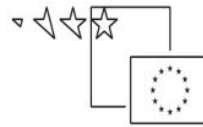




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

TEHNOLOGIJA

DUŠAN ŠIRCELJ
ANTON DROBNIČ

Višješolski strokovni program: Strojništvo
Učbenik: Tehnologija
Gradivo za 2. letnik

Avtorja:

Dušan Šircelj, univ. dipl. inž. stroj.
Anton Drobnič, univ. dipl. inž. stroj.
ŠOLSKI CENTER POSTOJNA
Višja strokovna šola



Strokovni recenzent:

Tomaž Pintarič, univ. dipl. inž. stroj.

Lektorica:

Bianka Ledinek Pahor, prof. slov.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

Izdajatelj: Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM
Založnik: Zavod IRC, Ljubljana.
Ljubljana, 2011

Strokovni svet RS za poklicno in strokovno izobraževanje je na svoji ___ seji dne _____ na podlagi 26. člena Zakona o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (Ur. l. RS, št. 16/07-ZOFVI-UPB5, 36/08 in 58/09) sprejel sklep št. _____ o potrditvi tega učbenika za uporabo v višješolskem izobraževanju.

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja ter prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO VSEBINE

PREDGOVOR	3
1 IZDELOVALNE ZAHTEVE IN ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI	9
1.1 KAJ JE ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI	9
1.2 ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V PROIZVODNIH PROCESIH	10
1.2.1 <i>Mere</i>	11
1.2.2 <i>Oblika</i>	13
1.2.3 <i>Hrapavost</i>	15
1.3 TEHNOLOŠKE MERITVE V STROJNIŠTVU	15
1.4 MERITVE V MERILNIH LABORATORIJIH	17
1.5 OSNOVNA MERILA	17
1.5.1 <i>Meritve dolžin v izdelovalnih procesih</i>	19
1.5.2 <i>Meritve kotov v izdelovalnih procesih</i>	20
1.5.3 <i>Meritve oblike in lege v izdelovalnih procesih</i>	21
1.5.4 <i>3D in optične merilne naprave</i>	25
1.6 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	27
2 POSTOPKI OBLIKOVANJA	28
2.1 LITJE	28
2.1.1 <i>Litje v enkratne forme</i>	28
2.1.2 <i>Litje v trajne forme</i>	29
2.2 OBLIKOVANJE IZ PRAHOV	31
2.2.1 <i>Osnovni pojmi sintranja</i>	31
2.2.2 <i>Tehnološke faze sintranja</i>	32
2.3 OBLIKOVANJE UMETNIH MAS	36
2.3.1 <i>Napake pri oblikovanju umetnih mas</i>	49
2.4 OBLIKOVANJE IZ IONOV	50
2.4.1 <i>Ioni in nanotehnologija</i>	50
2.4.2 <i>Ioni in površinske prevleke</i>	51
2.5 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	56
3 POSTOPKI LOČEVANJA	57
3.1 UVOD	57
3.2 TVORBA ODREZKA PRI ODREZAVANJU	59
3.3 GIBANJA PRI ODREZAVANJU	59
3.4 GEOMETRIJSKE RAZMERE PRI ORODJIH ZA ODREZAVANJE	60
3.5 REZALNA ORODJA	62
3.6 POSTOPKI ROČNE OBDELAVE	66
3.7 STRUŽENJE	66
3.7.1 <i>Vrste orodij za struženje</i>	67
3.7.2 <i>Označevanje rezalnih ploščic</i>	68
3.7.3 <i>Parametri dela</i>	68
3.8 REZKANJE	70
3.9 VRSTE REZKANJ	71
3.9.1 <i>Orodja za rezkanje</i>	73
3.10 PARAMETRI OBDELAVE	73
3.11 VRTANJE	76
3.12 GREZENJE	78
3.13 POVRTAVANJE	79
3.14 POSNEMANJE	80
3.15 BRUŠENJE	81
3.16 VRSTE BRUŠENJA	82
3.16.1 <i>Brušenje ravnih ploskev</i>	82
3.16.2 <i>Brušenje rotacijskih ploskev</i>	83
3.17 HONANJE	84
3.18 SUPERFINIŠ	85
3.19 OBDELAVA Z ELEKTRONSKIM SNOPI – EBM	85
3.20 ULTRAZVOČNA OBDELAVA – USM	86
3.21 ELEKTROEROZIJA	87
3.22 RAZVOJ STROKE – VISOKOHITROSTNA OBDELAVA	90
3.23 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	92
4 POSTOPKI SPREMINJANJA LASTNOSTI MATERIALA	94

