

TOPLITNA OBDELAVA

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Toplotna obdelava
Course title:	Heat Treatment
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski	Proizvodno strojništvo (smer)	1. letnik	1. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0566831
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	6046-M

Predavanja /Lectures	Seminar /Seminar	Vaje /Tutorials	Klinične vaje /Clinical tutorials	Druge oblike študija /Other forms of study	Samostojno delo /Individual student work	ECTS
30		30			65	5

Nosilec predmeta/Lecturer:	prof. dr. Roman Šturm, doc. dr. Sebastjan Žagar
-----------------------------------	---

Izvajalci predavanj:	
Izvajalci seminarjev:	
Izvajalci vaj:	
Izvajalci kliničnih vaj:	
Izvajalci drugih oblik:	
Izvajalci praktičnega usposabljanja:	

Vrsta predmeta/Course type:	Obvezni strokovni predmet na smeri Proizvodno strojništvo, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Production Engineering, which is an elective specialised course in other fields of study.
------------------------------------	---

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

Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:

Prerequisites:

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Magistrski študijski program II. stopnje Strojništvo - Razvojno raziskovalni program.	Meeting the enrollment conditions for the Master's study programme of Mechanical Engineering - Research and Development program.
---	--

Vsebina:

Content (Syllabus outline):

1. Določanje mikrostrukturnih premen:
 - Termična analiza, diferencialna termična analiza, dilatometrična analiza, metalografski način določevanja premen.
2. Kontinuirni in izotermni diagrami ohlajanja:
 - Konstrukcija TTT in CCT diagramov, mehanizem in morfologija nastanka perlita in bainita, martenzitna transformacija, nastanek in lastnosti martenzita.
3. Vpliv hitrosti ohlajanja jekla na nastalo mikrostrukturo:
 - Počasno ohlajanje, hitro ohlajanje – kaljenje, breznepetostno kaljenje, bainitno poboljšanje, gasilna sredstva in faze kaljenja, vpliv hitrosti ohlajanja na difuzijske in brezdifuzijske transformacije, popuščanje, mikrostrukture.
4. Kaljivost in prekaljivost:
 - Preizkus po Jominy-ju, vplivi na prekaljivost po Jominy-ju, Preizkus prekaljivosti po Grossmanu: predstavitev postopka, določevanje idealnega kritičnega premera kaljivosti D_i .
5. Kaljenje ogljikovih in legiranih orodnih jekel:
 - Vpliv legiranih elementov, nagnjenost k tvorbi karbidov, izbira načinov toplotne obdelave orodnih jekel, lastnosti orodnih jekel po toplotni obdelavi, popuščanje orodnih jekel.
6. Napetosti in napake pri kaljenju:
 - Popačenje in kalilne razpoke kot posledica termičnih in transformacijskih napetosti, sprememba mikrostrukture in notranjih napetosti med kaljenjem in popuščanjem jekel.
7. Lokalno in površinsko kaljenje:
 - Potopno kaljenje, kaljenje s plamenom, induktivno kaljenje, lasersko kaljenje, izbira postopka in izvedba posameznih načinov kaljenja, mikrostruktura in lastnosti površin.
8. Kemo-termični postopki utrjevanja površin:
 - Cementiranje, nitiranje, karbonitriranje, jekla za cementiranje, sredstva za ogljičenje, načini toplotne obdelave po ogljičenju, napake pri cementiranju...
9. Oplemenitenje površin:
 - Boriranje, CVD, PVD, anodizacija, galvanizacija, kromanje...
10. Preoblikovalni procesi v toplem in hladnem stanju:
 - Mikrostruktura po preoblikovanju, poprava in rekristalizacija mikrostrukture, termomehanske obdelave jekel, stanje in lastnosti materiala po termomehanski obdelavi, sprotna rekristalizacija.

