

Milorad POLJAŠEVIĆ

# SA VREMENE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE U MAŠINSTVU

VISOKA POSLOVNO TEHNIČKA ŠKOLA  
DOBOJ

**SAVREMENE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE U MAŠINSTVU**  
**Monografija**

**Autor:**

Prof. dr Milorad Poljašević

**Izdavač:**

Visoka poslovno tehnička škola  
Doboj

**Odgovorno lice izdavača:**

Doc. dr Ladin Gostimirović, direktor VPTŠ, Doboj

**Recenzenti:**

Prof. dr Perica Gojković  
Doc. dr Milan Milotić

**Tehnički urednik:**

Radomir Simikić

**Lektor:**

Dr Slavica Gostimirović

**Štamparija:**

Grafičar Doboj

**Tiraž:**

300

© Visoka poslovno tehnička škola, Doboj, 2017.

ISBN 978-99976-689-4-3

VISOKA POSLOVNO TEHNIČKA ŠKOLA  
D O B O J

**Prof. dr Milorad Poljašević**

# **SAVREMENE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE U MAŠINSTVU**

**Doboj, 2017.**

<b>1.0 SAVREMENE TEHNOLOGIJE U MAŠINSTVU</b> .....	<b>11</b>
Uvod.....	11
1.1. Opšti istorijski razvoj proizvodnih procesa i sistema.....	12
1.2. Tehnološki razvoj i značaj tehnologije.....	13
1.3. Značaj implementacije novih proizvodnih tehnologija.....	14
1.4. Klasične proizvodne tehnologije.....	15
1.5. Fleksibilne proizvodne tehnologije.....	16
1.6. Nove i nekonvencionalne tehnologije.....	16
1.6.1. Obrada skidanjem strugotine.....	16
1.6.2. Obrada plastičnim deformisanjem.....	17
1.6.3. Tehnologije površinske obrade.....	19
1.6.4. Visokobrzinske obrade.....	19
1.7. Informatizacija proizvodnih tehnologija.....	20
<b>2.0 OBRADA METALA LASEROM</b> .....	<b>23</b>
2.1. Laserski sistemi.....	23
2.1.1. Fokusiranje laserskog snopa.....	25
2.1.2. Interakcija laserskog snopa i osnovnog materijala.....	25
2.2. Primjena lasera.....	27
2.3. Lasersko zavarivanje čelika.....	29
2.3.1. Primjena laserskog zavarivanja.....	32
2.3.2. Prilagođavanje konstrukcije laserskom zavarivanju.....	32
2.3.3. Prikladnost čelika za zavarivanje laserom.....	33
2.3.4. Toplotna obrada spojeva zavarenih laserom.....	36
2.3.5. Ispitivanje spojeva zavarenih laserom.....	36
2.3.6. Uloga zaštitnog gasa pri laserskom zavarivanju.....	38
2.3.7. Uticaj zaštitnog gasa na oduvavanje plazme.....	39
2.3.8. Uticaj dovođenja gasa.....	40
2.3.9. Uticaj zaštitnog gasa na brzinu zavarivanja.....	41
2.3.10. Uticaj zaštitnog gasa na geometriju zavara.....	41
2.3.11. Uticaj gasova na metalurgiju i mehanička svojstva zavara.....	42
2.4. Lasersko rezanje.....	44
2.4.1. Lasersko rezanje topljenjem.....	45
2.4.2. Lasersko rezanje kisonikom.....	46
2.4.3. Lasersko rezanje isparavanjem.....	47
2.4.4. Parametri procesa rezanja.....	48
2.4.4.1. Kontinuirani ili impulsnii laser.....	48
2.4.4.2. Žarišna (žižna) dužina.....	49
2.4.4.3. Položaj žarišta u odnosu na površinu radnog komada.....	49
2.4.4.4. Brzina rezanja sa laserom.....	50
2.4.4.5. Gasovi za rezanje.....	51

2.4.5. Lasersko rezanje nerđajućih čelika .....	51
2.7.5.1. Lasersko rezanje nerđajućih čelika inertnim gasom .....	51
2.4.5.2. Lasersko rezanje nerđajućih čelika kisonikom .....	53
2.4.6. Poređenje cijene i kvaliteta rezanja lasera sa ostalim tehnologijama .....	54
2.4.7. Lasersko označavanje i graviranje .....	56
2.4.8. Lasersko bušenje .....	57
<b>3.0 OBRADA VODENIM MLAZOM .....</b>	<b>59</b>
3.1. Karakteristike tehnologije rezanja vodenim mlazom .....	60
3.2. Upotreba vodenog mlaza .....	60
3.3. Vodeni mlaz .....	61
3.3.1. Rezanje čistim vodenim mlazom .....	62
3.3.2. Rezanje abrazivnim vodenim mlazom .....	63
3.3.3. Ubrzanje abrazivnih čestica .....	67
3.3.4. Zadaci i vrste abraziva .....	67
3.4. Kvalitet površina i tehnološki parametri rezanja vodenim mlazom .....	68
3.5. Postrojenje za obradu vodenim mlazom .....	74
3.6. Prednosti i nedostaci obrade vodenim mlazom .....	76
3.7. Područja primjene .....	77
3.8. Zaključak .....	79
<b>4.0 OBRADA METALA PLAZMOM .....</b>	<b>81</b>
4.1. Uvod .....	81
4.1. Postupci rezanja plazmom .....	84
4.1.1. Plazma rezanje bez sekundarnog medija .....	85
4.1.2. Plazma rezanje kisonikom (1983) .....	86
4.1.3. Plazma rezanje sa sekundarnim medijem .....	87
4.1.3.1. Plazma rezanje sa sekundarnim gasom .....	87
4.1.3.2. Rezanje plazmom s ubrizgavanjem kisonika (1985.) .....	88
4.1.4. Rezanje ispod vode (1977.) .....	88
4.1.5. Plazma rezanje s injektiranom vodom .....	90
4.1.6. Plazma rezanje sa povećanim suženjem plazmenog luka .....	91
4.1.7. Sistem za plazma rezanje .....	92
4.1.7.1. Izvor struje za plazma rezanje .....	93
4.1.8. Pištolj za plazma rezanje .....	95
4.1.8.1. Regulacija visine pištolja za plazma rezanje od radnog komada .....	97
4.1.8.2. Sistem za vođenje .....	98
4.1.9. Glavni parametri rezanja plazmom i njihov uticaj na kvalitet rezanja .....	100
4.1.10. Dijagnostika nastalih nepravilnosti u kvalitetu reza .....	105
4.1.10.1. Ugao rezanja .....	105
4.1.10.2. Površinska obrada .....	107
4.1.10.3. Šljaka .....	108
4.1.11. Tehnički gasovi za plazma rezanje .....	108