4.1	UVOD	94
4.2	TOPLOTNA OBDELAVA	94
4.3	KALJENJE JEKEL	96
4.3.1	<i>Popuščanje jekla</i>	96
4.4	POBOLJŠANJE	97
4.5	POVRŠINSKO UTRJEVANJE	97
4.6	BORIRANJE	99
4.7	TRDO KROMANJE	99
4.8	VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	99
5	POSTOPKI PREOBLIKOVANJA	100
5.1	ZNAČILNOSTI PREOBLIKOVANJA IN VPLIVI NA PROCES	100
5.1.1	<i>Razdelitev postopkov</i>	100
5.1.2	<i>Vpliv lastnosti materiala in pogojev preoblikovanja</i>	100
5.2	ZNAČILNOSTI POSAMEZNIH POSTOPKOV	104
5.2.1	<i>Nakrčevanje</i>	105
5.2.2	<i>Hladno iztiskavanje</i>	105
5.2.3	<i>Stanjševalni vlek</i>	107
5.2.4	<i>Vlečenje</i>	107
5.2.5	<i>Valjanje</i>	108
5.2.6	<i>Kovanje, gravirno kovanje, hladno vtiskanje gravur in kalibriranje</i>	109
5.2.7	<i>Globoki vlek in sorodni postopki</i>	111
5.2.8	<i>Upogibanje in oblikovanje z orodji s krožnim tekom</i>	114
5.2.9	<i>Preoblikovanje z visokimi tlaki</i>	118
5.3	LOČEVANJE ALI REZANJE – STRIŽNO PREOBLIKOVANJE	120
5.4	VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	125
6	POSTOPKI SPAJANJA	126
6.1	OSNOVNI POJMI PRI VARJENJU	126
6.2	VARJENJE S PRITISKOM	127
6.2.1	<i>Elektroporovno varjenje</i>	127
6.2.2	<i>Elektroporovno točkovno varjenje</i>	128
6.2.3	<i>Kondzatorsko točkovno varjenje</i>	130
6.3	ELEKTRIČNO OBLOČNO VARJENJE	131
6.3.1	<i>Zaščita obloka in zvara</i>	132
6.3.2	<i>Ročno obločno varjenje (RO)</i>	132
6.3.3	<i>MIG in MAG postopka varjenja</i>	134
6.3.4	<i>TIG (WIG) postopek varjenja</i>	136
6.3.5	<i>Elektro obločno varjenje pod praškom</i>	138
6.4	PLAMENSKO VARJENJE	139
6.5	VARJENJE IN REZANJA S PLAZMO	141
6.6	ADHEZIVNO SPAJANJE	144
6.6.1	<i>Lotanje (spajkanje)</i>	145
6.6.2	<i>Lepljenje</i>	146
6.7	SPAJANJE Z OBLIKOVANJEM	146
6.8	MEHANSKO STISKANJE	147
6.9	KOVIČENJE	147
6.10	VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	148
7	POVRŠINSKE PREVLEKE	150
7.1	PRIPRAVA POVRŠIN	150
7.2	POSTOPKI NANAŠANJA POVRŠINSKIH PREVLEK	151
7.2.1	<i>Potapljanje v talino</i>	151
7.2.2	<i>Emajliranje</i>	152
7.2.3	<i>Barvanje in lakiranje</i>	153
7.2.4	<i>Nanašanje prašnih prevlek</i>	154
7.2.5	<i>Termično brizganje</i>	154
7.2.6	<i>Izdelava prevlek z varjenjem in lotanjem</i>	158
7.2.7	<i>PVD in CVD postopki</i>	161
7.2.8	<i>Galvanizacija</i>	162
7.3	KONTROLA POVRŠINSKIH PREVLEK	164
7.4	VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE	164
8	SKLEP	165
9	LITERATURA	166

PREDGOVOR

Učbenik, ki je pred vami, bo pomagal razjasniti osnovne pojme tehnologije. Pri tem se nam takoj postavi vprašanje, kaj tehnologija sploh je. Slovar slovenskega knjižnega jezika (1994, 1392) navaja, da je tehnologija »veda o pridobivanju surovin, obdelavi, predelavi materiala v izdelke«. To definicijo lahko dopolnimo, da je tehnologija sistematično uporabljane znanstvenega in drugega organiziranega znanja pri praktičnih nalogah. Praktične naloge so lahko, naprimer, pridobivanje surovin in njihova predelava v polizdelke in izdelke. Danes živimo v potrošniški družbi in izdelki nas vsepovsod obkrožajo. Pri tem si lahko postavimo naslednja vprašanja:

Kako se izdelata kemični svinčnik?

S katerimi kemičnimi postopki pridobimo plastiko?

Kako plastiko predelujemo v uporabne izdelke?

Kako se izdelata avtomobilska vrata?

Kako iz rude pridobimo kovine?

Kako surovini (jeklu) spremenimo osnovne mehanske lastnosti, kot so trdota, žilavost?

Kako lahko iz kosa neobdelanega materiala dobimo polizdelek ali končni izdelek?

Celoten postopek izdelave nekega končnega izdelka je lahko sorazmerno enostaven ali kompleksen. Poznamo zelo veliko različnih tehnologij predelave, izdelave, obdelave, če pa še upoštevamo različno kombiniranje tehnologij, potem lahko rečemo, da poznamo nešteto različnih poti do novega izdelka.

V učbeniku boste srečali naslednje oznake:

Praktični primeri, vprašanja za utrjevanje.



Samostojno delo in praktične naloge, ki jih reši študent sam ali v skupini.



Aktivna ikona, ki vodi do reprezentativne vsebine na spletnih straneh.



DEFINICIJA POSTOPKOV IZDELAVE

Večina polizdelkov oziroma končnih izdelkov potrebuje več delovnih postopkov, da surovino spremenimo v končni izdelek. Preden se projektant loti načrtovanja procesa izdelave nekega izdelka, si mora odgovoriti na naslednja vprašanja:

- Kateri material bo uporabil za določen izdelek?
- Kateri tehnološki postopek bo uporabil?
- Katere mehanske stroje bo potreboval?
- Katero orodje bo uporabil?
- Kateri dodatni pripomočki bodo potrebni za izdelavo določenega izdelka?

V naslednjem koraku se lahko loti načrtovanja izdelovanja izdelka. Osnovni postopki izdelave glede na standard DIN 8580 so naslednji:

- oblikovanje,
- preoblikovanje,
- ločevanje,
- spajanje,
- površinsko platenje,
- spreminjanje lastnosti materiala.

Pri oblikovanju polizdelkov ali izdelkov izdelamo iz trdnega, tekočega, plinskega ali ioniziranega stanja. Poznamo naslednje izdelovalne postopke: sintranje iz kovinskega prahu, litje, brizganje, naprevanje in galvanoplastiko.



