvodnji uporablja več kot 20 podjetij v Sloveniji.

Druga prevleka, ki smo jo v zadnjih letih vpeljali v industrijsko uporabo (Unior, Singal), je t.i. črna prevleka. To je dvoplastna prevleka, ki je sestavljena iz TiAlN osnovne plasti in samomazivne vrhnje plasti na osnovi ogljika, dopiranega z ogljikom. Takšne prevleke so bile tema doktorskega dela dr. Srečka Paskvale, ki ga je uspešno zagovoril leta 2012.

Veliko pozornost smo posvetili razvoju nanokompozitnih in nanoplastnih prevlek na osnovi (Ti,Al,Si)N. V letu 2012 smo jih skupaj s podjetjem KOVINOS d.o.o., ki je bil sofinancer tega projekta) vpeljali tudi v industrijsko uporabo. Obstočnost rezalnih ploščic iz karbidne trdine, zaščitene s (Ti,Al,Si)N prevleko smo ovrednotili na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. Med frezanjem obdelovanca s trdoto okrog 57 HRC in brez uporabe hladilno-mazalnih tekočin smo spreminjali hitrost rezanja in pomik. Optimalne parametre obdelave smo določili z Taguchi metodo. Podobne teste smo naredili tudi z rezalnimi ploščicami, ki smo jih zaščitili z nanoplastno AlTiN/TiN (modro) prevleko.

V okviru projekta smo študirali tudi defekte, ki nastanejo v trdih prevlekah med njihovo rastjo, in ki škodljivo vplivajo na njihovo korozijsko obstojnost in tribološke lastnosti. Z fokusiranim ionskim curkom, ki je integriran v vrstični elektronski mikroskop, smo naredili serijo rezov skozi izbrani defekt. Iz SEM posnetkov posamznih rezov smo naredili 3D rekonstrukcijo različnih defektov. To delo, ki smo ga naredili v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo iz Maribora, je tudi tema doktorske naloge mladega raziskovalca Petra Gselmana.

ANG

The aim of the proposed project was the preparation and characterization of hard PVD coatings by conventional pulsed and »high power pulsed magnetron sputtering« (HPPMS) techniques. We successfully used the pulsed magnetron sputtering technique for deposition of CrN hard coatings at low deposition temperature (below 200 °C). Such coatings were implemented in industrial use (Iskra Avtoelektrika, Kolektor Magma). The same technique was applied also for successful preparation of alumina coatings.

We also developed the deposition system which can operate in high-power pulsed magnetron sputtering mode. Using this process we deposited single-layer TiAlN, CrN and multilayer TiAlN/CrN coatings. Development of several nanocomposite hard coatings, prepared by HIPIMS, was also the topic of collaboration with Ecole Polytechnique (Montreal, Canada) and Lawrence Berkeley National Laboratory (USA), where Dr. Matjaž Panjan from our research group spent his post-doctoral stay.

We developed a new nanolayer AlTiN/TiN hard coating with a blue color, which is appropriate for protection of cutting tools to machine very hard and tough materials. The distinct blue color is the consequence of selective absorption and interference in the upper few nanolayers. In 2012 we acquired the patent for blue coating (patent no. 23538). Today, this coating is used in daily production in more than 20 companies in Slovenia.

The second coating implemented in industrial use (Unior, Singal) is the so-called black coating. This is a double-layer coating consisting of a TiAlN base layer and a self-lubricating top layer of nitrogen-doped amorphous carbon. Such coatings were the topic of the PhD thesis of Dr. Srečko Paskvale, which was defended in the year 2012.

We dedicated a lot of work to the nanocomposite and nanostructure coatings based on (Ti,Al,Si)N. In 2012 the such coating was successfully implemented in industrial use in cooperation with company KOVINOS d.o.o. (beneficiary of this project). Lifetime of cemented carbide cutting inserts coated by the (Ti,Al,Si)N were evaluated in the Faculty for mechanical engineering in Ljubljana. During milling of a workpiece with a hardness of 57 HRC and without cooling liquids we changed both the cutting speed and feed. Optimal machining parameters were determined using the Taguchi method. Identical tests were made also by the cutting inserts, protected by the nanolayer AlTiN/TiN (blue) coating.

In the framework of this project we studied the growth defects which arise during deposition of hard coatings and have a detrimental influence on corrosion resistance and tribological properties. Using the focused ion beam, integrated in a conventional scanning electron microscope, we made a series of cuts through the defect. Images of individual cuts were made, to be followed by a 3D reconstruction of several defects. This work was done in collaboration with the Faculty of mechanical engineering from Maribor, and this work is the topic for one of our young researcher's PhD thesis (Peter Gselman).

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

- Za pripravo nizekotemperaturnih trdih PVD-prevlek smo uporabili postopek pulznega naprševanja. Takšne prevleke želimo uporabiti za zaščito temperaturno občutljivih materialov, kot so jekla, popuščana pri nizki temperaturi (npr. OCR12, 100Cr6) ter Al in Cu-zlitine. Ugotovili smo, da lahko s pulznim naprševanjem hkrati dosežemo visoko stopnjo ionizacije in nizko temperaturo nanašanja. Uporabili smo dva magnetronska izvira, ki izmenoma delujeta kot anoda oz. katoda. Za naprševanje CrN smo uporabili unipolarno obliko pulzov. Parametri pulznega nanašanja so bili naslednji: frekvenca 50 kHz, čas mirovanja (brez napetosti) 50 %, napetost na tarči 500 V, povprečna moč na tarči 2500 W, pulzna prednapetost -35 V. Pri teh parametrih nanašanja temperatura podlag ni preseгла 200 °C. Naredili smo kompletno karakterizacijo strukturnih, mikrostrukturnih in triboloških lastnosti takšnih prevlek in jih uspešno preizkusili pri zaščiti orodij za stiskanje feritnih prahov (Kolektor Magma) in pri zaščiti orodij za oblikovanje plastike (DIFA, Škofja Loka). Rezultati teh raziskav so objavljeni v zbornikih dveh konferenc: COBISS.SI-ID [22687271](#), COBISS.SI-ID [23006247](#)

S pulznim naprševanjem smo naredili tudi več nanosov aluminij oksidnih prevlek. Za razliko od pulznega naprševanja nizekotemperaturnega CrN, kjer smo uporabili unipolarno obliko pulzov, smo za nanašanje Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plasti uporabili bipolarno obliko pulzov. Pomembna prednost takšnega načina nanašanja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prevlek je ta, da je proces nanašanja prevlek v reaktivni atmosferi bistveno bolj stabilen kot pri klasičnem naprševanju, saj se tako izognemo t. i. »zastropitvi« tarče (tj. nastajanju reakcijskih produktov na površini tarče) in posledično prebojem. Skupaj z kolegi z Instituta Vinča iz Beograda, smo se ukvarjali z lasersko modifikacijo površine TiAlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prevlek. Ugotovili smo, da po določenem številu pulzov oblikujejo na površini prevleke sevalne poškodbe v obliki kraterjev, nastane pa tudi brazdasta struktura z periodo v submikrometrskem področju. Rezultat teh raziskav je ena znanstvena publikacija [COBISS.SI-ID [26019623](#)].

