

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	INŽENIRING KONTAKTNIH POVRŠIN
Course title:	ENGINEERING OF CONTACT SURFACES

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri
Strojništvo, tretja stopnja, doktorski	Konstrukcijsko mehanske inženirske znanosti (smer)		Celoletni

Univerzitetna koda predmeta/University course code: 7105

Predavanja	Seminar	Vaje	Klinične vaje	Druge oblike študija	Samostojno delo	ECTS
90					160	10

Nosilec predmeta/Lecturer: Mitjan Kalin, Roman Šturm

Izvajalci predavanj:	Mitjan Kalin, Roman Šturm
Izvajalci seminarjev:	
Izvajalci vaj:	
Izvajalci kliničnih vaj:	
Izvajalci drugih oblik:	
Izvajalci praktičnega usposabljanja:	

Vrsta predmeta/Course type: Izbirni predmet /Elective course

Jeziki/Languages:	Predavanja/Lectures:	Slovenščina, Angleščina
	Vaje/Tutorial:	Slovenščina, Angleščina

Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:	Prerequisites:
Veljajo splošni pogoji za doktorski študij.	General prerequisites for the third level studies.

Vsebina:

Kontakt dveh površin; Geometrija kontakta, linijski, točkovni in Hertzov kontakt, kontakt dveh ukrivljenih površin; Sile, hitrosti in napetosti v kontaktu, linijska, točkovna in ploskovna obremenitev, Hertzova teorija, tangencialna obremenitev, kombinacija normalne in tangencialne obremenitve – drsenje, mikro in makro zdrs, kotaljenje; Elasto-plastičen kontakt, elastična deformacija, plastična deformacija, indeks plastičnosti; Kontakt hrapavih površin, hrapavost površine, vpliv hrapavosti na porazdelitev napetosti; Temperature v kontaktu, mirujoč izvor toplote, gibajoč se izvor toplote, temperaturno polje, termoelastičen kontakt. Karakterizacija kontaktne površine, Mikroskopija, optična in elektronska mikroskopija; Sestava in struktura površine: EDS, X-Ray, IR, XPS, Auger,...; Profilometrija in topografija, hrapavost površine, parametri hrapavosti, analiza parametrov hrapavosti, obličanje površine, nosilnost površine; Trdota in elastičnost površine, modul

Content (Syllabus outline):

Contact of two surfaces; contact geometry, line, point and Hertz's contact, contact of two bended surfaces, forces, velocity and contact stresses, line, point and surface load, Hertz's theory, tangential load, combination of tangential and normal load – sliding, micro and macro sliding, rolling, elasto-plastic contact, elastic deformation, plastic deformation, plasticity index, contact of rough surfaces, surface roughness, influence of roughness on stress distribution, temperature in contact, still and moving source of heat, temperature field, thermo-elastic contact. Practical applications: sliding washers, rolling bearings, gear wheels.... Characterization of contact surfaces, microscopy, optical and electron microscopy, sample preparation. Composition and structure of the surface: EDS, X-ray, IR, XPS, Auger... Topography, surface roughness, analysis of roughness parameters, surface load capacity, surface

<p>elastičnosti; Zaostale napetosti, metode merjenja in analiza; Oprijemljivost prevleke na podlago; Obrabne in torne lastnosti, modelna preizkuševališča, simulacija, realno preizkušanje.</p> <p>Oplemenitenje kontaktnih površin; Tehnološki postopki oplemenitenja kontaktnih površin: obličenje površine, postopki nanosa trdih prevlek, priprava kontaktne površine za oplemenitenje, kriteriji izbire površinskega sloja; Vrste in lastnosti površinskih slojev: difuzijski sloji, kovinske prevleke, keramične prevleke, diamantne in diamantu podobne prevleke, večkomponentne in večplastne prevleke; Tribološke lastnosti površinskih slojev, vpliv debeline, trdote, zaostalih napetosti in elastičnosti površinskega sloja; Mehanika slojevitih površin, napetostno polje kompozita, karte lokalnega tečenja.</p>	<p>hardness and elasticity, hardness measurements, Young's modulus, residual stresses, measurement methods and analysis, surface coating adhesion, slicing test, acoustic methods, press in method, wear and friction properties, model tests, simulation, real tests.</p> <p>Refinement of contact surfaces, technological procedures: thermal and chemo-thermal processes, processes of hard coating deposition, surface preparation, criteria for coating deposition selection, different kinds and properties of surface coatings; diffusion layers, metal coatings, ceramic coatings, diamante and like-diamante coatings, multi-component and multi-layer coatings, tribological properties of surface layers, influence of thickness, hardness, residual stresses and elasticity of surface layer, mechanics of layered surface, composite stress field, maps of local yielding. Practical applications: sliding washers, rolling bearings, gear wheels....</p>
--	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