Slika 1: Litje

Vir: http://www.mse.mtu.edu/casting_iron/casting_iron07.jpg/ (12. 10. 2010)

Preoblikovanje je postopek, pri katerem s pomočjo plastične deformacije spremenimo surovec v končni izdelek. Poznamo več izdelovalnih postopkov: valjanje, kovanje, vlečenje, striženje, upogibanje in globoko vlečenje.



Slika 2: Izdelki narejeni s štancanjem

Vir: <http://www.excenter.si/stancanje/> (7. 1. 2011)

Pri ločevanju se osnovna oblika surovca spreminja z deljenjem, rezanjem, razstavljanjem ali čiščenjem. Izdelovalni postopki, ki jih uporabljamo pri ločevanju, so vsi postopki odrezovanja (struženje, vrtanje, rezkanje, brušenje, ...).



Slika 3: Struženje

Vir: <http://www.tantel.ca/Lathe..html/> (7. 1. 2011)

Spajanje je postopek izdelave, kjer s pomočjo varjenja, zgibanja, vijačenja in kovičenja povežemo več obdelovancev v novo obliko.



Slika 4: Podvodno varjenje

Vir: http://www.pagesbydave.com/divepics/pages/DSC00007_1.html/ (5. 2. 2011)

S površinskim plastenjem naneseemo delce snovi na obdelovanec. Izdelovalni postopki so: napreovanje, barvanje, lakiranje, navarjenje, galvanizacija in ionizacija.



Slika 5: Barvanje avtomobila

Vir: <http://batonrougebodyshop.net/articles/> (2. 1. 2011)

Z izdelovalnimi postopki toplotne obdelave, kot so kaljenje, poboljšanje, cementiranje, nitriranje, magnetenje idr. spreminjamo lastnosti obdelovancev.



Slika 6: Plamensko kaljenje

Vir: <http://authorityflame.com/Services.htm/> (2. 1. 2011)

Vprašanja in naloge:

1. Kakšne možnosti imamo pri izbiri postopkov in kako izberemo ustrezen postopek?
2. Na spletu poiščite, kaj pomenijo naslednji pojmi: near-net-shape obdelava, CNC obdelava, CAE, CAM, CAPP.
3. V skupinah razpravljajte, kakšen pomen ima globalizacija trgov na proizvodnjo; do kakšnih zaključkov ste prišli?
4. Zelo velik problem je ekologija. Kako bi podjetje usmerili v ekološko proizvodnjo? Na spletu poiščite, kaj pomeni DFE (design for environment) proizvodnja in DFR (design for recycling) proizvodnja.



1 IZDELOVALNE ZAHTEVE IN ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

1.1 KAJ JE ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

Postavimo si nekaj enostavnih vprašanj:

- Kaj je cilj proizvodnega podjetja?
- Kako lahko podjetje ta cilj doseže?
- Kaj za to potrebuje?

Podjetje, ki želi (p)ostati konkurenčno na svojem področju, potrebuje ustrezno tehnologijo, obvladovati pa mora tudi vse nujno potrebne procese v podjetju. Eden izmed teh je stalno izboljševanje kakovosti, nepogrešljiva s stališča zagotavljanja kakovosti pa je tudi kontrola kvantitativnih in atributivnih parametrov oziroma tehnoloških meritev.

Konkurenčnost je definirana z izpolnjevanjem nekaterih pogojev. Te določajo kupci, torej trg, ki je za vse ponudnike načeloma enak.

Podjetje mora biti sposobno izdelovati:

- v pričakovanih rokih,
- v pričakovani kakovosti in
- po pričakovani ceni.

Za izpolnitev vseh treh kriterijev konkurenčnosti ni dovolj samo dobra proizvodna tehnologija z ustrezno opremo, izdelek in delovna sila, temveč je potrebno izvajati strategijo izpolnjevanja vseh treh kriterijev v paketu.

Zagotavljanje kakovosti – QA (*Quality Assurance*) je bilo v preteklosti le ena izmed razvojnih stopenj pristopa h kakovosti, danes pa je sestavni del vodenja kakovosti v podjetju.

V zadnji tretjini prejšnjega stoletja je QA sledilo obdobju kontrole kakovosti – QC (*Quality Control*), ki pa samo ni prineslo rezultatov. Samo kontrola, ki ne išče tudi vzrokov za nekakovostne produkte ali storitve, ne izboljšuje pozicije podjetja na trgu, saj, razen kakovostnih izdelkov, ki jih podjetje pošilja na trg, ne ustvarja konkurenčnih razmerij do drugih ponudnikov enakih produktov.

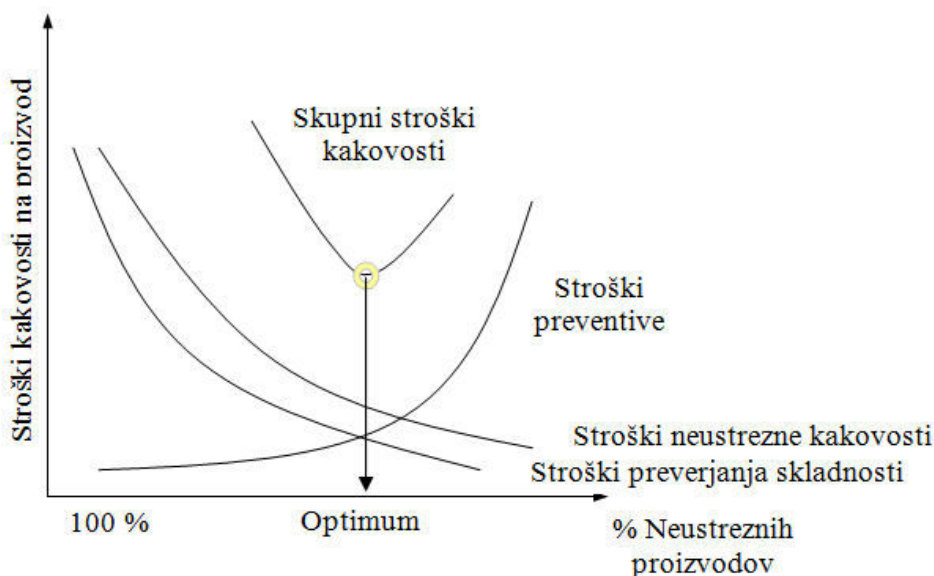
V sistemu zagotavljanja kakovosti se izvajajo tudi druge aktivnosti, od raziskav trga do poprodajnih aktivnosti, iz katerih podjetje črpa informacije za nadaljnji razvoj.