- V okviru projekta smo se intenzivno ukvarjali z razvojem postopka magnetronskega naprševanja pri veliki vršni. Bistvo postopka je specifično napajanje, s katerim generiramo pulze vršne moči okoli megavata, pri čemer pa je njihovo trajanje le nekaj deset mikrosekund (povprečna moč na tarči primerljiva tisti, ki jo uporabimo pri klasičnem DC postopku naprševanja). Pri takšni gostoti moči se material tarče ob uparitvi skoraj v celoti ionizira, kar omogoča nastanek nanokristalinične mikrostrukture in odlično adhezijo. Pulzu sledi nekaj milisekund dolga prekinitve, tako da ostane temperatura podlage relativno nizka. S tem postopkom smo uspeli pripraviti plasti TiAlN, CrN in večplastno strukturo TiAlN/CrN. Naredili smo kompletno karakterizacijo strukturnih in mikrostrukturnih lastnosti takšne prevleke. S pulznim naprševanjem pri velikih močeh se je intenzivno ukvarjal naš sodelavec dr. Matjaž Panjan, ki je bil v letu 2011 na 10-mesečnem podoktorskem izpopolnjevanju na École Polytechnique, Département de Génie Physique, Montreal, Kanada. Na temo priprave nanostrukturnih prevlek s HIPIMS tehniko in njihove uporabe je na omenjeni instituciji imel 4 vabljenih predavanj: COBISS.SI-ID [25530663](#), COBISS.SI-ID [25530407](#), COBISS.SI-ID [25530151](#), COBISS.SI-ID [25530919](#). Z isto problematiko se Dr. Matjaž Panjan je bil ob podpori Fulbrightove štipendije na podoktorskem izpopolnjevanju tudi na Lawrence Berkeley National Laboratory v ZDA. Raziskoval je plazemske procese, ki se odvijajo med sto mikrosekundami dolgimi pulzi pri postopku magnetronskega naprševanja pri visoki vršni moči. S pomočjo visokohitrostnih kamer, masne spektroskopije in ionskih kolektorjev je študiral plazemske strukture, ki nastanejo v bližini katode in potujejo v smeri  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ . Raziskave plazemskih struktur oz. t. i. ionizacijskih con so bistvene za razumevanje delovanja magnetronske razelektritve. Te cone so odgovorne za transport in prostorsko porazdelitev delcev pri pulznem in klasičnem magnetronskem naprševanju. Rezultat teh raziskav je znanstvena publikacija objavljena v Appl. Phys. Lett. (COBISS.SI-ID [26294055](#)).

- V okviru projekta smo se intenzivno ukvarjali za razvojem nanostrukturnih (nanoplastnih in nanokompozitnih) prevlek. Eden od takšnih sistemov je (Ti,Al,Si)N prevleka, ki smo jo v preteklem letu preko podjetja KOVINOS (ki je sofinancer tega projekta) uspešno vpeljali v industrijsko uporabo. Nastanek nanokompozitne prevleke je možen le, če so izpolnjeni kinetični pogoji spontanega nastanka ločenih faz. V našem primeru so to zrna TiN ali TiAlN velikosti reda 10 nm v matrici amorfnega Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Prevleko smo natančno analizirali s TEM mikroskopijo.

V raziskave smo vpeljali tudi uporabo t. i. trikotnih tarč. Ideja je v tem, da običajno sicer monolitno tarčo nadomestimo s parom trikotnih tarč različne sestave, kar omogoča nanos gradienta sestave po višini komore. S tem v enem procesu nanesimo množico prevlek različne sestave. Najprej smo ta pristop uporabili na paru Cr/Al, ki smo ga dodali obstoječim klasičnim tarčam TiSi. S tem smo nanесли prevleke v razponu sestav od TiCrSiN do TiAlSiN.

- V okviru projekta smo se ukvarjali tudi s razvojem nanostrukturnih prevlek AlTiN/TiN modre barve. Raziskave so bile usmerjene v študij mehanizmov, ki vodijo do nastanka barve. Ugotovili smo, da je izrazita modra barva je posledica selektivne absorpcije in interference v zgornjih nekaj nanoplasteh ter olajša zasledovanje obrabe orodja. Rezultat teh raziskav je patent *patent SI 23538 A* (COBISS.SI-ID [24447271](#)) in članek, ki je bil objavljen v zborniku SVC konference (COBISS.SI-ID [26362151](#)). Preko podjetja KOVINOS d.o.o., ki je sofinancer tega projekta, smo modre prevleke uspešno vpeljali v industrijsko proizvodnjo. Danes modro prevleko v proizvodnji uporablja že več kot 20 podjetij v Sloveniji. Nanoplastne prevleke na osnovi TiAlN so bile tudi tematika doktorske disertacije, ki jo je dr. Matjaž Panjan zagovarjal leta 2010

(Physical and chemical properties of nanolayered metal-nitride coatings prepared by sputtering, COBISS.SI-ID [251813632](#)). V njej je razložil vpliv parametrov priprave nastrukturo nanoplasti, kar je potrdil tako eksperimentalno kot z računalniško simulacijo. Rezultate raziskav je objavil v 4 znanstvenih publikacijah: COBISS.SI-ID [25571367](#), COBISS.SI-ID [852574](#), COBISS.SI-ID [23341863](#), COBISS.SI-ID [22831143](#).

Na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Ljubljani so sodelavci na projektu naredili sistematične teste obrabe frezal zaščiteneh z modro nanostrukturno prevleko pri obdelavi martenzitnega nerjavečega jekla, ki je bilo zakaljeno na 52 HRC. Te raziskave so bile narejene v sodelovanju s podjetjem Polident (Volčja Draga pri Novi Gorici), kjer uporabljajo postopke frezanja pri izdelavi matric za izdelavo zob.

- Na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani smo naredili sistematične meritve obstojnosti testnih rezalnih ploščic iz karbidne trdine, ki smo jih zaščitili s trdo prevleko na osnovi (Ti,Al,Si)N. Med frezanjem obdelovanca s trdoto okrog 57 HRC, brez uporabe hladilno-mazalnih tekočin, smo spreminjali hitrost rezanja in pomik. Merili smo silo rezanja, hrapavost površine obdelovanca, ter zasledovali obrabo ploščic. Optimalne parametre obdelave smo določili po Taguchijevi metodi. Enak preizkus smo naredili tudi z rezalnimi ploščicami, ki smo jih zaščitili z nanoplastno prevleko na osnovi AlTiN/TiN (»modra prevleka«). Testi so pokazali, da sta obe prevleki obrabno obstojnejši v primerjavi s klasičnimi na osnovi TiAlN. O rezultatih teh raziskav, objavljenih v zbornikih, smo poročali na treh mednarodnih konferencah [COBISS.SI-ID [12011035](#), COBISS.SI-ID [25083175](#), COBISS.SI-ID [25083431](#)] in v elaboratu [COBISS.SI-ID [12146971](#)].

Priprava in karakterizacija nanstrukturnih prevlek je tudi tema dveh doktorskih del mladih raziskovalcev iz tujine: Halila Çalışkana (Univerza v Bartnu, Turčija) in Aleksandra Miletića (Univerza v Novem Sadu, Srbija). Oba sta večji del raziskav naredila v našem laboratoriju.

- Tehnološko so zanimive tudi prevleke z nizkim koeficientom trenja. Leta 2012 je dr. Srečko Paskvale zagovarjal doktorsko disertacijo »Zaščitne prevleke na osnovi ogljika, narejene s fizikalnimi postopki nanašanja iz parne faze« (COBISS.SI-ID [1246047](#)), v kateri je analiziral tribološke lastnosti vrste prevlek z nizkim koeficientom trenja, pripravljenih z različnimi postopki nanašanja. Prevleko sestavlja nosilna plast TiAlN in samomazivna plast amorfnega ogljika z dodanim dušikom. Primerna je predvsem za tiste postopke obdelave, kjer je velik problem trenje med orodjem in obdelovancem. Odlične rezultate smo dosegli pri zaščiti orodij, ki jih v Uniorju (oddelek Sinter) uporabljajo v proizvodnji izdelkov s stiskanjem kovinskih prahov. Z orodji, ki so zaščitena s »črno prevleko«, naredijo 8-krat več izdelkov v primerjavi s tistimi, ki so zaščitena s klasičnimi PVD-prevlekami. Odlične rezultate smo dosegli tudi pri zaščiti orodij za vlek in štančanje kositrane pločevine, ki jih v podjetju Vogel&Noot uporabljajo v proizvodnji embalaže za prehransko industrijo.

Naredili smo poglobljeno strukturno in mikrostrukturno analizo obeh plasti, ter izmerili obrabno obstojnost in koeficient trenja v odvisnosti od parametrov priprave prevleke in parametrov meritve. O rezultatih raziskav smo poročali v dveh predavanjih (eno je bilo vabljeno) na mednarodnih konferencah [COBISS.SI-ID [25153831](#), COBISS.SI-ID [24588839](#)]. Na temo "črnih prevlek" je bila objavljena tudi ena znanstvena publikacija [COBISS.SI-ID [24806183](#)].

