

TEHNOLOGIJA ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA

Knjiga predstavlja celovit prikaz teorije i prakse tehnologije istiskivanja aluminijumskih legura. Obuhvaćene su sve ključne faze procesa – od pripreme poluproizvoda i konstrukcije alata, preko principa rada presa i tehnologije istiskivanja, do završnih operacija i kontrole kvaliteta.

Poseban akcenat stavljen je na konstrukciju i proveru alata, izbor parametara procesa, karakteristike aluminijumskih legura i najčešće pojave defekata sa merama za njihovo otklanjanje.

Knjiga je namenjena studentima mašinstva, inženjerima, tehnolozima i svima koji se bave razvojem i primenom procesa istiskivanja u industrijskoj praksi.



TEHNOLOGIJA ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA

Dr Tomislav
Marinković

Niš, 2026.



UNIVERZITET U NIŠU
MAŠINSKI FAKULTET



Dr Tomislav Marinković

TEHNOLOGIJA ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA U TOPLOM STANJU



Dr Tomislav Marinković



MAŠINSKI FAKULTET U NIŠU
Aleksandra Medvedeva 14
18000 Niš, Srbija
Tel: +381 18 500-300
www.masfak.ni.ac.rs

ISBN 978-86-12345-00-0



9 788612 345000 >



UNIVERZITET U NIŠU

Mašinski fakultet

Dr Tomislav R. Marinković

**TEHNOLOGIJA ISTISKIVANJA
ALUMINIJUMSKIH LEGURA U
TOPLOM STANJU**

Niš, 2026.

TEHNOLOGIJA ISTISKIVANJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA U TOPLOM STANJU

Autor:

Dr Tomislav R. Marinković

Recenzenti:

Dr Saša S. Randelović, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu,

Dr Vesna Mandić, redovni profesor Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu.

Izdavač:

Mašinski fakultet u Nišu

Tiraž: 200 primeraka

Lektor: Radosav Jovanović, prof. srpskog jezika i književnosti

Štampa: Grafika Galeb, Niš

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

621.777.2:669.716

МАРИНКОВИЋ, Томислав Р., 1953-

Tehnologija istiskivanja aluminijumskih legura u toplom stanju / Tomislav R.

Marinković. - 1. izd. - Niš : Mašinski fakultet, 2026 (Niš : Grafika Galeb). - 233 str.

: ilustr. ; 24 cm

Na vrhu nasl. str.: Univerzitet u Nišu. - Autorova slika. - Тираж 200. - О аутору:

str. [235]. - Bibliografija: str. 227-232.

ISBN 978-86-6055-208-4

a) Алуминијум -- Istiskivanje

COBISS.SR-ID 198621449

© Zabranjeno je kopiranje i umnožavanje ove knjige, kao i njenih ilustracija bez pismene saglasnosti izdavača i autora.

... mojoj supruzi.

PREDGOVOR

Ova knjiga nastala je kao rezultat dugogodišnjeg rada u oblasti tehnologije toplog istiskivanja aluminijumskih legura, ali i kao odgovor na sve izraženiji nedostatak stručne literature i obučenih kadrova u ovoj oblasti. U savremenoj industriji više nema vremena za dugotrajno "učenje kroz greške", niti za višemesečno upoznavanje sa tehnologijom pre nego što inženjer počne da donosi svoja tehnološka i konstruktivna rešenja. Potreba za jasnim, sistematizovanim, brzim i praktično primenljivim znanjem danas je veća nego ikada.