Za poenotenje pristopa h kakovosti in boljše definiranje odgovornosti posameznika in posameznih služb do kakovosti v proizvodnem podjetju, so bili izdelani posebni nacionalni in mednarodni standardi. Najbolj so znani standardi ISO 9000, ki sistematično določajo odgovornosti posameznih služb in funkcij v zvezi s kakovostjo. Podjetje, ki ima vse aktivnosti zagotavljanja kakovosti urejene in ustrezno dokumentirane v sistemu, lahko pridobi certifikat ISO 9000, ki dokazuje visoko stopnjo urejenosti procesov v podjetju. Seveda certifikat nima trajne veljavnosti. V podjetju je potrebno sistem redno vzdrževati in obnavljati certifikat.

Rešitev je torej v še višjem nivoju, celo višjem od zagotavljanja kakovosti. Govorimo o stalnem izboljševanju kakovosti – CQI (*Continuous Quality Improvement*), kar pa bo tema pri predmetu **Kakovost in zanesljivost procesov**.

Nesmiselno bi bilo pričakovati, da lahko v sistem neskončno vlagamo. Obstajajo meje, do katerih je postopke zagotavljanja kakovosti smiselno razvijati in izboljševati, vsi nadaljnji koraki pa zmanjšujejo konkurenčnost zaradi visokih lastnih stroškov podjetja.

Glavne kategorije stroškov kakovosti so si v določenem medsebojnem odnosu, ki ga prikazuje Slika 7.



Slika 7: Odnos med glavnimi kategorijami stroškov kakovosti

Vir: Prirejeno po: Šostar, 2000, 202

Za izdelke je potrebno natančno definirati merljive karakteristike, ki bodo določile ustreznost ali neustreznost produkta ali njegove komponente. Pri samem ocenjevanju kakovosti izdelkov uporabljamo parametre, ki jih v grobem delimo na kvantitativno (numerično) merljive parametre kakovosti, kar je značilno za fizikalne veličine, in atributivno določljive (da/ne, npr. prisotnost elementa, doseganje pričakovane funkcije, ...). Pri kvantitativno merljivih parametrih najpogosteje merimo vrednost vnaprej določenih karakteristik, pri atributivno določljivih pa ugotavljamo predvsem razliko med pričakovanim in realiziranim.

S stališča izdelovalne tehnologije v tehniki najpogosteje govorimo o tolerancah mer in oblik, ki jih predpiše konstruktor v fazi snovanja in konstruiranja izdelka. Najpogostejši kriteriji so tolerance mer, hrapavost površine kot posledica kvalitete obdelave ter tolerance oblike kot posledica kvalitete izdelovalnega postopka, orodja in tehnologije.

S standardi je določeno posamezno področje toleranc.

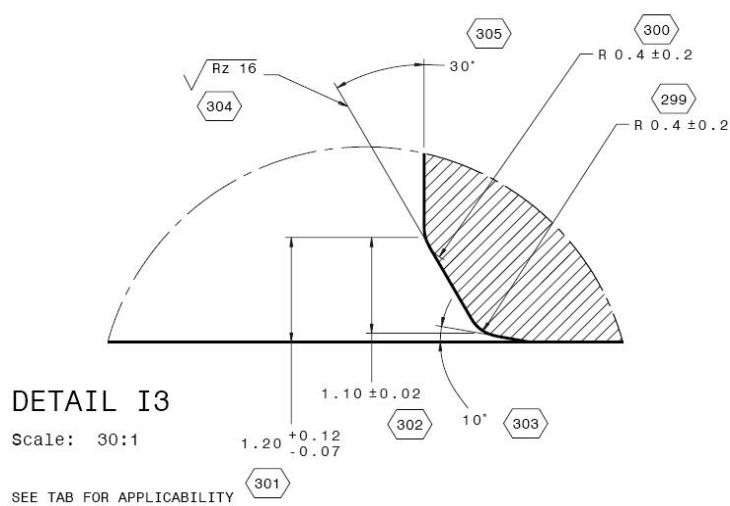
1.2 ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V PROIZVODNIH PROCESIH

Za zagotavljanje ustrezne kakovosti izdelka je pomembna med drugim tudi izbira postopka. Izbira je v večini primerov odvisna od izkušenj načrtovalca in od razpoložljive tehnologije v podjetju ali podporni mreži dobaviteljev. Računalniški sistemi, ki bi načrtovalcu predlagali najprimernejšo rešitev, so še v fazi razvoja. Spodaj navajamo nekaj izhodišč pri izbiri postopka:

- Pred izbiro postopka z odrezavanjem je za večje serije in za specifične izdelke smiselno preveriti, ali je možno izdelek izdelati z drugimi postopki, ki so gospodarnejši od odrezavanja, ki dajejo manj odpadkov in manj obremenjujejo okolje v materialnem in energetskem smislu.
- Med postopki z odrezavanjem izberemo postopek, ki omogoča izdelavo geometrijske oblike, ki je za izdelek določena.
- Določimo stopnje obdelave glede na zahtevnost izdelka in zahtevane karakteristike (npr. struženje in okroglo brušenje).
- Glede na gabarite izdelka in geometrijske tolerančne pogoje izberemo postopek, ki je bolj rentabilen in izvedljiv. V primeru, ko imamo več možnosti, izberemo najcenejšo ali najhitrejšo; odvisno od statusa naročila oziroma izdelka.