- Pri aplikaciji trdih prevlek je eden od večjih problemov pojav defektov, ki nastanejo med rastjo trdih prevlek in negativno vplivajo na korozijsko obstojnost in tribološke

lastnosti (povečano trenje, sprejemanje materiala). V preteklem letu smo razvili novo tehniko za študij defektov, in sicer najprej prevleko izpostavimo intenzivnemu ionskemu jedkanju. V ta namen uporabimo tehniko razelektivne optične emisijske spektroskopije (GDOES), ki je sicer namenjena analizi kemijske sestave. S to tehniko izdelamo krater, na katerem pa je močno povečan kontrast defektov, ki jih nato lahko opazujemo z vrstično elektronsko mikroskopijo. To delo poteka v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo Univerze v Mariboru in je tema doktorata našega mladega raziskovalca Petra Gselmana. S pomočjo naprave FIB (fokussirani ionski curek), vgrajene v konvencionalen elektronski mikroskop, smo naredili serijo rezov skozi defekt v prevleki. Posamezne reze smo poslikali in na podlagi teh slik izvedli 3D-rekonstrukcijo strukture različnih defektov (kraterji, sferične kapljice, pore). Ugotovili smo, da je v povprečju volumen analiziranih defektov trikrat manjši od volumna poškodovane podlage, ki je bila zaradi defektov izpostavljena korozivnemu mediju. Rezultat raziskav so tri znanstvene publikacije: COBISS.SI-ID [25571623](#), COBISS.SI-ID [22830887](#), COBISS.SI-ID [16153622](#).

- Na SF Univerze v Mariboru so s tehniko FIB (jedkanje s fokusiranim ionskim curkom) so v polirane podlage iz jekla, izdelali kanale mikrometrskih dimenzij. Z vrstično mikroskopijo v kombinaciji s FIB, smo analizirali razliko v uniformnosti prevleke na stenah in dnu takšnih kanalov. Na tako pripravljene podlage smo z klasičnim in HPPMS postopkom nanесли nanoplastne prevleke z namenom, da ugotovimo kako je prekritost sten v takšnih luknjah odvisna od načina naprševanja.

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

Raziskovalno delo na predlaganem projektu je potekalo v okviru osmih delovnih sklopov. Pri realizaciji teh nalog so sodelovale raziskovalne skupine na Institutu »Jožef Stefan«, Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani, Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru in tehnologi iz podjetja KOVINOS. Vse naloge, ki so bile načrtovane, so bile v celoti izpeljane in v nekateri točkah celo presežene. Tako smo razvili naslednje postopke:

- pulzno naprševanje nizektemperaturnega CrN (takšne prevleke smo vpeljali v industrijsko uporabo)
- pulzno naprševanje prevlek na osnovi aluminijevega oksida; naredili smo kompletno karakterizacijo takšne prevleke
- pulzni postopek naprševanja pri veliki vršni moči (HIPIMS); naredili smo serijo depozicij nanoplastnih struktur na osnovi CrN/TiAlN in jihokarakterizirali; s to problematiko se je na enoletnem podoktorskem izpopolnjevanju na Politehniku v Montrealu (Kanada) ukvarjal dr. Matjaž Panjan. Isti raziskovalec je bil leta 2012 ob podpori Fulbrightove štipendije na podoktorskem izpopolnjevanju tudi na Lawrence Berkeley National Laboratory v ZDA, kjer je raziskoval plazemske procese, ki se odvijajo med sto mikrosekundami dolgimi pulzi pri postopku magnetronskega naprševanju pri visoki vršni moči.
- Postopek za nanašanja nanoplastnih AlTiN/TiN prevlek; to t.i. modro prevleko smo preko podjetja KOVINOS d.o.o vpeljali v industrijsko uporabo; leta 2012 smo pridobili slovenski patent SI 23538 A.
- Postopek nanašanja nanoplastne in nanokompozitne prevleke na osnovi (Ti,Al,Si) N. Prevleko smo preko podjetja KOVINOS d.o.o. pred dobrim letom dni vpeljali v industrijsko uporabo.
- Razvili smo tudi postopek nanašanja t.i. črne prevleke, ki je kombinacija spodnje



TiAlN plasti in vrhnje plasti na osnovi ogljika. Razvoj te prevleke in njena karakterizacija je bila tema doktorskega dela Srečka Paskvale. S to prevleko smo uspešno zaščitili orodja za stiskanje kovinskih prahov (UNIOR, Koletor Mgma).

Naredili smo tudi sistematične teste obrabe frezal zaščitnih z modro nanostrukturno prevleko pri obdelavi martenzitnega nerjavečega jekla (52 HRC). Na FS v Ljubljani smo naredili tudi sistematične meritve obstojnosti testnih rezalnih ploščic iz karbidne trdine, ki smo jih zaščitili s trdo prevleko na osnovi (Ti,Al,Si)N in AlTiN/TiN. Priprava in karakterizacija nanostrukturnih prevlek je tudi temadoktorskih del mladih raziskovalcev iz tujine: Halila Çalışkana (Univerza v Bartinu, Turčija) in Aleksandra Miletića (Univerza v Novem Sadu, Srbija).

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

Ni bilo sprememb programa raziskovalnega projekta.

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

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	26294055	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Plazemski sij pri magnetronskem naprševanju pri veliki vršni moči	
		<i>ANG</i> Plasma flares in high power impulse magnetron sputtering	
	Opis	<i>SLO</i> S hitro kamero smo posneli svetlobne sije okrog ionizacijskih con, ki nastanejo med HIPIMS razprševanjem tarče. Izmerili smo, da se svetlobni sij širi s hitrostjo okrog 20000 m/s kar nakazuje, da je jakost lokalnega tangencialnega električnega polja okrog 2000 V/m. Na razdalji 10 mm ali več od tarče, kjer je električno polje zelo šibko, plazemski sij usmerja magnetno polje B.	
		<i>ANG</i> Self-organized ionization zones and associated plasma flares were recorded with fast cameras inside-on view. Flare velocities were estimated to be about 20 000 m/s suggesting that the local tangential field E about 2000 V/m based on a concept where flare-causing electrons are initially ejected by EXB drift. At distances of 10 mm and greater from the target, where the electric field is very small, plasma flares are guided by the magnetic field B.	
	Objavljeno v	American Institute of Physics.; Applied physics letters; 2012; Vol. 101, no. 22; str. 224102-1-224102-6; Impact Factor: 3.844; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.516; A': 1; WoS: UB; Avtorji / Authors: Ni Pavel A., Hornschuch Christian, Panjan Matjaž, Anders André	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	24806183	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Tribološke lastnosti diamantu podobnih prevlek nanosenih z anodnim ionskim izvorom in z magnetronskim naprševanjem	
		<i>ANG</i> Tribological properties of diamond-like carbon coatings prepared by anode layer source and magnetron sputtering	
	Opis	<i>SLO</i> V tem članku smo primerjali mehanske in tribološke lastnosti Cr/DLC prevlek, ki smo jih naredili z anodnim ionskim izvirom (ALS), s tistimi, ki smo jih pripravili z naprševanjem. Naredili smo kompletno karakterizacijo sistema in določili optimalne pogoje nanašanja za različne aplikacije. Poudarek je bil na določitvi vpliva parametrov nanašanja na mehanske in tribološke lastnosti prevlek. Metoda pin-on-disk je pokazala, da imata DLC prevleka, pripravljena z ALS boljše tribološke lastnosti od tiste, ki smo jo pripravili z naprševanjem.	