U razvijenim industrijskim zemljama tehnologija istiskivanja aluminijuma izučava se na tehničkim fakultetima. Na pojedinim univerzitetima, posebno na višim nivoima studija, postoje i specijalizovani kursevi posvećeni ovoj oblasti, gde se tehnologija plastičnog deformisanja obrađuje detaljnije, sa naglaskom na industrijsku primenu i savremene metode analize procesa. Nažalost, u zemljama našeg regiona ne postoji dovoljno stručne literature koja bi mladim inženjerima omogućila brzo i pouzdano razumevanje ove složene tehnologije. Veliki deo znanja i dalje se prenosi usmeno, kroz praksu, često uz nepotrebno trošenje vremena i materijala. Ova knjiga ima za cilj da to delimično promeni. Nastala je sa idejom da objedini primenjena teorijska znanja i, što je još važnije, praktična iskustva stečena tokom dugogodišnjeg rada u industriji. Poseban akcenat stavljen je na realne probleme koji se javljaju u proizvodnji, načine njihovog prepoznavanja i metode njihovog rešavanja.

Knjiga je namenjena pre svega mladim inženjerima i tehnolozima koji ulaze u oblast toplog istiskivanja aluminijumskih legura, ali i iskusnim stručnjacima koji žele da unaprede svoja znanja. Ona pomaže da se preciznije razumeju mnogi stručni pojmovi i termini iz obimne literature na stranim jezicima razvijenih industrijskih zemalja.

Bez dubljeg ulaženja u teorijske analize i matematičko modeliranje, procesi toplog istiskivanja analiziraju se kroz realne parametre i pokazatelje, sa ciljem da se izbegne neprimenjiva teorija bez praktične provere, kao i pojednostavljenja koja mogu dovesti do pogrešnih zaključaka. Cilj je da se čitaocu omogući razumevanje procesa u celini - od metalurških osnova, preko konstrukcije alata i tehnoloških karakteristika opreme, do uticaja procesnih parametara na kvalitet finalnog proizvoda.

Posebno mesto u knjizi zauzimaju alati za istiskivanje profila, jer upravo oni predstavljaju ključnu vezu između teorije i prakse. Kroz njih se najjasnije vidi koliko je tehnologija istiskivanja spoj primenjene teorije plastičnog deformisanja, iskustva i inženjerske kreativnosti i intuicije.

Iskustvo pokazuje da se ključni problemi u procesu često mogu uočiti već na samom početku istiskivanja profila. Upravo ti prvi istisnuti metri profila, koje mnogi zanemaruju, nose najviše informacija o stanju alata, materijala i procesnih parametara. Bolje razumevanje tih tehnoloških pojava jedan je od osnovnih ciljeva ove knjige.

Ako ova knjiga pomogne da mladi inženjeri u svojoj profesionalnoj karijeri izbegnu tehnološke dileme na samom početku, da brže otkriju uzroke i posledice problema u procesu i da pravilnije sagledaju značaj konstrukcije alata, čime stiču sigurnost i razvijaju industrijsku praksu, njen osnovni cilj biće ispunjen.

Konačno, posebnu zahvalnost dugujem recenzentu prof. dr Saši Randeloviću koji je svojim naučnim, stručnim, inženjerskim i konstruktivnim primedbama doprineo da ovaj rukopis dobije konačan oblik i kvalitet savremenih izdanja u ovoj oblasti. Zahvaljujem se prof. dr Vesni Mandić na uloženom vremenu i pažnji prilikom recenziranja sadržaja knjige.

Posebnu zahvalnost izražavam prof. dr Veliboru Marinkoviću, prof. dr Predragu Jankoviću i Miodragu Kršaninu, čiji su komentari, iskustvo i podrška imali značajan uticaj na konačno formiranje rukopisa.