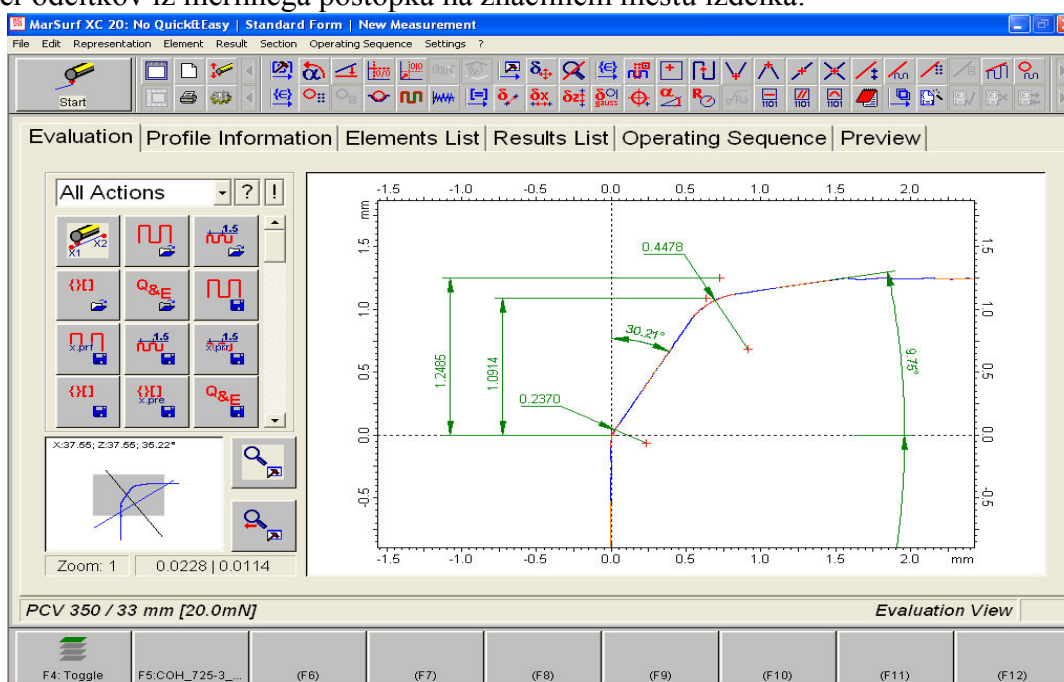
- Glede na natančnost izdelave upoštevamo okvirne podatke o dosegljivi natančnosti obdelave in hrapavosti s posameznim postopkom odrezavanja (Tabeli 1 in 2).
- Upoštevamo nekatera načelna pravila:
 - strojna obdelava ima prednost pred ročno,
 - gospodarnejši je postopek s krožnim gibanjem pred postopkom s premočrtnim gibanjem,
 - prednost damo postopku, ki omogoča večjo natančnost,
 - poraba moči in energije je manj pomembna od porabe delovnega časa.
- Pri istem izbranem postopku poiščemo najugodnejše pogoje obdelave; ustrezna rezilna orodja, optimalen režim dela, hlajenje in mazanje.

1.2.1 Mere



Slika 8: Primer merjenja z označenimi tolerancami mer in merilnimi mesti
Vir: Kondić, 2009, 5

Primer odčitkov iz merilnega postopka na značilnem mestu izdelka:



Slika 9: Primer odčitkov na zaslonu 3D merilne naprave
Vir: Kondić, 2009, 7

Ko se merilec sreča z zahtevami merilnega protokola, ki je definiran že na delavniški risbi ali pa na risbi merilnega protokola, mora razpoznati zahteve parametrov, ki jih mora kontrolirati. Najpogosteje so definirane tolerance mer. Za področje merskih toleranc so ob pogoju temperature okolice 20 °C določeni sistemi mejnih mer in ujemov ISO na način, da sta za vsako imensko mero določeni mejni meri z zgornjim in spodnjim odstopkom mere. Mejni meri tako določata območje dopustne dejanske mere izdelave glede na imensko mero, ki jo je določil konstruktor s koto na risbi ali modelu.

Številске vrednosti osnovnih odstopkov mer si lahko pogledate na straneh 555–565 v Krautovem strojniškem priročniku (2007).

Na posameznih področjih uporabe je smiselno uporabiti določene ujeme in tolerance, ki pa ne smejo biti prezahtevni za izdelavo glede na pričakovane cilje. Višanje tolerančnih zahtev namreč močno povečuje stroške izdelave in kontrole. Če visoke tolerančne zahteve niso upravičene, se znižuje konkurenčnost izdelka. Primernost posameznega ujema je razvidna iz Tabele 1:

Tabela 1: Označevanje in primeri uporabe pomembnih ujemov

ISO ujemi po			zaznamek	primeri uporabe	
DIN 7154 enotna izvrtina	DIN 7155 enotni čep	DIN 7157 izbira ujema			
ohlapni ujemi	H7/h6	H7/h6	H7/h6	drseči deli, dobro mazani, pomikamo jih lahko ročno	pinole, vodila za frezala, vodila, tesnilni obroči
	H8/h9	H8/h9	H8/h9	lahko sestavljiva utorna vodila, pomična na daljši razdalji	koluti, kolesa, sklopke, nastavni obroči, vzvodi, utorne gredi
	H7/g6	G7/h6	H7/g6	ozki pomični deli, ki dovoljujejo nasprotni pomik brez opaznega ohlapa	pomična kolesa, menjalniki, pomične sklopke, uležajenje vreten pri brusilnih strojih
tesni ujemi	H7/s7 H7/r6	R7/h6 S7/h6	H8/x8 do u8 H7/r6	deli, sestavljeni pod visokim tlakom, pri visoki ali nizki temperaturi, dodatno varovanje proti zasuku ni potrebno	sklopke na koncu gredi, puše v kolesih, zveza s čepom, bronasti obroč na polževem kolesu
prehodni ujemi	H7/n6	N7/h6	H7/n6	deli, sestavljeni pod visokim tlakom, varovanje proti zasuku ni potrebno	polži in polževa kolesa, ležajne puše, obroči na kolesih, pogonska kolesa
	H7/m6	M7/h6		pogonski deli, sestavljeni pri znatni uporabi sile, ročno kladivo, varovanje proti zasuku je potrebno	deli v obdelovalnih strojih, ki jih moramo menjavati (zobniki jermenice, sklopke, zatiči, prilagodni vijaki, notranji obroči kotalnih ležajev)

Vir: Prirejeno po: Kostanjšek, 2004, 21

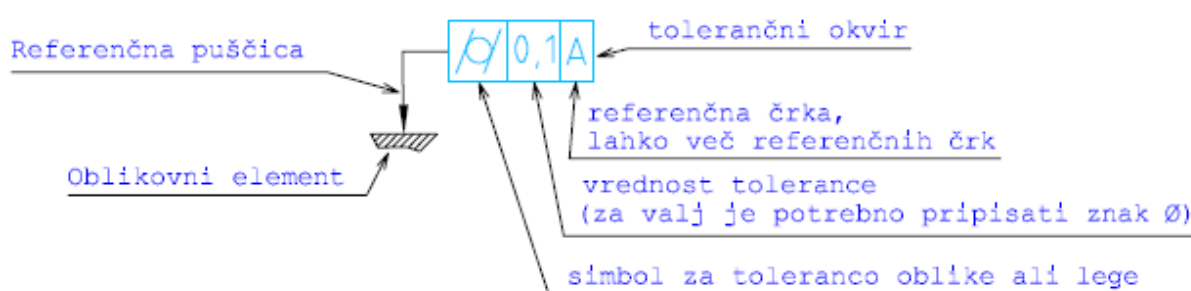
V navedeni literaturi poiščite tudi druge priporočene ujeme za tipične namene uporabe.

1.2.2 Oblika

Tolerance oblike so definirane z grafičnimi simboli in referenčnim elementom. V tolerančnem okviru je lahko definirana toleranca oblike in toleranca lege. Z razvojem 3D koordinatnih merilnih sistemov je kontrolo toleranc oblike in lege bistveno lažje izvajati kot pred tem.

Označevanje toleranc oblike ali lege vključuje precej več informacij, kot jih je potrebno določiti pri toleranci mere, zato je sistem označevanja tudi bolj kompleksen.

Tolerance oblike in tolerance lege vpisujemo v okvir z dvema ali s tremi polji, kot kaže Slika 10. Referenčna puščica je praviloma na levi strani okvira, izjemoma pa sme biti tudi na desni.



Slika 10: Tipična oznaka tolerance oblike v tolerančnem okviru z razlago elementov oznake

Vir: Prirejeno po Muren, 1998, 727

Vrsta tolerance	Lastnost odstopka	Simbol
toleranca oblike	premost	—
	ravnost	▭
	okroglost	○
	oblika valja	○/
	oblika krivulje	⌒
	oblika ploskve	⌒
toleranca lege	vzporednost	//
	pravokotnost	⊥
	nagnjenost	∕
	položaj	⊕
	koncentričnost	⊙
	simetričnost	≡

Slika 11: Najpogosteje uporabljeni simboli tolerance oblike in lege

Vir: Prirejeno po Muren, 1998, 726

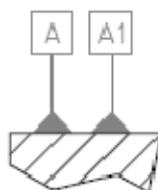
Primeri uporabe tolerance oblike in lege:



Slika 12: Primeri označevanja tolerance oblike in lege

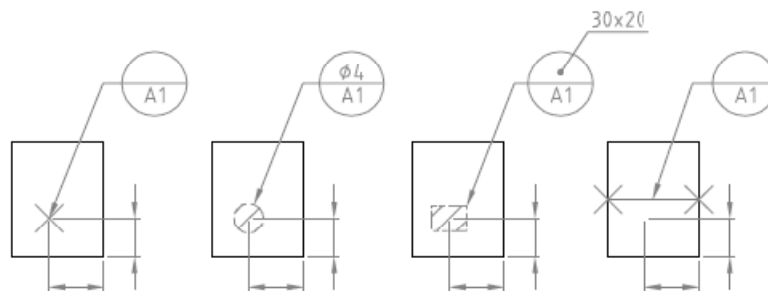
Vir: Prirejeno po Muren, 1998, 727

Oznaka reference se nanaša na referenčni element, ki ga lahko označimo z referenčnim trikotnikom. Oznake referenc so velike latinske črke, ki jim lahko dodamo tudi številne indekse.