4.1.11.1. Smjernice za izbor gasa za rezanje plazmom .....	111
4.1.12. Zaključak .....	112
<b>5.0 SPECIJALNE TEHNIKE I TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA .....</b>	<b>115</b>
5.1. Oblikovanje djelovanjem fluida .....	115
5.1.1. Oblikovanje lima .....	116
5.1.2. Oblikovanje cijevi .....	117
5.2. Obrada metala pomoću eksploziva .....	118
5.2.1. Zavarivanje metala eksplozivom .....	119
5.2.1.1. Proces zavarivanja metala eksplozivom .....	119
5.2.1.2. Faktori koji utiču na uspješnost zavarivanja metala eksplozivom .....	121
5.2.2. Oblikovanje metala eksplozivom .....	121
5.2.2.1. Metode i sistemi oblikovanja metala eksplozivom .....	122
5.2.2.2. Faktori koji utiču na oblikovanje metala eksplozivom .....	124
5.2.3. Rezanje metala eksplozivom .....	125
5.2.3.1. Rezanje upotrebom kontaktnih eksplozivnih punjenja .....	126
5.2.3.2. Rezanje upotrebom kumulativnih eksplozivnih punjenja .....	126
5.2.4. Popuštanje zaostalih naprezanja eksplozivom .....	128
5.2.5. Kompaktiranje metalnih prahova eksplozivom .....	129
5.2.5.1. Kompaktiranje primjenom udarnog klipa .....	130
5.2.5.2. Kompaktiranje primjenom cilindra .....	130
5.2.6. Povećanje tvrdoće materijala eksplozivom .....	131
5.2.7. Zaključak .....	132
5.3. Oblikovanje elektromagnetskim poljem .....	133
5.3.1. Prednosti oblikovanja elektromagnetskim poljem .....	134
5.4. Superplastično oblikovanje .....	134
5.4.1. Superplastičnost titanovih legura .....	135
5.4.2. Superplastično oblikovanje aluminijuma .....	136
5.4.3. Postrojenje za superplastično oblikovanje limova .....	137
5.4.4. Primjena superplastičnog oblikovanja .....	139
5.4.5. Prednosti i nedostaci superplastičnog oblikovanja .....	142
5.5. Inkrementalno oblikovanje lima (ISMF- Incremental Scheet Metal Forming) .....	142
5.5.1. Inkrementalno oblikovanje lima vodenim mlazom (WJISMF- Wa- ter Jet Incremental Scheet Metal Forming) .....	145
5.5.2. Zaključak .....	147
<b>6.0 NOVE TEHNOLOGIJE BRZE IZRADE DIJELOVA I NJIHOVA PRIMJENA U PROIZVODNIM PROCESIMA .....</b>	<b>149</b>
6.1. 3D tehnologije izrade proizvoda .....	151
6.1.1. Stereolitografija .....	151
6.1.2. PolyJet postupak .....	153
6.1.3. Selektivno lasersko srašćivanje (selektive Laser Sintering- SLS) .....	154
6.1.4. Selektivno lasersko topljenje (Selektive Laser melting-SLM) .....	157

6.1.5. Izrada proizvoda laminiranjem.....	157
6.1.6. Očvršćavanje digitalno obrađenim svjetlosnim signalom (digital light processing-DLP).....	159
6.1.7. 3D print tehnologija .....	160
6.1.8. Taložno očvršćavanje (Fused Deposition Modeling- FDM).....	163
6.1.9. Direktno taloženje metala (Laser Engineering Net Shaping- LENS).....	164
6.1.10 Direktno taloženje metalnog praha (Direct Metal Deposition-DMD) .....	165
6.1.11. Topljenje pomoću snopa elektrona (Elektron Beam Melting- EBM) .....	165
6.2. Područja primjene .....	167
6.3. Problemi i ograničenja .....	169
6.3.1. Efekt stubišta .....	169
6.3.2. Teselacija .....	170
6.4. Razvoj proizvoda u zavisnosti od buduće eksploatacije .....	175
<b>7.0 UPOTREBA 3D TEHNOLOGIJA U BRZOM REINŽINJERINU</b>	
<b>KONSTRUKCIJA</b> .....	<b>179</b>
<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>181</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>183</b>

CIP - Каталогizacija u publikaciji  
Narodna i univerzitetska biblioteka  
Republike Srpske, Banja Luka

621.7/.9

ПОЉАШЕВИЋ, Милорад

Savremene proizvodne tehnologije u mašinstvu / Milorad  
Poljašević. - Doboј : Visoka poslovno tehnička škola, 2017 (Doboј :  
Grafičar). - 186 str. : ilustr. u boji ; 25 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 183-184.

ISBN 978-99976-689-4-3

COBISS.RS-ID 6811416