

INŽENIRING KONTAKTNIH POVRŠIN

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

| | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Predmet: | INŽENIRING KONTAKTNIH POVRŠIN |
| Course title: | ENGINEERING OF CONTACT SURFACES |
| Članica nosilka/UL Member: | UL FS |

| Študijski programi in stopnja | Študijska smer | Letnik | Semestri | Izbirnost |
|--|--|----------------------|-----------------|------------------|
| Strojništvo, tretja stopnja, doktorski | Konstrukcijsko mehanske inženirske znanosti (smer) | 1. letnik, 2. letnik | Celoletni | izbirni |

Univerzitetna koda predmeta/University course code:

0033431

Koda učne enote na članici/UL Member course code:

7105

| Predavanja /Lectures | Seminar /Seminar | Vaje /Tutorial s | Klinične vaje /Clinical tutorials | Druge oblike študija /Other forms of study | Samostojno delo /Individual student work | 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:

Angleščina, Slovenščina

Vaje/Tutorial:

Angleščina, Slovenščina

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:**Content (Syllabus outline):**

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, obličenje površine, nosilnost površine; Trdota in elastičnost površine, modul elastičnosti; Zaostale napetosti, metode merjenja in analiza; Oprijemljivost prevleke na podlago; Obrabne in torne lastnosti, modelna preizkuševališča, simulacija, realno preizkušanje.

Oplemenitenje kontaktnih površin; Tehnološki postopki oplemenitenja kontaktnih površin: obličenje površine,

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 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.

Refinement of contact surfaces, technological procedures: thermal and

| | |
|--|--|
| <p>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>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.</p> <p>Practical applications: sliding washers, rolling bearings, gear wheels....</p> |
|--|--|

Temeljna literatura in viri/Readings:

- [1] Modern Surface Technology, eds.: F.W. Bach, A. Laarmann, T. Wenz, Wiley-VCH, Weinheim 2004- COBISS.SI-ID - 9642779
- [2] Johnson, K.L.: Contact mechanics.- Cambridge: Cambridge University Press,1994 - COBISS.SI-ID - 1746454
- [3] Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W.: Engineering tribology.- 2nd ed..- Amsterdam: Elsevier, 1993 - COBISS.SI-ID - 736283
- [4] Bhushan, B., Gupta, B.K.: Handbook of tribology, New York etc.: McGraw-Hill, 1991 - COBISS.SI-ID - 12314629
- [5] Holmberg, K. , Matthews, A.: Coatings tribology: properties, techniques and applications in surface engineering.- Amsterdam etc.: Elsevier, cop. 2009- COBISS.SI-ID - 10979099
- [6] Surface engineering practice /ed. by K.N. Strafford, P.K. Datta, J.S. Gray.- New York: Ellis Horwood, 1990 - COBISS.SI-ID - 2991877
- [7] 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 - COBISS.SI-ID - 120775936
- [8] 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. COBISS.SI-ID - 720298

Cilji in kompetence:

Cilji:

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

Objectives and competences:

Goals:

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.

Competences:

| | |
|--|--|
| <p>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 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>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> |
|--|--|

| Predvideni študijski rezultati: | Intended learning outcomes: |
|--|---|
| <p>Znanje in razumevanje:</p> <p>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</p> | <p>Knowledge and understanding:</p> <p>Competences: The student acquires basics of:</p> <p>Ability to evaluate material properties from microstructure point of view.</p> <p>Good knowledge about material testing</p> |

| | |
|---|--|
| 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. | procedures. Ability to evaluate properties of contact surfaces after thermal and thermo-mechanical treatments. Ability to select proper material for contact applications. |
|---|--|

Metode poučevanja in učenja:

Learning and teaching methods:

| | |
|--|---|
| 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. | 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. |
|--|---|

Načini ocenjevanja:

Delež/Weight

Assessment:

| | | |
|---|--|---|
| 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. | | 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. |
|---|--|---|

Ocenjevalna lestvica:

Grading system:

| | |
|--|--|
| 5 - 10, pri čemer velja, da je pozitivna ocena od 6 - 10 | 5 - 10, a student passes the exam if he is graded from 6 to 10 |
|--|--|

Reference nosilca/Lecturer's references:

prof. dr. Mitjan KALIN

BRODNIK ŽUGELJ, Blaž, KALIN, Mitjan. Submicron-scale experimental analyses of the multi-asperity contact behaviour of various steels, an aluminium alloy and a polymer. *Tribology international*. Jan. 2020, vol. 141, str. 1-8, ilustr. ISSN 0301-679X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X19304748?via%3Dihub>, DOI: [10.1016/j.triboint.2019.105955](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105955). [COBISS.SI-ID [16928283](#)], [JCR, SNIP, WoS do 31. 3. 2023: št. citatov (TC): 9, čistih citatov (CI): 8, čistih citatov na avtorja (CIAu): 4,00, Scopus do 10. 2. 2023: št. citatov (TC): 9, čistih citatov (CI): 8, čistih citatov na avtorja (CIAu): 4,00]