		<p>In this work mechanical and tribological properties of Cr/DLC coatings, deposited by anode layer source (ALS) were studied and compared to TiAlN/DLC coatings, deposited by magnetron sputtering. We made a complete characterization of the system and established optimal deposition parameters for various applications. The emphasis was given on evaluation of the influence of deposition parameters on the mechanical and tribological properties of the coatings. Pin-on-disk experiments showed that the DLC coatings prepared by ALS method possess better tribological properties in comparison with those prepared by magnetron sputtering.</p>
	Objavljeno v	<p>Elsevier Sequoia; Proceedings of the Twelfth International Conference on Plasma Surface Engineering, Conference and Exhibition, PSE 2010, September 13-17, 2010, Garmisch-Partenkirchen, Germany; Surface &amp; coatings technology; 2011; Vol. 205, suppl. 2; str. S99-S102; Impact Factor: 1.867; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.183; A': 1; WoS: QG, UB; Avtorji / Authors: Paskvale Srečko, Kahn Markus, Čekada Miha, Panjan Peter, Waldhauser Wolfgang E., Podgornik Bojan</p>
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	15272214 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Laserska modifikacija večplastne strukture TiAlN/TiN s femtosekundnim laserjem</p> <p>ANG Femtosecond laser modification of multilayered TiAlN/TiN coating</p>
	Opis	<p>SLO Večplastno strukturo TiAlN/TiN, ki smo jo nanjali na jekleno podlago, smo obsevali z 200 fs pulzi laserske svetlobe z valovno dolžino 775 nm. Pri jakosti svetlobnega toka 1.16 J/cm<sup>2</sup> so se na površini prevleke zgodile različne spremembe: od lepo oblikovanih paralelnih struktur (brazd) do globokih kraterjev. Parametre laserske ablacije smo določili na osnovi gostote toka svetlobe in števila pulzov. Prag za poškodbo pri enem pulzu je bil 0.66 J/cm<sup>2</sup>, medtem ko je bil inkubacijski faktor za nastanek poškodb 0.642. Pri manjših gostotah svetlobnega toka so nastale brazde s periodo 580 nm. Brazde opazimo na robu kraterja tudi v primeru, kadar je v centru le-tega prišlo do močne ablacije.</p> <p>ANG A target of multilayered TiAlN/TiN coating deposited on steel was irradiated by 200 fs pulses of a Ti:Sapphire laser, operating at 775 nm. Laser fluences of 1.16 J cm<sup>-2</sup> to 116 J cm<sup>-2</sup> produced a range of modifications, from well defined parallel surface structures on the coating, to deep craters in the substrate. Parameters for coating ablation were determined in terms of laser fluence and pulse count. A single-pulse damage threshold was found to be 0.66 J cm<sup>-2</sup> and the damage incubation factor 0.642. At lower laser fluences formation of laser induced parallel surface structures was evident, beginning from the first pulse, with a periodicity of about 580 nm. These structures remained and were pronounced at the rim of the damage spot even when the coating was completely ablated in the centre.</p>
	Objavljeno v	<p>Elsevier Sequoia; Surface &amp; coatings technology; 2011; Vol. 206, no 2/3; str. 411-416; Impact Factor: 1.867; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.183; A': 1; WoS: QG, UB; Avtorji / Authors: Gaković Biljana, Radu Cazan, Zamfirescu M., Radak Bojan, Trtica Milan, Petrović Suzana, Panjan Peter, Zupanič Franc, Ristoscu C., Mihailescu Ion N.</p>
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25571623 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Gostota defektov v različnih PVD prevlekah narejenih z naprševanjem</p> <p>ANG Surface density of growth defects in different PVD hard coatings prepared by sputtering</p>



Opis	SLO	Nodularni defekti, ki jih najdemo v vseh trdih prevlekah, negativno vplivajo na njihove tribološke lastnosti, zato moramo njihovo koncentracijo zmanjšati na minimum. Pripravili smo klasične TiAlN enojne plasti in nanoplastne strukture tipa TiAlN/TiN in TiAlN/CrN. S 3D-profilometrijo smo zasledovali topografijo prevlek iz več sto depozicij. Analizirali smo tudi vpliv defektov na globinsko ločljivost GDOES spektroskopije in na pojav jamičaste korozije.
	ANG	Growth defects are present in all PVD hard coatings. They have detrimental influence on their tribological properties. In order to improve the tribological properties of PVD hard coatings it is important to minimize the concentration of growth defects. Conventional TiAlN single layer as well as AlTiN/TiN and TiAlN/CrN nanolayer coatings. By means of 3D-profilometry we performed several measurements and detailed analysis on a series of samples from the several hundred production batches. The influence of growth defects on GDOES (glow-discharge optical emission spectrometry) depth resolution and pitting corrosion was also studied.
Objavljeno v	Pergamon Press; Proceedings of the 13th Joint Vacuum Conference, June 20-24, 2010, Trbské Pleso High Tatras, Slovakia; Vacuum; 2012; Vol. 86, no. 6; str. 794-798; Impact Factor: 1.317; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.27; WoS: PM, UB; Avtorji / Authors: Panjan Peter, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Kek-Merl Darja, Zupanič Franc, Čurković Lidija, Paskvale Srečko	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5. COBISS ID	23341863	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Simulacija večplastnih struktur v prevlekah narejenih z magnetronskim naprševanjem
	ANG	Simulation of a multilayer structure in coatings prepared by magnetron sputtering
Opis	SLO	Večplastne PVD prevleke pripravimo tako, da podlage na katere jih nanašamo, rotirajo mimo različnih izvirov za naprševanje. Trajektorja podlag je v primeru večkratne rotacije zelo kompleksna. Odvisna je od stopnje rotacije, začetne pozicije podlage in geomrtrijskih parametrov vakuumske naprave. Lastnosti večplastne prevleke so zelo odvisne od zaporedja in debeline posameznih plasti. Razvili smo računalniški program, ki nam omogoča da vnaprej določimo hitrosti nanašanja, sekvenco in debelino posameznih plasti. V tem delu smo primerjali večplastne strukture, ki smo jih dobili s računalniško simulacijo, z TEM posnetki prereza napršenih struktur in ugotovili, da se zelo dobro ujemata.
	ANG	Multilayer PVD coatings are obtained when substrates rotate along the targets of different materials. The trajectories of the substrates are therefore rather complex and the multilayer structure depends on the number of rotational axes, the initial position of substrates and the geometrical parameters of the deposition system. The properties of multilayer coatings are influenced by the thickness and the sequence of layers. Using the simulation we can calculate the deposition rate, the sequence and the thickness of the individual layers for any particular rotation of the sample. In present paper the simulated multilayer structures were compared to deposited TiAlN/CrN multilayer coatings. Samples with a different number of rotational axes and different initial positions were prepared for transmission electron microscopy and compared to the simulation. The simulated multilayer structures agree well with the deposited structures.
Objavljeno v	Elsevier Sequoia; Proceedings of the CMCTF 2009, 36th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, 27 April-01 May 2009, San Diego, California; Surface & coatings technology; 2009; Vol. 204, no. 6/7; str. 850-853; Impact Factor: 1.793; Srednja vrednost revije / Medium	

	Category Impact Factor: 1.184; A': 1; Avtorji / Authors: Panjan Matjaž, Peterman Tomaž, Čekada Miha, Panjan Peter
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