jul 2026. u Nišu

Autor

SADRŽAJ

PREDGOVOR	4
1. UVOD	11
2. KRATAK PREGLED PRIMENE I PRERADE	
ALUMINIJSKIH LEGURA	13
2.1 RAZVOJ TEHNOLOGIJE ISTISKIVANJA	13
2.2 SAVREMENI TRENDVI RAZVOJA	15
2.3 LEGURE ALUMINIJUMA.....	16
2.3.1 Izbor legura prema nameni	17
2.4 PROIZVODNI KAPACITETI NA GLOBALNOM NIVOU	20
2.5 INDUSTRIJSKI RAZVOJ RECIKLAŽE	23
3. METALURŠKE OSNOVE ALUMINIJUMA	29
3.1 PUT ALUMINIJUMA OD RUDE DO TRUPCA.....	29
3.2 TERMIČKA STANJA LEGURA ALUMINIJUMA	33
3.3 INDUSTRIJSKA KONTROLA TRUPACA OD AL-LEGURA	35
3.4 UTICAJ METALURŠKIH FAKTORA NA KVALITET ELOKSAŽE.....	36
4. PRESE ZA ISTISKIVANJE PROFILA.....	39
4.1. ULOGA I ZNAČAJ PRESE U PROCESU ISTISKIVANJA	39
4.2 OSNOVNA PODELA PRESA ZA ISTISKIVANJE PROFILA OD AL-LEGURA U TOPLOM STANJU.....	40
4.3 OSNOVNI ELEMENTI PRESE I NJIHOV MEĐUSOBNI ODNOS	41
4.3.1 Naponsko stanje stanje u kontejneru sa i bez međučauze	41
4.4 ULOGA ALATAI ZA ISTISKIVANJE	52
4.5 PRESE ZA ISTOSMERNI ISTISKIVANJE	53

4.6 PRESE ZA SUPROTNOSMERNOST ISTISKIVANJE	54
4.7 RASPODELA SILE I ENERGETSKI GUBICI	55
4.8 GEOMETRIJSKA TAČNOST I CENTRIRANOST PRESE.....	56
4.9 ANALIZA DEFORMACIONE SILE PRESE I SPECIFIČNOG PRITISKA	57
4.10 KRATKOHODNE PRESE – KONSTRUKCIJA I PREDNOSTI.....	61
4.11 OČEKIVANI PRAVCI RAZVOJA PRESA ZA ISTISKIVANJE ALUMINIJUMSKIH LEGURA.....	65
5. OPREMA ZA ISTISKIVANJE PROFILA	69
5.1 ELEMENTI TEHNOLOŠKE LINIJE ZA ISTISKIVANJE.....	69
5.2. PEĆI ZA PROGREVANJE TRUPACA I ALATA	
5.2.1 Peći za progrevanje trupaca	71
5.2.2. Peći za progrevanje alata	72
5.3. PROCESNA OPREMA ZA OBRADU PROFILA	73
5.3.1. Odvajanje presostatka i prihvati profila	73
5.3.2. Hlađenje i transport profila	75
5.3.3. Uređaj za ispravljanje profila istezanjem.....	76
5.3.4. Sečenje i odlaganje profila na zahtevanu dužinu.....	79
5.4 OTPAD PROFILA U PROCESU ISTISKIVANJA	80
5.5 IZBOR OPREME ZA POGON PRESAONICE.....	83
5.5.1 Najvažniji ulazni parametri ciljne grupe profila.....	84
5.6 AUTOMATIZACIJA LINIJE ZA ISTISKIVANJE PROFILA.....	90
5.6.1 Poluautomatske linije za istiskivanje	90
5.6.2 Automatske linije za istiskivanje	91
5.7 BEZBEDNOST U POGONIMA ZA ISTISKIVANJE ALUMINIJUMSKIH LEGURA	96
5.8 PRAVCI RAZVOJA OPREME ZA ISTISKIVANJE ALUMINIJUMSKIH LEGURA U TOPLOM STANJU	97
6. UTICAJNI FAKTORI NA PROCES ISTISKIVANJA	101
6.1 UTICAJ HEMIJSKOG SASTAVA I STANJA MATERIJALA.....	102
6.1.2. Homogenizacija trupaca	102
6.3 TEMPERATURA PRIPREMKA, KONTEJNERA I ALATA.....	108
6.3.1. Hlađenje alata i upravljanje temperaturom procesa	111
6.3.2. Uticaj temperature priprema na silu istiskivanja	112
6.4 BRZINA ISTISKIVANJA I KINEMATIKA PROCESA	114
6.4.1. Parametri brzine istiskivanja	117