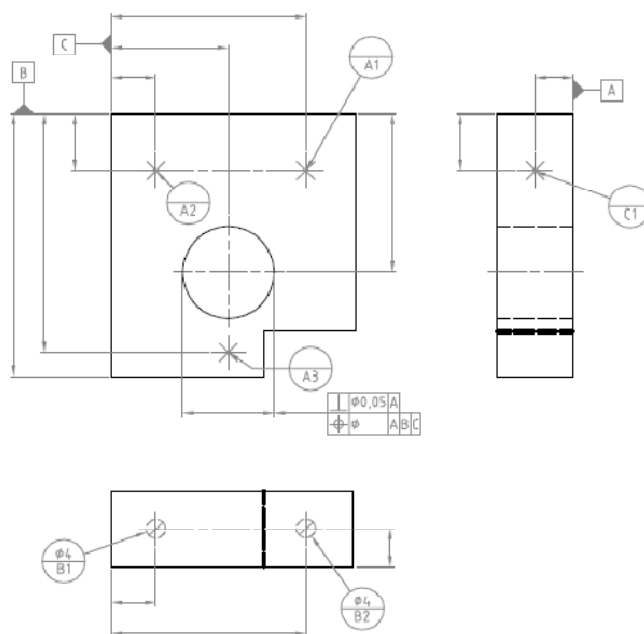


Slika 13: Označevanje referenčnega elementa

V primeru odstopanja kotov med naslonskimi ravninami lahko pride do različnih ugotovitev pri merjenju z različnim zaporedjem prioritete referenčnih ravnin. Zaradi te slabosti se namesto primarne in sekundarne referenčne ploskve ali ravnine poslužujemo referenčnih mest, ki so lahko točke, daljice ali ploskve. Referenčna mesta zagotovimo tudi na podstavku na 3D merilni napravi, kjer so taka referenčna mesta z lahkoto določljiva.



Slika 14: Primeri označevanja referenčnih mest: točka, krog, pravokotnik in daljica
Vir: Prirejeno po Muren, 1998, 729



Slika 15: Primer merjenja z označenimi referenčnimi mesti
Vir: Prirejeno po Muren, 1998, 730


Pri meritvah na merilnem pripomočku je na referenčnih mestih zagotovljen naslon merjenca na podporah pozicionirnega pripomočka.

1.2.3 Hrapavost

Z novejšimi tehnologijami, kot je HSC (*High Speed Cutting*) ali VHO, seveda dosegamo bistveno boljše rezultate kot s klasično obdelavo. Ko govorimo o R_a (aritmetični srednji vrednosti absolutnih vrednosti profila v mejah referenčne dolžine), ali o R_z (višini neravnosti profila kot srednji vrednosti absolutnih vrednosti višine petih najvišjih izbočin in globine petih najglobljih vbočin v mejah referenčne dolžine), so postopki VHO zelo ugodni: dosegajo R_a od 0,2 μm in $R_z = 3 \mu\text{m}$. S postopki VHO lahko torej v določenih primerih nadomestimo celo brušenje.



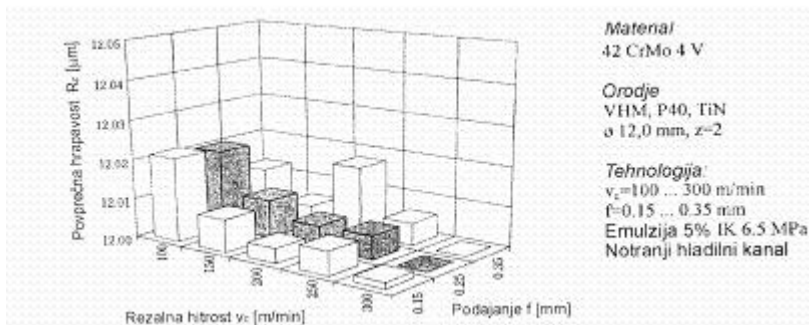
Natančne definicije parametrov hrapavosti si pogledjte na straneh 574–578 v Krautovem strojniškem priročniku (2007). Prav tam lahko najdete tudi tabelo z dosegljivimi vrednostmi hrapavosti za posamezen postopek obdelave.

Raziščite podrobne oznake kvalitete površin .

Najugodnejše rezultate glede hrapavosti pri VHO frezanju dosežemo z izbiro rezalne hitrosti v_c nad 1000 m/min pri izbiri majhnega podajanja na zob.

Za struženje v odvisnosti od obdelovalnega materiala in režima dela ugotovimo, da ima le pri zelo majhnem pomiku, ko postane kinematična hrapavost zanemarljiva, rezalna hitrost vpliv na kakovost površine.

Pri VHO vrtnanju na kakovost površine vplivata tako rezalna hitrost kot podajanje. Izmerjeni rezultati govorijo o optimalni rezalni hitrosti nad 300 m/min, opazen pa je tudi pozitiven vpliv povečanega podajanja na kakovost površine.



Slika 16: Srednja vrednost hrapavosti izvrtine kot funkcija rezalne hitrosti in podajanja

Vir: Kuzman, 2010, 169

Poleg VHO pa je zelo učinkovita tudi EDM – elektroerozijsko odnašanje materiala, žično in potopno. Po EDM obdelavi poliranje površine ni potrebno. Dobljena kvaliteta površine je odvisna od parametrov obdelave, dosežemo pa lahko hrapavost v mejah od 0,02 do 16 μm . Oblika površine v obliki kraterjev zagotavlja tudi zelo dobre tribološke lastnosti. Zaradi dolge časovne obdelave z EDM pa, kjer je le mogoče, namesto EDM uporabimo VHO.

1.3 TEHNOLOŠKE MERITVE V STROJNIŠTVU

Kontrolo merskih karakteristik lahko izvršimo z uporabo ustreznih merilnih pripomočkov in izvedbo merilnih protokolov. Najzahtevnejše izvajamo v merilnih laboratorijih z uporabo sodobnih 3D merilnih naprav. Merilni postopki, ki jih uporabljamo v posameznih fazah

izdelavnega postopka, pri prevzemu dokončno obdelanega izdelka ali pri preverjanju ustreznosti merilnih sredstev in pripomočkov, so standardizirani ter zahtevajo uporabo certificiranih merilnih pripomočkov.