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

Družbeno-ekonomski dosežek																							
1.	<table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>251813632</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td><i>SLO</i></td> <td>Fizikalne in kemijske lastnosti nanoplastnih struktur na osnovi kovinskih nitridov narejenih z naprševanjem</td> </tr> <tr> <td><i>ANG</i></td> <td>Physical and chemical properties of nanolayered metal-nitride coatings prepared by sputtering</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td><i>SLO</i></td> <td>Nanoplastne prevleke na osnovi TiAlN so bile tudi tematika doktorske disertacije, ki jo je dr. Matjaž Panjan zagovarjal v preteklem letu. V njej je razložil vpliv parametrov priprave na strukturo nanoplasti, kar je potrdil tako eksperimentalno kot z računalniško simulacijo.</td> </tr> <tr> <td><i>ANG</i></td> <td>The TiAlN-based nanolayers were the topics of the PhD thesis of Dr Matjaž Panjan, which was defended in the previous year. In his work he explained the influence of deposition parameters on nanolayer structure, which he proved both experimentally and using a computer simulation.</td> </tr> <tr> <td>Šifra</td> <td colspan="2">D.09 Mentorstvo doktorandom</td> </tr> <tr> <td>Objavljeno v</td> <td colspan="2">[M. Panjan]; 2010; XII, 167 str.; Avtorji / Authors: Panjan Matjaž</td> </tr> <tr> <td>Tipologija</td> <td colspan="2">2.08 Doktorska disertacija</td> </tr> </table>	COBISS ID	251813632	Vir: COBISS.SI	Naslov	<i>SLO</i>	Fizikalne in kemijske lastnosti nanoplastnih struktur na osnovi kovinskih nitridov narejenih z naprševanjem	<i>ANG</i>	Physical and chemical properties of nanolayered metal-nitride coatings prepared by sputtering	Opis	<i>SLO</i>	Nanoplastne prevleke na osnovi TiAlN so bile tudi tematika doktorske disertacije, ki jo je dr. Matjaž Panjan zagovarjal v preteklem letu. V njej je razložil vpliv parametrov priprave na strukturo nanoplasti, kar je potrdil tako eksperimentalno kot z računalniško simulacijo.	<i>ANG</i>	The TiAlN-based nanolayers were the topics of the PhD thesis of Dr Matjaž Panjan, which was defended in the previous year. In his work he explained the influence of deposition parameters on nanolayer structure, which he proved both experimentally and using a computer simulation.	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom		Objavljeno v	[M. Panjan]; 2010; XII, 167 str.; Avtorji / Authors: Panjan Matjaž		Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
COBISS ID	251813632	Vir: COBISS.SI																					
Naslov	<i>SLO</i>	Fizikalne in kemijske lastnosti nanoplastnih struktur na osnovi kovinskih nitridov narejenih z naprševanjem																					
	<i>ANG</i>	Physical and chemical properties of nanolayered metal-nitride coatings prepared by sputtering																					
Opis	<i>SLO</i>	Nanoplastne prevleke na osnovi TiAlN so bile tudi tematika doktorske disertacije, ki jo je dr. Matjaž Panjan zagovarjal v preteklem letu. V njej je razložil vpliv parametrov priprave na strukturo nanoplasti, kar je potrdil tako eksperimentalno kot z računalniško simulacijo.																					
	<i>ANG</i>	The TiAlN-based nanolayers were the topics of the PhD thesis of Dr Matjaž Panjan, which was defended in the previous year. In his work he explained the influence of deposition parameters on nanolayer structure, which he proved both experimentally and using a computer simulation.																					
Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom																						
Objavljeno v	[M. Panjan]; 2010; XII, 167 str.; Avtorji / Authors: Panjan Matjaž																						
Tipologija	2.08 Doktorska disertacija																						
2.	<table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>25153831</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td><i>SLO</i></td> <td>Tribološke lastnosti TiAlN/a-CN prevlek</td> </tr> <tr> <td><i>ANG</i></td> <td>Tribological properties of TiAlN/a-CN coating</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td><i>SLO</i></td> <td>TiAlN/a-CN dvoplastna struktura združuje prednosti zelo trde in termično stabilne TiAlN spodnje plasti in odlične drsne lastnosti vrhne plasti na osnovi ogljika. Tribološke lastnosti takšne prevlek so zelo odvisne od načina njene priprave in parametrov nanašanja. V tem predavanju so bili predstavljeni rezultati mikrostrukturnih, strukturnih in triboloških lastnosti TiAlN/a-CN prevlek. Predstavili smo tudi rezultate industrijskih preizkusov orodij za stiskanje kovinskih prahov, ki smo jih zaščitili s "črno" TiAlN/a-CN prevleko. Obstočnost takšnega orodja se je v primerjavi z neprekritim znatno povečala.</td> </tr> <tr> <td><i>ANG</i></td> <td>TiAlN/a-CNx double layer coating combines the advantages of a very hard, thermally stable TiAlN with the sliding and lubricating properties of the top a-CNx layer. The tribological performance of such coating strongly depends on the deposition method and deposition parameters. In this lecture some results of structural, microstructural and tribological characterization of TiAlN/a-CNx coatings were presented. We also presented some results of performance test of powder compaction tools protected with such coating in industrial production. A significant improvement of tool lifetime was obtained.</td> </tr> <tr> <td>Šifra</td> <td colspan="2">B.04 Vabljen predavanje</td> </tr> <tr> <td>Objavljeno v</td> <td colspan="2">TECOS, Slovenian Tool and Die Development Centre; Conference proceedings; 2011; Str. 337-342; Avtorji / Authors: Panjan Peter, Paskvale Srečko, Gselman Peter, Zupanič Franc, Bončina Tonica, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Kek-Merl Darja, Fišinger B.</td> </tr> <tr> <td>Tipologija</td> <td colspan="2">1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)</td> </tr> </table>	COBISS ID	25153831	Vir: COBISS.SI	Naslov	<i>SLO</i>	Tribološke lastnosti TiAlN/a-CN prevlek	<i>ANG</i>	Tribological properties of TiAlN/a-CN coating	Opis	<i>SLO</i>	TiAlN/a-CN dvoplastna struktura združuje prednosti zelo trde in termično stabilne TiAlN spodnje plasti in odlične drsne lastnosti vrhne plasti na osnovi ogljika. Tribološke lastnosti takšne prevlek so zelo odvisne od načina njene priprave in parametrov nanašanja. V tem predavanju so bili predstavljeni rezultati mikrostrukturnih, strukturnih in triboloških lastnosti TiAlN/a-CN prevlek. Predstavili smo tudi rezultate industrijskih preizkusov orodij za stiskanje kovinskih prahov, ki smo jih zaščitili s "črno" TiAlN/a-CN prevleko. Obstočnost takšnega orodja se je v primerjavi z neprekritim znatno povečala.	<i>ANG</i>	TiAlN/a-CNx double layer coating combines the advantages of a very hard, thermally stable TiAlN with the sliding and lubricating properties of the top a-CNx layer. The tribological performance of such coating strongly depends on the deposition method and deposition parameters. In this lecture some results of structural, microstructural and tribological characterization of TiAlN/a-CNx coatings were presented. We also presented some results of performance test of powder compaction tools protected with such coating in industrial production. A significant improvement of tool lifetime was obtained.	Šifra	B.04 Vabljen predavanje		Objavljeno v	TECOS, Slovenian Tool and Die Development Centre; Conference proceedings; 2011; Str. 337-342; Avtorji / Authors: Panjan Peter, Paskvale Srečko, Gselman Peter, Zupanič Franc, Bončina Tonica, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Kek-Merl Darja, Fišinger B.		Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)	
COBISS ID	25153831	Vir: COBISS.SI																					
Naslov	<i>SLO</i>	Tribološke lastnosti TiAlN/a-CN prevlek																					
	<i>ANG</i>	Tribological properties of TiAlN/a-CN coating																					
Opis	<i>SLO</i>	TiAlN/a-CN dvoplastna struktura združuje prednosti zelo trde in termično stabilne TiAlN spodnje plasti in odlične drsne lastnosti vrhne plasti na osnovi ogljika. Tribološke lastnosti takšne prevlek so zelo odvisne od načina njene priprave in parametrov nanašanja. V tem predavanju so bili predstavljeni rezultati mikrostrukturnih, strukturnih in triboloških lastnosti TiAlN/a-CN prevlek. Predstavili smo tudi rezultate industrijskih preizkusov orodij za stiskanje kovinskih prahov, ki smo jih zaščitili s "črno" TiAlN/a-CN prevleko. Obstočnost takšnega orodja se je v primerjavi z neprekritim znatno povečala.																					
	<i>ANG</i>	TiAlN/a-CNx double layer coating combines the advantages of a very hard, thermally stable TiAlN with the sliding and lubricating properties of the top a-CNx layer. The tribological performance of such coating strongly depends on the deposition method and deposition parameters. In this lecture some results of structural, microstructural and tribological characterization of TiAlN/a-CNx coatings were presented. We also presented some results of performance test of powder compaction tools protected with such coating in industrial production. A significant improvement of tool lifetime was obtained.																					
Šifra	B.04 Vabljen predavanje																						
Objavljeno v	TECOS, Slovenian Tool and Die Development Centre; Conference proceedings; 2011; Str. 337-342; Avtorji / Authors: Panjan Peter, Paskvale Srečko, Gselman Peter, Zupanič Franc, Bončina Tonica, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Kek-Merl Darja, Fišinger B.																						
Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)																						