6.5 STEPEN DEFORMACIJE I ODNOS PRESEKA PRI ISTISKIVANJU LEGURE 6063 U TOPLOM STANJU	118
6.6 UTICAJ TRENJA NA PROCES ISTOSMERNOG ISTISKIVANJA.....	122
6.6.1. Uticaj trenja na silu istiskivanja.....	124
6.7 PROMENA PRITISKA TOKOM PROCESA ISTISKIVANJA.....	127
7. KLASIFIKACIJA I STEPEN SLOŽENOSTI PROFILA.....	129
7.1 DEFINICIJA PROFILA.....	129
7.2 GEOMETRIJSKI KRITERIJUM STEPENA ZATVORENOSTI PROFILA	132
7.3 KLASIFIKACIJA SLOŽENOSTI PROFILA.....	134
7.3.1 Geometrijska složenost profila	134
7.3.2 Proizvodna složenost	136
7.3.3 Ukupni stepen složenosti profila.....	137
7.3.4 Vizuelna klasifikacija profila.....	137
8. ALATI ZA ISTISKIVANJE PROFILA U TOPLOM STANJU	139
8.1 ČELICI ZA IZRADU ALATA	142
8.1.1 Hemijski sastav i mehaničke osobine	142
8.2 VEZA IZMEĐU PROFILA I ALATA – OSNOVNA KLASIFIKACIJA.....	143
8.2.1 Podela alata prema tipu profila.....	144
8.3 TOK METALA KROZ ALAT	147
8.3.1 Tok metala kroz alat za istiskivanje šupljih profila	148
8.3.2 Tok metala kroz alat za istiskivanje punih profila	149
8.3.3 Eksperimentalna verifikacija toka metala	150
8.4 KONSTRUKCIJA ALATA ZA ISTISKIVANJE PROFILA	151
8.4.1 Izbor tipa alata na osnovu vrste profila	152
8.4.2 Granice između polušupljih i šupljih profila.....	153
8.4.3 Praktičan primer izbora tipa alata	154
8.5 KONSTRUKCIJA ALATA ZA ISTISKIVANJE ŠUPLJIH PROFILA	156
8.6 URAVNOTEŽENJE TOKA METALA U ALATU	165
8.7 KONSTRUKCIJA ALATA ZA ISTISKIVANJE PUNIH PROFILA	171
8.8 KONSTRUKCIJA ALATA ZA ISTISKIVANJE POLUŠUPLJIH PROFILA	176
8.8.1 Konstruktivna rešenja alata	177

8.9 METODE KONSTRUISANJA ALATA	181
8.9.1 Konstruisanje alata danas	181
8.9.2 Napredne metode konstruisanja alata	184
8.10 NAPONSKO–DEFORMACIONA ANALIZA ALATA.....	186
8.10.1 Modeli za analizu	186
8.10.2 Rezultati analize napona	188
8.11. SAVREMENE TEHNOLOGIJE IZRADE ALATA	190
8.12. KOREKCIJA ALATA I DIJAGNOSTIKA NA OSNOVU PROBNOG ISTISKIVANJA	195
8.12.1. Tehnološki postupak korekcije	198
8.12.2. Dijagnostika na osnovu probnog uzorka	199
8.12.3. Tipične greške i njihove korektivne mere	200
8.13. ODRŽAVANJE ALATA U TOKU EKSPLOATACIJE.....	209
8.14. POJAVA I ANALIZA LOMOVA ALATA	214
8.14.1 Karakteristična mesta loma matrica za istiskivanje punih profila	214
8.14.2 Karakteristična mesta loma matrica za istiskivanje šuplih profila	216
8.14.3 Karakteristični lomovi alata za istiskivanje aluminijumskih legura	219
LITERATURA	227