1. Analysis of microstructural transformations: Thermal analysis, Differential thermal analysis, Dilatometry, Metallographic analysis of transformation
2. Continuous and isothermal cooling diagram: Construction of CCT/TTT diagram, mechanisms and morphology of pearlite / bainite, martensite transformation, martensite transformation and its properties.
3. Cooling rate and steel microstructure: Slow cooling, fast cooling – hardening, quenchants and phases of quenching, the impact of cooling rate on diffusion and non-diffusion transformations, tempering, and microstructures.
4. Hardenability and thru-hardenability: Jominy end-quench test, Grossman hardenability test: procedure, ideal critical diameter D_i
5. Hardening of carbon and alloyed tool steels: Influence of alloying elements, inclination towards forming of carbides, choosing of heat treatments for tool steels, microstructural changes during hardening and annealing, mechanical properties.
6. Hardening stresses and cracks: Distortion and hardening cracks due to transformation and thermal stresses, change of microstructure and residual stresses during hardening and tempering.
7. Local and case hardening: Sinking, flame, inductive, laser hardening; choosing a process and its performance, microstructure and surface properties.
8. Thermo-chemical surface treatments: Carburization, nitriding, carbo-nitriding, steels for nitriding, carburizing media, heat treatments after carburization, imperfections after carburization...
9. Surface processing: Boriding, CVD, PVD, anodization, galvanization, chroming...
10. Plastic forming in hot and cold state: Microstructure, recovery and recrystallization, thermomechanical processes, properties after thermomechanical process, grain recrystallization during plastic forming,
11. Heat treatment processes: Formation of austenite upon heating, heat transfer, heating in furnaces, mineral salt baths...

11. Načrtovanje tehnologije segrevanja in pregrevanja pri toplotni obdelavi: - Predpisovanje potrebnih pogojev segrevanja, načini prenosa toplote, osnovni podatki o hitrostih segrevanja v komornih in solnih pečeh... 12. Izbira tehnoloških parametrov popuščanja: - Hollomon-Jaffe relacija dosežene trdote z difuzijo ogljika iz martenzitne rešetke, Kraft Lamontova metoda. 13. Zaščita pri toplotni obdelavi: - Proti oksidaciji, razogljčenju, zaščita pri segrevanju v plamenskih in električnih pečeh, kontrola sestave zaščitnih plinov, ... 14. Predpisovanje različnih toplotnih postopkov v vakuumu: - žarjenje, kaljenje, popuščanje, cementiranje karbonitriranje, razplinjanje, trdo lotanje, sintranje. 15. Posebni postopki toplotne obdelave jekel: - Toplotna obdelava neželeznih zlitin na osnovi aluminija, bakra, titana, itd. Termomehanska obdelava izbranih neželeznih zlitin z mikrostrukturnimi spremembami in mehanskimi lastnostmi.	12. Selection of tempering technological parameters: Holloman-Jaffe parameter as a diffusion process, Kraft Lamont method... 13. Furnace atmosphere: Controlled protective atmospheres, controlled active atmospheres, basic means used to prepare controlled atmospheres. Furnaces and equipment for heat treatment of metals in controlled atmospheres. 14. Vacuum heat treatment: annealing, hardening, tempering, carburization, carbonitriding, sintering, degassing... 15. Special techniques for heat treatment of steels: Heat treatment of non-ferrous alloys based on aluminium, copper, titanium etc. Thermomechanical treatment of selected non-ferrous alloys with microstructural changes and mechanical properties.
--	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. D. R. Askeland: The science and engineering of materials, Sixth Edition, Chapman & Hall, London, 2011 [COBISS.SI-ID [5321057](#)]
2. M. Philip, B. Bolton: Technology of engineering materials, Butterworth Heinemann, Oxford, 2007 [COBISS.SI-ID [5489947](#)]
3. P.H. Morton: Surface engineering and heat treatment, The institute of metals, 1991 [COBISS.SI-ID [8116763](#)]
4. Moderno proizvodno inženirstvo, priročnik, ur. Karl Kuzman, Grafis trade, 2010 [COBISS.SI-ID [244690944](#)]
5. H.E. Boyer: Practical heat treatment, American society for metals, 1984 [COBISS.SI-ID [508699](#)]
6. P. Panjan: Zaščita orodij s trdimi PVD-prevlekami, IJS, 2005 [COBISS.SI-ID [223154176](#)]

Cilji in kompetence:

Cilji: 1. Spoznati različne vrste toplotnih obdelav kovinskih materialov, kaj se z mikrostrukturnega vidika dogaja med segrevanjem materiala in kakšne lastnosti materiala lahko dosežemo po ohlajanju v različnih sredstvih z različno stopnjo intenzivnosti ohlajanja. 2. Spoznati tehnološke parameter toplotnih obdelav. 3. Spoznati stroje in naprave v povezavi z določevanjem časov za izvedbo posameznih	Objectives and competences: Objectives: 1. To find out the different types of heat treatment of metallic materials, what happens from the microstructural point of view during the heating of the material and what properties of the material can be achieved after cooling in different media with different degrees of cooling intensity. 2. To know the technological parameter of heat treatments. 3. To know the machines and devices in connection with determining the time for the
---	---

elementov procesa toplotne obdelave materiala. Kompetence: 1. Sposobnost ocenjevanja lastnosti toplotno obdelanih materialov z vidika nastale mikrostrukture in doseženih lastnosti (S1,S2,S7-MAG+P2, P3-MAG) 2. Dobro poznavanje postopkov toplotne obdelave materialov in izbire ustreznega načina glede na zahtevane mehanske lastnosti materiala. (S1,S2,S7-MAG+P2,P3-MAG) 3. Sposobnost povezovanja vrste materiala in oblike izdelka pri predvidevanju pogojev toplotne obdelave za doseganje želenih lastnosti. (S1,S2,S7-MAG+P2,P3-MAG) 4. Obvladovanje določanja časa toplotne obdelave za različne vrste toplotnih obdelav in za različne materiale izdelkov. (S1,S2,S7-MAG+P2,P3-MAG)	implementation of the individual elements of the process of heat treatment of the material. Competences: 1. Ability to evaluate the properties of heat-treated materials in terms of the resulting microstructure and achieved properties (S1,S2,S7-MAG + P2,P3-MAG) 2. A good knowledge of the materials heat treatment processes and the selection of the appropriate method according to the required mechanical properties of the material. (S1,S2,S7-MAG + P2,P3-MAG) 3. Ability to relate material type and product form in anticipating heat treatment conditions to achieve desired properties. (S1,S2,S7-MAG + P2,P3-MAG) 4. Mastering the determination of heat treatment time for different types of heat treatments and for different product materials. (S1,S2,S7-MAG + P2-MAG)
--	--

Predvideni študijski rezultati:

Znanja: Študent pridobi osnovno znanje mehanskih in nekaterih fizikalnih lastnosti materialov po različnih toplotnih obdelavah. Študent pridobi sposobnost načrtovanja toplotnih obdelav glede na zahtevane lastnosti materialov v kompleksnih obratovalnih razmerah. Študent pridobi sposobnost ocenjevanja in primerjave podatkov o materialih oziroma zlitinah iz priročnika, ki so podani v tabelarični obliki ali v obliki diagramov.... Spretnosti: S1.1 - Znanje načrtovanja toplotnih obdelav v proizvodnji glede na željene cilje, S1.2 - Poznavanje mikrostrukturnih sprememb v material med toplotno obdelavo in z njimi povezanimi mehanskimi lastnostmi S1.3 - Izračun časov toplotne obdelave	Intended learning outcomes: Knowledge: The student acquires a basic knowledge of the mechanical and some physical properties of materials after various heat treatments. The student gains the ability to plan heat treatments according to the required material properties under complex operating conditions. The student acquires the ability to evaluate and compare material or alloy data from the manual, which are given in tabular or diagram form.... Skills: S1.3 - Knowledge of designing heat treatment in production according to desired goals, S1.2 - Knowledge of microstructural changes in material during heat treatment and related mechanical properties S1.3 - Calculation of heat treatment times
---	--

Metode poučevanja in učenja:

1. P1 – avditorna predavanja 2. P2 – obravnava snovi po urejeni in v naprej razloženi sistematiki 3. P3 – avditorne in laboratorijske vaje	Learning and teaching methods: 1. P1 Auditorial lectures. 2. P2 Treats substances according to an orderly and systematic explanation 3. P3 Auditorial and laboratory exercises. 4. P5 Application of study material (textbook, e-book, printed lecture presentations).
--	---

4. P5 – uporaba študijskega gradiva v obliki knjig, zapiskov predavanj – tiskana oblika, e-zapiski predavanj.	
---	--

Načini ocenjevanja:	Delež/Weight	Assessment:
- Teoretične vsebine (predavanja).	70,00 %	- Theoretical content (lectures).
- Delo na vajah (vključno s poročili).	30,00 %	- Laboratory work (including reports).