3.	COBISS ID	244690944	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Moderno proizvodno inženirstvo	
		<i>ANG</i> Modern production engineering	
	Opis	<i>SLO</i> Priročnik obsega področja materialov, s katerimi se srečujemo v proizvodnji, in to od kovin, keramike do polimerov in slojev, s katerimi plemenitimo površine visoko obremenjenih izdelkov, ter potrebna znanja iz njihovih preizkušanj. Tehnološka poglavja obravnavajo procese odnašanja, oblikovanja, spajanja in rezanja, nanašanja slojev, nekonvencionalnih tehnologij ter toplotnih obdelav materialov.	
		<i>ANG</i> The topics of this handbook are related with different materials which are important in modern industrial production (metals, ceramics, polymers), surface engineering techniques which used in order to improve their wear, corrosion and oxidation resistance as well as various methods for testing of their mechanical properties. The conventional (machining: turning, milling, boring, grinding) and non-conventional (EDM, water jet) manufacturing technologies are also the subject of this book.	
	Šifra	D.11 Drugo	
	Objavljeno v	Grafis trade; 2010; XXXVI, 1251 str.; Avtorji / Authors: Anžel Ivan, Balič Jože, Blatnik Oki, Čuš Franc, Drstvenšek Igor, Ficko Mirko, Herakovič Niko, Junkar Mihael, Kampuš Zlatko, Kopač Janez, Noe Dragica, Orbanič Henri, Pahole Ivo, Panjan Peter, Polajnar Andrej, Privšek Henrik, Starbek Marko, Šmuc Boštjan, Tušek Janez, Valentinčič Joško, Kuzman Karl	
	Tipologija	2.06 Enciklopedija, slovar, leksikon, priročnik, atlas, zemljevid	
4.	COBISS ID	1246047	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Zaščitne prevleke na osnovi ogljika, narejene s fizikalnimi postopki nanašanja iz parne faze	
		<i>ANG</i> Carbon based coatings, prepared by physical vapour deposition techniques	
	Opis	<i>SLO</i> Lansko leto je dr. Srečko Paskvale zagovarjal doktorsko disertacijo »Zaščitne prevleke na osnovi ogljika, narejene s fizikalnimi postopki nanašanja iz parne faze«, v kateri je analiziral tribološke lastnosti vrste prevlek z nizkim koeficientom trenja, pripravljenih z različnimi postopki nanašanja. Največ pozornosti je posvetil dvoplastni prevleki TiAlN/a-CN <sub>x</sub> , ki smo jo tudi uspešno vpeljali v industrijsko proizvodnjo. Pri tem je zasledoval odvisnost koeficienta trenja in parametrov obrabe od pogojev nanašanja (debelina, stopnja rotacije in lega vzorca v komori) ter od stanja površine (hrapavost, gostota defektov).	
		<i>ANG</i> Last year Dr. Srečko Paskvale defended his PhD thesis »Carbon-based protective coatings deposited by physical vapour deposition processes«, where he analyzed the tribological properties of coatings with a low friction coefficient, prepared by different deposition techniques. Most emphasis was given to the bilayer coating TiAlN/a-CN <sub>x</sub> , which was successfully implemented in industrial production. In his work he analyzed the dependence of friction coefficient and wear parameters on the deposition parameters (thickness, rotation rate and sample position in the chamber), and surface condition (roughness, defect density).	
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom	
	Objavljeno v	[S. Paskvale]; 2012; VI, 187 str.; Avtorji / Authors: Paskvale Srečko	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
5.	COBISS ID	26154023	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Plazemsko inženirstvo površin	
		<i>ANG</i> Plasma surface engineering	
		V okviru projekta Znanje žanje pa je imel dr. Peter Panjan predavanje v	

Opis	SLO	Državnem zboru Republike Slovenije z naslovom »Plazemsko inženirstvo površin – osnova sodobnih tehnologij«. Predavanje je dostopno na domači strani: <a href="http://www.arhiv.mvzt.gov.si/si/teme_in_projekti/znanje_zanje/">http://www.arhiv.mvzt.gov.si/si/teme_in_projekti/znanje_zanje/</a>
	ANG	Within the project »Harvesting Knowledge«, Dr. Peter Panjan had a lecture in the National Assembly of the Republic of Slovenia, entitled »Plasma Surface Engineering as the Basis of Modern Technologies«. The presentation is available on the web-site: <a href="http://www.arhiv.mvzt.gov.si/si/teme_in_projekti/znanje_zanje/">http://www.arhiv.mvzt.gov.si/si/teme_in_projekti/znanje_zanje/</a>
Šifra	B.04	Vabljen predavanje
Objavljeno v	Parlament RS; 2010; Avtorji / Authors: Panjan Peter	
Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

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

Dosežek 1: Zlato priznanje na mednarodnem sejmu orodjarstva leta 2009 je v Celju  
Objavljeno: <http://ce.sejem.si/index.php?page=newsplus&item=3195&type=sejemska&year=2009&id=32782&fair=>

Dosežek 2: vabljen predavanje: PANJAN, Peter. Razvoj in uporaba nanoplastnih in nanokompozitnih prevlek za zaščito orodij in strojnih delov : 4. nanotehnološki dan 2009, 30. september 2009, Ljubljana. 2009. [COBISS.SI-ID 23344935]

Dosežek 3: vabljen predavanje; PANJAN, Matjaž. Deposition of nanocomposite coatings by HiPIMS : invited talk. Montreal: École Polytechnique, Département de Génie Physique, 6. dec. 2011. [COBISS.SI-ID 25530663]

Dosežek 4: vabljen predavanje: PANJAN, Matjaž. Hard coating for the protection against liquid impingement : invited talk. Montreal: École Polytechnique, Département de Génie Physique, 10. avg. 2011. [COBISS.SI-ID 25530407]

Dosežek 5: vabljen predavanje: PANJAN, Matjaž. Machining of carbon fiber reinforced polymers : invited talk. Montreal: École Polytechnique, Département de Génie Physique, 13. jul. 2011. [COBISS.SI-ID 25530151]

Dosežek 6: vabljen predavanje: PANJAN, Matjaž. Nanocomposite hard coatings for the protection against LIE : invited talk. Montreal: École Polytechnique, Département de Génie Physique, 21. dec. 2011. [COBISS.SI-ID 25530919]

Dosežek 7: vabljen predavanje: PANJAN, Peter. Plazemsko inženirstvo površin : osnova sodobnih tehnologij. Ljubljana: Parlament RS, 25. mar. 2010. [http://www.arhiv.mvzt.gov.si/si/teme\\_in\\_projekti/znanje\\_zanje](http://www.arhiv.mvzt.gov.si/si/teme_in_projekti/znanje_zanje). [COBISS.SI-ID 26154023]

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

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

SLO

Pomemben napredek na področju plazemskega inženirstva površin je bil narejen z razvojem nanostrukturnih prevlek. Zanje je značilna velika gostota mej bodisi med posameznimi plastmi v nanoplastni strukturi ali med nanokristaliti keramične faze, ki je vgrajena v matrico amorfne materiala. Te meje ovirajo širjenje dislokacij in napredovanje mikrorazpok. Velika gostota mej poveča makroduktilnost, zato so takšne prevlek bolj žilave.

Pulzno magnetronsko naprševanje pri veliki vršni moči (HPPMS) je nov način priprave takšnih naprednih prevlek, ki se v industrijski proizvodnji šele uveljavlja. Omogoča pripravo nove generacije trdih prevlek z boljšimi lastnostmi od klasičnih. Bistvo postopka je specifično napajanje, s katerim generiramo pulze vršne moči okoli megavata, pri čemer pa je njihovo trajanje le nekaj deset mikrosekund. Pri takšni gostoti moči se material tarče ob uparitvi skoraj v celoti ionizira, kar omogoča nastanek prevlek z nanokristalinično mikrostrukture in odlično adhezijo na podlage.