KALIN, Mitjan, BRODNIK ŽUGELJ, Blaž, LAMUT, Martin, HAMOUDA, Karim. Elastic and plastic deformation of surface asperities and their load-carrying mechanisms during the formation of a real contact area. *Tribology international*. Feb. 2023, vol. 178, pt. a, str. 1-9, ilustr. ISSN 0301-679X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X22006387>, DOI: [10.1016/j.triboint.2022.108067](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108067). [COBISS.SI-ID [129711619](#)], [JCR, SNIP, WoS, Scopus]

SIDDIQUI, M. Shoaib Naseem, POGAČNIK, Aljaž, KALIN, Mitjan. Influence of load, sliding speed and heat-sink volume on the tribological behaviour of polyoxymethylene (POM) sliding against steel = Muhammad Shoaib Naseem Siddiqui, Aljaz Pogacnik, Mitjan Kalin. *Tribology international*. Feb. 2023, vol. 178, pt. a, str. 1-12, ilustr. ISSN 0301-679X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X22006004>, DOI: [10.1016/j.triboint.2022.108029](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108029). [COBISS.SI-ID [129358083](#)], [JCR, SNIP, WoS, Scopus]

KUS, Maja, KALIN, Mitjan. Influence of additives and their molecular structure on the static and dynamic wetting of oil on steel at room temperature. *Applied Surface Science*. [Print ed.]. Oct. 2019, vol. 490, str. 420-429, ilustr. ISSN 0169-4332. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433219318203?via%3Dihub>, DOI: [10.1016/j.apsusc.2019.06.111](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.06.111). [COBISS.SI-ID [16662811](#)], [JCR, SNIP, WoS do 1. 4. 2023: št. citatov (TC): 13, čistih citatov (CI): 9, čistih citatov na avtorja (CIAu): 4,50, Scopus do 27. 3. 2023: št. citatov (TC): 13, čistih citatov (CI): 9, čistih citatov na avtorja (CIAu): 4,50]

KUS, Maja, KALIN, Mitjan. Additive chemical structure and its effect on the wetting behaviour of oil at 100°C. *Applied Surface Science*. [Print ed.]. Mar. 2020, vol. 506, str. 1-11, ilustr. ISSN 0169-4332. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433219338371?via%3Dihub>, DOI: [10.1016/j.apsusc.2019.145020](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.145020). [COBISS.SI-ID [17351171](#)], [JCR, SNIP, WoS do 15. 8. 2022: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 4, čistih citatov na avtorja (CIAu): 2,00, Scopus do 10. 8. 2022: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 4, čistih citatov na avtorja (CIAu): 2,00]

prof. dr. Roman ŠTURM

TRDAN, Uroš, TOMOKAZU, Sano, KLOBČAR, Damjan, SANO, Yuji, GRUM, Janez, ŠTURM, Roman. Improvement of corrosion resistance of AA2024-T3 using femtosecond laser peening without protective and confining medium. *Corrosion science*. [Print ed.]. Oct. 2018, vol. 143, str. 46-55, ilustr. ISSN 0010-938X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X18307030?via%3Dihub#!>, DOI: [10.1016/j.corsci.2018.08.030](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.030). [COBISS.SI-ID [16218651](#)],

ŽAGAR, Sebastjan, SOYAMA, Hitoshi, GRUM, Janez, ŠTURM, Roman. Surface integrity of heat treatable magnesium alloy AZ80A after cavitation peening. *Journal of Materials Research and Technology*. Mar./Apr. 2022, vol. 17, str. 2098-2107, ilustr. ISSN 2238-7854.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785422001569>, DOI: [10.1016/j.jmrt.2022.01.156](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.01.156). [COBISS.SI-ID [97813507](https://cobiss.si/97813507)]

PETAN, Luca, GRUM, Janez, PORRO, Juan Antonio, OCAÑA, José Luis, ŠTURM, Roman. Fatigue properties of maraging steel after laser peening. *Metals*. Nov. 2019, vol. 9, iss. 12, f. 1-16, ilustr. ISSN 2075-4701. <https://www.mdpi.com/2075-4701/9/12/1271/pdf>, DOI: [10.3390/met9121271](https://doi.org/10.3390/met9121271). [COBISS.SI-ID [16961819](https://cobiss.si/16961819)]

ŠTURM, Roman, ŠTEFÁNIKOVÁ, Mária, STEINER PETROVIČ, Darja. Influence of pre-heating on the surface modification of powder-metallurgy processed cold-work tool steel during laser surface melting. *Applied Surface Science*. [Print ed.]. Jan. 2015, vol. 325, str. 203-210, ilustr. ISSN 0169-4332. DOI: [10.1016/j.apsusc.2014.11.050](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.11.050). [COBISS.SI-ID [13845275](https://cobiss.si/13845275)]