<p>[1] Modern Surface Technology, eds.: F.W. Bach, A. Laarmann, T. Wenz, Wiley-VCH, Weinheim 2004</p> <p>[2] V. Schulze: Modern Mechanical Surface Treatment, Wiley-VCH, Weinheim 2006</p> <p>[3] Johnson, K.L.: Contact mechanics.- Cambridge: Cambridge University Press,1994</p> <p>[4] Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W.: Engineering tribology.- 2nd ed.- Amsterdam: Elsevier, 1993</p> <p>[5] Bhushan, B., Gupta, B.K.: Handbook of tribology, New York etc.: McGraw-Hill, 1991</p> <p>[6] Holmberg, K., Matthews, A.: Coatings tribology: properties, techniques and applications in surface engineering.- Amsterdam etc.: Elsevier, cop. 1994</p> <p>[7] Dowson, D., Taylor, C.M., Childs, T.H.C., Godet, M., Dalmaz, G.: Thin films in tribology.- Amsterdam: Elsevier, 1993 (Tribology series; 25)</p> <p>[8] Surface engineering practice /ed. by K.N. Strafford, P.K. Datta, J.S. Gray.- New York: Ellis Horwood, 1990</p> <p>[9] Grum J.: Laser surface hardening. V: TOTTEN, George E. (ur.). Steel heat treatment: equipment and process design. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, cop. 2007, str. 435-566.</p> <p>[10] Grum J.: Modelling of Laser Surface Hardening,, C. H. Gür, J. Pan: Handbook of Thermal Process Modeling of Steels, CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, 499 – 626, 2009.</p> <p>[11] Grum J.: Failure Analysis of Heat Treated Steel Component ASM Int., Metals Park Ohio, USA, 417 – 502, 2008.</p>
--

Cilji in kompetence:

<p>Cilji:</p> <p>Cilj predmeta je dati študentom poglobljen vpogled v kontaktne razmere pri tribološkem kontaktu različnih površin, od linijskega do točkovnega Hertzovega kontakta, vpliva koeficienta trenja, mikrozdrsa, hrapavosti in prisotnosti zaščitnih površinskih slojev na porazdelitev kontaktnih napetosti. Eno od pomembnih področij inženiringa kontaktnih površin je karakterizacija njihovih lastnosti, pri čemer bodo študentje spoznali napredne tehnologije analize fizikalnih in triboloških lastnosti kontaktnih površin, vključujoč tehnike na podlagi analize energijskega spektra ter analize površin na mikro/nano nivoju. Na področju tehnologij oplemenitenja površine pa se bodo študentje seznanili s fizikalno-kemijskimi osnovami posameznih tehnologij, vpliva priprave podlage, vpliva posameznih tehnik oplemenitenja na fizikalno-tribološke lastnosti ter s postopki izbire najustreznejše tehnologije glede na zahteve aplikacije.</p> <p>Kompetence:</p> <p>Študent osvoji detajlno znanje o napetostno-deformacijskem polju tribološkega kontakta ter vplivu</p>	<p>Objectives and competences:</p> <p>Goals:</p> <p>The principal goal of Engineering of Contact Surfaces is to give knowledge about the material, which is in a contact with other material at different physical conditions.</p> <p>Competences:</p> <p>The student acquires basics of:</p> <p>Ability to evaluate material properties from microstructure point of view.</p> <p>Good knowledge about material testing procedures.</p> <p>Ability to evaluate properties of contact surfaces after thermal and thermo-mechanical treatments.</p> <p>Ability to select proper material for contact applications.</p>
--	--

<p>posameznih parametrov inženiringa kontaktne površine (hrapavost, zaostale napetosti, trde prevleke, modificiranje) na porazdelitev kontaktnih napetosti in tribološke lastnosti. Znanje na področju naprednih tehnologij karakterizacije kontaktne površine pa omogoča študentu pravilno izbiro in uporabo ustrezne tehnike za detajlno raziskavo fizikalno-kemijskih procesov v tribološkem kontaktu. S poznavanjem osnov, lastnosti in postopkov oplemenitenja površine pa študent razpolaga z znanjem za aplikacijo ustrezne tehnologije v kompleksnih sistemih, kakor tudi za njihovo modifikacijo in izpoponitev.</p>	
---	--

<p>Predvideni študijski rezultati:</p> <p>Znanje in razumevanje: Študent osvoji detajlno znanje o napetostno-deformacijskem polju tribološkega kontakta ter vplivu posameznih parametrov inženiringa kontaktne površine (hrapavost, zaostale napetosti, trde prevleke, modificiranje) na porazdelitev kontaktnih napetosti in tribološke lastnosti. Znanje na področju naprednih tehnologij karakterizacije kontaktne površine pa omogoča študentu pravilno izbiro in uporabo ustrezne tehnike za detajlno raziskavo fizikalno-kemijskih procesov v tribološkem kontaktu. S poznavanjem osnov, lastnosti in postopkov oplemenitenja površine pa študent razpolaga z znanjem za aplikacijo ustrezne tehnologije v kompleksnih sistemih, kakor tudi za njihovo modifikacijo in izpoponitev.</p>	<p>Intended learning outcomes:</p> <p>Knowledge and understanding: Competences: The student acquires basics of: Ability to evaluate material properties from microstructure point of view. Good knowledge about material testing procedures. Ability to evaluate properties of contact surfaces after thermal and thermo-mechanical treatments. Ability to select proper material for contact applications.</p>
---	---