Pulzno naprševanje pri manjši moči omogoča nanašanje prevlek na temperaturno občutljive podlage (jekla popuščana pri nizki temperaturi, Al- in Cu-zlitine). Nanašanje prevlek pri nizki temperaturi zahteva poznavanje fizikalnih procesov v plazmi, ki vodijo do segrevanja podlag. Z vidika kvalitete prevlek pa je pomembno vedenje o tem, kako energija uparjenih delecov vpliva na mikrostrukture in oprijemljivost prevlek in kako lahko vplivamo na njihovo energijo.

Rezultat tega projekta so znanja, ki smo jih pridobili in razvoj inovativnih tehnologij za pripravo naprednih zaščitnih PVD-prevlek. Napredek znanosti in tehnike je spodbudil razvoj novih materialov za trde prevleke in postopkov za njihovo pripravo, ki omogočajo izdelavo bolj učinkovitih rezalnih in drugih orodij. Te izboljšave vključujejo tako izboljšanje triboloških lastnosti (velike trdota, abrazijska in erozijska obstojnost, majhen koeficient trenja in drsenja), korozijske obstojnosti, termične stabilnosti, kontrolo toplotne prevodnosti itd. Mnoge od teh zahtev izhajajo iz potreb industrije, ki uporablja trde prevleke na rezalnih orodjih, da poveča njihovo obstojnost, produktivnost, hitrost obdelave in zmanjša stroške obdelave. Razvoj na področju trdih prevlek in postopkov inženirstva površin je zaradi sinergije napredka na področju materialov in postopkov nanašanja prevlek, zelo hiter.

Rezultati tega projekta (okrog 10 znanstvenih publikacij, dve doktorski deli, 1 patent, industrijska uporaba 4 novih trdih prevlek) predstavljajo prispevek predvsem na področju raziskav nanostrukturnih prevlek, kakor tudi na področju njihove uporabe za zaščito orodij in komponent. V okviru tega projekta smo uspeli razrešiti nekatere probleme (vpliv rotacije podlag na uniformnost večplastnih in nanoplastni prevlek, vpliv defektov na tribološke lastnosti prevlek), ki so bili povezani s samim procesom nanašanja in lastnostmi nanostrukturnih prevlek, smo uspeli razrešiti.

ANG

One important step in plasma surface engineering is the development of nanostructured coatings. The nanostructured materials are predominantly marked by the interfaces. Interfaces between individual layer in nanolayer structure or nanocrystallites (3-10 nm) of ceramic phases incorporated into an amorphous matrix delimit the dislocation mobility and limit the crack propagation. The high ratio of grain boundaries causes a macroductility. This results in coatings with a high toughness.

High power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) is a new not still very established technique for preparation of advanced hard coatings. Its main feature is pulsed power supply, which generates pulses with a peak power of around one megawatt, but with duration of only a few tens of microseconds. At such a high power density, the target material is almost completely ionized, which enables the formation of coating with a nanocrystalline microstructure and superb adhesion.

Pulsed magnetron sputtering at low power is a useful method for preparation of hard coatings on temperature sensitive materials like Al- and Cu-alloys and steel substrates tempered at temperature below 200 °C. The deep knowledge of physical processes which are responsible for heating of substrates in a low pressure plasma is necessary. We also have to know how the energy of sputtered species influences the microstructure and adhesion of hard coatings and how can we control this energy.

Benefit directly resulting from this research is a generation of new knowledge and development of innovative technologies related to advanced PVD hard coatings. Recent advances in science and engineering stimulate the development of new hard coating materials and surface engineering processes that provide an ever increasing performance of cutting and other types of tools. This includes enhanced tribological properties (high hardness, abrasion and erosion

resistance, low sliding wear and low coefficients of friction), excellent corrosion protection, high temperature stability, controlled thermal conductivity and others. Many of these requirements are defined by the need in machining industry where hard coatings are applied on cutting tools to increase their service life (productivity), machining speed and decrease costs. The field of coating and surface engineering technologies is evolving very rapidly thanks to the synergy between the progress in materials science, development of new fabrication processes. The results of the this project (10 scientific papers, 2 PhD theses, 1 patent, introduction of 4 new coatings in industrial use) contribute to the research of the nanostructured coatings, as well to the applications of the coatings for the protection of the tools and the components. There are numerous problems related to the deposition process (the influence of substrate rotation mode on uniformity of multi- and nanolayer coatings, the influence of growth defects on tribological properties of coatings) as well as the formation and the properties of the nanostructured coating that were solved in the framework of this project.

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

SLO

Za obdelavo in oblikovanje širokega spektra materialov potrebujemo kvalitetna orodja. Le kvalitetna orodja omogočajo zanesljivo proizvodnjo, veliko produktivnost in dobre izdelke. Novi tehnološki postopki obdelave, novi materiali, novi izdelki, zahteve po večji obstojnosti orodij, večji produktivnosti – vse to zahteva nenehen razvoj orodnih materialov in postopkov zaščite orodij. Uporaba trdih prevlek za zaščito orodij je zato neizbežna.

Ena ključnih tehnologij za oplemenitenje površine orodij in strojnih delov je plazemsko inženirstvo površin. Na tak način na površino orodnega materiala nanese nekaj mikrometrov debelo plast zelo trdega keramičnega materiala. Z orodji, ki so zaščitena z naprednimi nanostrukturnimi trdimi prevlekami, lahko obdelujemo kaljena jekla, različne kompozite ter nikljeve in titanove zlitine, ki se sicer zelo težko obdelujejo. Plazemsko inženirstvo površin je torej osnova sodobnega orodjarstva. Plazemsko inženirstvo površin so postopki obdelave površine, ki skupaj s podlago prinaša izboljšane lastnosti celotnega sistema. Da bi dosegli želeno lastnost materiala, v mnogo primerih ni treba spreminjati lastnosti masivnega materiala v celoti, ampak lahko s primernim postopkom inženirstva površin spremenimo le lastnosti površine. Eden od načinov plazemskega inženirstva površin je nanos tankih plasti z ustreznimi lastnostmi.

V Odseku za tanke plasti in površine na Institutu »Jožef Stefan« se ukvarjamo z raziskavami trdih zaščitnih prevlek že več kot 30 let. Doslej je raziskovalna skupina intenzivno sodelovala s slovensko industrijo. V industrijsko proizvodnjo smo uspešno vpeljali tri generacije trdih prevlek, ki jih uporablja več kot 150 industrijskih partnerjev iz strojne industrije (predvsem avtomobilske), elektronske in farmacevtske industrije. Trde prevleke povečajo obstojnost orodij in omogočijo večjo produktivnost proizvodnje. Čeprav je glavni pomen trdih prevlek gospodarski, pa imajo le-te tudi druge prednosti. Tako se zmanjša poraba strateško pomembnih surovin za izdelavo orodnih materialov (Ni, Co, W, Mo). Z ekološkega vidika pa je pomembna manjša poraba energije (trde prevleke zmanjšajo trenje, zato so rezalne sile in sile preoblikovanj manjše), manjša je poraba hladilno-mazalnih tekočin (uporabi le-teh se lahko v nekaterih primerih izognemo). Manjša poraba hladilno-mazalnih tekočin pozitivno vpliva tudi na zdravje ljudi, saj so aerosoli teh tekočin kancerogeni (problem je izrazit zlasti pri visokohitrostni obdelavi). PVD-prevleke lahko uspešno nadomestijo nekatere prevleke, ki so z ekološkega vidika problematične (npr. trdi krom). Industrija orodij in zaščita orodij in strojnih delov s trdimi prevlekami sta proizvodni področji z veliko dodano vrednostjo.

Doslej je bilo to področje v Sloveniji konkurenčno na svetovnem trgu, orodjarstvo pa tista gospodarska dejavnost, kjer smo Slovenci že dolgo časa med vodilnimi v Evropi. Znanje, ki smo si ga pridobili v okviru izvajanja tega projekta, nam je omogočilo razvoj postopka pulznega magnetronskega nanašanja pri veliki vršni moči in pripravo nove generacije trdih PVD-prevlek na tak način. Nekatere od teh prevlek smo že prenesli v industrijsko proizvodnjo.