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:

Roman Šturm:

1. 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>, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.1016/j.jmrt.2022.01.156](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.01.156). [COBISS.SI-ID [97813507](#)]
2. ŽAGAR, Sebastjan, MRVAR, Primož, GRUM, Janez, **ŠTURM, Roman**. The influence of shot peening and artificially ageing aluminium alloy 7075 on corrosion behaviour. *Materials*. Apr. 2022, vol. 15, iss. 9, str. 1-13, ilustr. ISSN 1996-1944. <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/9/3094>, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.3390/ma15093094](https://doi.org/10.3390/ma15093094). [COBISS.SI-ID [105816579](#)]
3. MARKEŽIČ, Rok, MOLE, Nikolaj, NAGLIČ, Iztok, **ŠTURM, Roman**. Time and temperature dependent softening of H11 hot-work tool steel and definition of an anisothermal tempering kinetic model. *Materials today communications*. 2020, vol. 22, str. 1-7, ilustr. ISSN 2352-4928. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235249281930457X>, DOI: [10.1016/j.mtcomm.2019.100744](https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100744). [COBISS.SI-ID [17156379](#)]
4. 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>, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.3390/met9121271](https://doi.org/10.3390/met9121271). [COBISS.SI-ID [16961819](#)]
5. JEROMEN, Andrej, NAIR, Anish, MILOŠEV, Ingrid, **ŠTURM, Roman**, GOVEKAR, Edvard. Development of Ti-6Al-4V-4Cu alloy by DED-LB for biomedical applications. V: GOLOBIČ, Iztok (ur.). *Akademija strojništva 2025 : inženirstvo - stabilnost v času strateških preobrazb : [zbornik prispevkov 14. Mednarodne konference Zveze strojnih inženirjev Slovenije]*, Ljubljana, 17. novembra 2025. Ljubljana: Zveza strojnih inženirjev Slovenije - ZSIS, 2025. Letn. 14, št. 1/6, str. 138-139, ilustr. Svet strojništva, letn. 14, št. 1/6. ISSN 1855-6493. https://www.zveza-zsis.si/2025/10/29/svet-strojništva-akademija-strojništva-2025-november-2025/#dfliip-df_14576/138, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.62020/svet.str.as2025048](https://doi.org/10.62020/svet.str.as2025048). [COBISS.SI-ID [258549763](#)]

Sebastjan Žagar:

1. **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](#)]
2. **ŽAGAR, Sebastjan**, MRVAR, Primož, GRUM, Janez, **ŠTURM, Roman**. The influence of shot peening and artificially ageing aluminium alloy 7075 on corrosion behaviour. *Materials*. Apr. 2022, vol.

- 15, iss. 9, str. 1-13, ilustr. ISSN 1996-1944. <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/9/3094>, DOI: [10.3390/ma15093094](https://doi.org/10.3390/ma15093094). [COBISS.SI-ID [105816579](#)]
3. **ŽAGAR, Sebastjan**, MARKOLI, Boštjan, NAGLIČ, Iztok, ŠTURM, Roman. The influence of age hardening and shot peening on the surface properties of 7075 aluminium alloy. *Materials*. May 2021, vol. 14, iss. 9, str. 1-11, ilustr. ISSN 1996-1944. <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/9/2220>, DOI: [10.3390/ma14092220](https://doi.org/10.3390/ma14092220). [COBISS.SI-ID [62013443](#)]
 4. **ŽAGAR, Sebastjan**, ŠTURM, Roman. Influence of grinding on the residual stress measurements of shot peened aluminum alloy AA7075. *Strojniški vestnik*. July-Aug. 2019, vol. 65, no. 7/8, str. 401-409, si 51, ilustr. ISSN 0039-2480. <https://www.sv-jme.eu/article/influence-of-grinding-on-the-residual-stress-measurements-of-shot-peened-aluminum-alloy-aa7075/>, DOI: [10.5545/sv-jme.2019.6083](https://doi.org/10.5545/sv-jme.2019.6083). [COBISS.SI-ID [16702235](#)]
 5. **ŽAGAR, Sebastjan**, GRUM, Janez. Evaluation of the residual stresses and corrosion resistance of shot-peened 7075 aluminium alloy under different states. *International journal of materials & product technology*. 2016, vol. 53, nr. 3/4, str. 335-348, ilustr. ISSN 0268-1900. [COBISS.SI-ID [14885403](#)]