<p>Metode poučevanja in učenja:</p> <p>Predavanja, laboratorijske vaje, seminarsko delo, e-izobraževanje, konzultacije. Seminarsko delo v čim večji meri navezuje se na področje doktorskega raziskovanja. Študij z uporabo priporočene literature.</p>	<p>Learning and teaching methods:</p> <p>Lectures, laboratory practice & seminar work, e-education, consulting. The seminar work is related, as much as possible, to the student's doctoral research field. Study on a recommended literature basis.</p>
--	---

Načini ocenjevanja:	Delež/Weight	Assessment:
<p>Način (pisni izpit, ustno izpraševanje, naloge, projekt): • projektni seminar, izvedba, poročilo (50%) • rezultati in aplikacija na obravnavani sistem, poročilo (30%) • ustno izpraševanje (20%) Pogoji za opravljanje ustnega izpita je uspešno izdelano in pozitivno ocenjeno seminarsko delo.</p>		<p>Method (written exam, oral examination, assignments, project): • project seminar, execution, report (50%) • results and application in scope of the discussed system, report (30%) • oral examination (20%) The condition for admission to oral exam is successful completion of seminar work, rewarded with a passing grade.</p>

<p>Reference nosilca/Lecturer's references:</p> <p>prof. dr. Mitjan KALIN KALIN, Mitjan, JERINA, Jure. The effect of temperature and sliding distance on coated (CrN, TiAlN) and uncoated nitrided hot-work tool steels against an aluminium alloy. <i>Wear</i>, Vol. 330/331. 2015, str. 371-379. KALIN, Mitjan, POLAJNAR, Marko. The wetting of steel, DLC coatings, ceramics and polymers with oils and water: the importance and correlations of surface energy, surface tension, contact angle and spreading. <i>Applied Surface Science</i>, Feb. 2014, vol. 293, str. 97-108. JERINA, Jure, KALIN, Mitjan. Initiation and evolution of the aluminium-alloy transfer on hot-work tool steel at temperatures from 20 °C to 500 °C. <i>Wear</i>, Nov. 2014, vol. 319, iss. 1/2, str. 234-244. SIMIČ, Rok, KALIN, Mitjan. Adsorption mechanisms for fatty acids on DLC and steel studied by AFM and tribological</p>

experiments. *Applied Surface Science*, Oct. 2013, vol. 283, str. 460-470.

KALIN, Mitjan, VELKAVRH, Igor. Non-conventional inverse-Stribeck-curve behaviour and other characteristics of DLC coatings in all lubrication regimes. *Wear*, Jan. 2013, vol. 297, iss. 1/2, str. 911-918.

prof. dr. Roman ŠTURM

ŠTURM, Roman, GRIMBERG, Raimond, SAVIN, Adriana, GRUM, Janez. Destructive and nondestructive evaluations of the effect of moisture absorption on the mechanical properties of polyester-based composites. *Composites. Part B, Engineering*, ISSN 1359-8368. [Print ed.], Mar. 2015, vol. 71, str. 10-16, ilustr., doi:

[10.1016/j.compositesb.2014.11.022](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.11.022).

PEČNIK, Boštjan, ŠTURM, Roman, HOČEVAR, Marko, DULAR, Matevž, ŠIROK, Brane. Cavitation erosion of the calcium carbonate deposits. *International journal of microstructure and materials properties*, ISSN 1741-8410, 2015, vol. 10, nr. 5/6, str. 445-462, ilustr., doi: [10.1504/IJMMP.2015.074998](https://doi.org/10.1504/IJMMP.2015.074998).

SUŠNIK, Janez, GRUM, Janez, ŠTURM, Roman. Effect of pulse laser energy density on TiC cladding of aluminium substrate. *Tehnički vjesnik*, ISSN 1330-3651, 2015, vol. 22, nr. 6, str. 1553-1560, ilustr., doi: [10.17559/TV-20150221215735](https://doi.org/10.17559/TV-20150221215735).

STEINER PETROVIČ, Darja, ŠTURM, Roman. Fine-structured morphology of a silicon steel sheet after laser surface alloying of Sb powder. *Strojniški vestnik*, ISSN 0039-2480, Jan. 2014, vol. 60, no. 1, str. 5-11, SI 5, ilustr., doi: [10.5545/sv-jme.2013.1347](https://doi.org/10.5545/sv-jme.2013.1347).

ŠTURM, Roman, ŽNIDARŠIČ, Matjaž, GRUM, Janez. Crack-growth behavior of laser surface-alloyed low-carbon steel. *Journal of materials engineering and performance*, ISSN 1059-9495, Sep. 2013, vol. 22, iss. 9, str. 2542-2549, ilustr., doi: [10.1007/s11665-013-0549-4](https://doi.org/10.1007/s11665-013-0549-4).