ANG

High quality tools are necessary for machining of very different kind of materials. Only with high quality tools a reliable industrial production of high quality products at high productivity are



possible. Machining of new difficult to machine materials, new products, higher productivity and larger tool life demand a development of new tool materials as well as new techniques for tool wear protection. Thus the use of hard coatings for wear protection of tool is inevitable today.

One of the key technologies for enhancement of tool surface properties is the plasma surface engineering. Using this technique, a thin film with a thickness of only a few micrometers consisting of a very hard ceramic material is deposited on the tool surface. Using tools protected by advanced nanostructured hard coatings, hard tool steels can be machined as well as various composites, nickel and titanium alloys, which are very difficult to machine. Plasma engineering is thus the foundation of modern tool industry. Plasma surface engineering may be defined as the design of both surface and substrate in a functional system with a cost-effective performance enhancement of which neither is capable on its own. In order to obtain the selected properties of the tool it is not necessary to change the properties of the bulk material. It is enough to adapt the surface properties with appropriate plasma surface engineering technique. One of them is deposition of PVD-hard coating with suitable properties.

The Department for thin films and surface at Jožef Stefan Institute has performed research on deposition and characterization of hard protective coatings for over 30 years. We already intensively collaborate with Slovenian industry. Among applied research three generations of PVD hard coatings have been developed for the protection of tools for various production processes in industry. More than 150 industrial partners (especially automotive industry, electronics sector, and pharmaceutical industry) in Slovenia and abroad are using our PVD hard coatings for wear and corrosion protection of different tools. Such protective coatings improve the tool lifetime and productivity in selected machining processes. Although the general purpose of hard protective coatings appears economy-driven (i.e. improvement of tool lifetime), it has several other socio-economic benefits. In first place it reduces the need for raw materials, especially for strategic materials, such as cobalt or tungsten. Ecological benefits include a decrease of energy consumption (protective coatings reduce the friction coefficient and thus the cutting or forming forces), a decrease in use of lubricants and cooling liquids (which can be in certain applications omitted entirely), and replacement of ecologically problematic galvanic technologies (e.g. hard chromium) with clean ones. A contribution to public health is related to the reduction of aerosol lubricants, to which the workers in steel industry are constantly exposed today (especially in the case of high-speed machining). Hard protective coatings and tooling industry in general are high added value production.

At present they are one of the most competitive parts of Slovenian industry on the world market, while tool industry is the one economic activity, where Slovenia has been among the most competitive in Europe. The knowledge obtained in the framework of this project enabled us to develop a new PVD high power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) deposition technique and thus a preparation of a new generation of hard protective coatings. Part of them we already introduced into industrial use.

**11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj	
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
Uporaba rezultatov	

		V celoti
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30 Strokovna ocena stanja</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31 Razvoj standardov</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32 Mednarodni patent</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33 Patent v Sloveniji</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.34 Svetovalna dejavnost</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35 Drugo</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

**Komentar**


**12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	

<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>					
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>					
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura					



		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar****13. Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>12</sup>**

	Sofinancer			
1.	Naziv	KOVINOS d.o.o.		
	Naslov	Obrtna ulica 10, 1354 Horjul		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	55.000,00	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1. razvoj nanoplastnih in nanaokompozitnih prevlek	F.11	
		2. zaščita rezalnih orodij za obdelavo v trdo, obdelavo zelo žilavih materialov ter suho obdelavo	F.09	
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena	5		

**14. Izjemni dosežek v letu 2012<sup>13</sup>****14.1. Izjemni znanstveni dosežek**

a) Pojasnili smo vpliv rotacije podlag na uniformnost večplastnih in nanoplastnih struktur.  
b) Naredili smo sistematične raziskave vpliva nodularnih defektov in drobnih luknjic na tribološke lastnosti trdih prevlek

**14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek**

Razvoj postopka nanašanja nanostrukturne TiAlSiN/TiSiN/TiAlN prevleke, ki smo jo v zadnjih dveh letih uspešno vpeljali v proizvodnjo. Prevleka je kombinacija klasične spodnje TiAlN plasti ter nanokompozitnih in nanoplastnih TiSiN in TiAlSiN plasti. Prevleka je primerna za zaščito rezalnih orodij za obdelavo najbolj zahtevnih materialov. Danes jo uporablja več deset industrijskih partnerjev.

**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 ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS

- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

**Podpisi:**

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Institut "Jožef Stefan"

Peter Panjan

---

**ŽIG**

Kraj in datum: 

Ljubljani	12.3.2013
-----------	-----------

**Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/185**

<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 agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

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

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

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

<sup>6</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (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, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (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 projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>8</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (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. [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 projekt, 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> Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava

sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). 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](#)

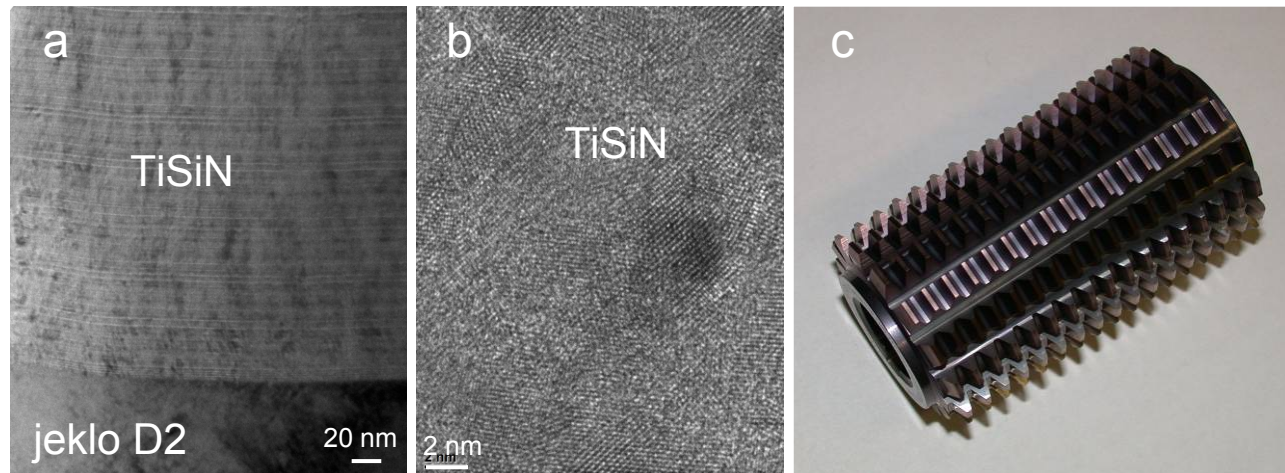
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00

8F-5B-34-5F-50-0A-36-7D-46-B6-1A-6D-35-BF-DB-98-C0-97-84-F5

# Dosežek v okviru raziskovalnega projekta L2-2100 (Razvoj nove generacije trdih prevlek s pulznim naprševanjem)

## Nanokompozitna prevleka TiAlSiN/TiSiN/TiAlN

Razvili smo postopek priprave nanostrukturne prevleke, ki je kombinacija klasične TiAlN plasti ter nanokompozitnih in nanoplastnih TiSiN in TiAlSiN plasti. Naredili smo kompletno karakterizacijo strukturnih, mikrostrukturnih in triboloških lastnosti takšne prevleke. Ob sodelovanju podjetja **KOVINOS d.o.o.**, ki je bil sofinancer tega projekta, smo jo vpeljali v industrijsko uporabo. Prevleka je primerna za zaščito rezalnih orodij za obdelavo najbolj zahtevnih materialov. Danes jo uporablja več deset industrijskih partnerjev.



TEM posnetek prereza (a), HRTEM posnetek TiSiN plasti (b) in odvalno frezalo iz karbidne trdine, zaščiteno s (Ti,Al,Si)N nanokompozitno in nanoplastno prevleko (c)