Kontrola karakteristik po merilnem protokolu se izvaja:

- pri vseh obdelovancih, če gre za unikatno ali maloserijsko proizvodnjo,
- pri vseh obdelovancih v izjemno zahtevnih primerih množinske proizvodnje,
- pri statistično določenem številu vzorcev v običajni množinski proizvodnji.

Ne glede na natančnost obdelave, pa tudi meritve, v nobenem primeru ne moremo zagotoviti absolutne natančnosti. S statističnimi metodami ugotavljamo verjetnost, da bo merilni rezultat čim bližje dejanskemu stanju. To ni možno v delavnici, pa tudi ne v avtomatiziranih postopkih. Zaradi tega je potrebno v omenjenih pogojih uporabiti merilne pripomočke, ki so vsaj za en razred bolj natančni od zahtevane natančnosti meritev.

Statistični način vrednotenja rezultatov meritev uporabljamo le pri množinski proizvodnji ali obdelavi enakih izdelkov. S tem ugotovimo spremembe zaradi obrabe orodij in drugih vplivov.

Merilni postopki:

1. Merjenje je postopek, pri katerem merilno veličino primerjamo z enoto (normalo, etalom) in jo skušamo definirati kot mnogokratnik normale.
2. S štetjem ugotovimo število elementov neke množice.
3. Preverjanje je postopek ugotavljanja ustreznosti. Odgovor je lahko *da* ali *ne* oziroma *ustreza* ali *ne ustreza*.
4. Klasificiranje je postopek, pri katerem za posamezne razrede določimo skupne lastnosti, elemente pa razporedimo v tako določene razrede in jih preštejemo.

Za uspešno merjenje je potrebno predpisati veličino, ki jo želimo izmeriti, in merilni pripomoček ali etalon (normalo).

Meritve so lahko neposredne ali posredne (npr. meritve sile s pomočjo raztezka elementa merilnega sredstva v elastičnem območju ali z merjenjem električnega odziva sistema pod vplivom obremenitve).

Merilni etalon ali normala je merilno sredstvo, ki v fizični obliki z veliko natančnostjo predstavlja enoto dolžine, kota ali referenčno obliko. Razlikujemo med primarnimi, sekundarnimi in delavniškimi normalami.

Primarni etaloni ali normale so namenjeni največjim merilnim zahtevam, medtem ko delavniške uporabljamo pri vsakdanjem, običajno zahtevnem delu.

Pri vsakdanjem delu namesto merilnih sredstev z zahtevnim rokovanjem uporabljamo preprosta merilna sredstva, kot so:

- merilne kladice,
- etaloni z merilnimi črticami, etaloni v obliki notranjega ali zunanjega valja, krogle, obroča, ...
- hrapavostne normale,

za merjenje kotov pa:

- pravi kot – kotnik,
- kotno ogledalo,
- kotne merilne kladice,
- delilne kroge,
- plošče s kotno razdelbo.

Merila, ki zaradi starosti ali obrabe ne ustrezajo več višji zahtevnosti, lahko služijo na nižjem nivoju, pri čemer moramo tak prenos dokumentirati.

1.4 MERITVE V MERILNIH LABORATORIJIH

Ugotovili smo, da se meritve uvrščajo v različne razrede natančnosti, prav tako pa so standardni razredi določeni tudi za merilne prostore – laboratorije, in sicer glede na namen uporabe in merilne tolerance:

Tabela 2: Razvrstitev merilnih prostorov

Razred	Označba prostora	Osnovne naloge	Tolerance v μm pri merjenju dolžine	
			100 mm	1000 mm
1.	kalibrirni	kalibriranje	< 0,7	2,5
2.	precizni	preverjanje meril, etalonov, vzorcev	2,5	7
3.	standardni	preverjanje naprav in orodij	6	15
4.	nadzorni	nadzor izdelavnega postopka	12	30
5.	delavniški	nadzor izdelave	45	270

Vir: Muren, 1998, 754

Poleg merilne tolerance pa so predpisani tudi klimatski pogoji za posamezni razred merilnega prostora:

Tabela 3: Klimatizacija merilnih prostorov

Razred	Temperatura	Sprememba temperature $^{\circ}\text{C}/\text{h}$	Relativna vlažnost %
1.	$20 \pm 0,2$	$\pm 0,2$	50 ± 5
2.	$20 \pm 0,5$	$\pm 0,5$	40 ± 10
3.	20 ± 1	± 1	40 ± 10
4.	20 ± 2	± 2	40 ± 20

Vir: Muren, 1998, 755

Obstajajo tudi priporočila za velikost merilnega prostora, toplotno in zvočno izolacijo, način klimatizacije, osvetlitev, temeljenje prostora ter blažitev nihanj na posameznem merilnem mestu idr.

1.5 OSNOVNA MERILA

Leta 1799 sta bili v Franciji uradno sprejeti enoti za meter (dolžina) in kilogram (masa). Takrat določena dolžinska enota meter je bila v veljavi vse do leta 1983, ko je bila sprejeta nova definicija. Tako je meter sedaj dolžina poti, ki jo v vakuumu napravi svetloba v $1/299792458$ sekunde.



Definicijo vseh osnovnih enot mednarodnega sestava enot SI in izpeljanih enot, ki jih v praksi pogosto uporabljamo, si oglejte v Krautovem strojniškem priročniku (2007, 24).

Ker so etalonska osnovna merila, npr. prakilogram za maso in prameter iz leta 1799 za dolžino, izdelana iz platine in iridija, ohranjajo nespremenljivo vrednost. Kljub temu jih ne moremo uporabljati vsakodnevno v proizvodnji. V ta namen so izdelana merila, ki jih

proizvajalec, kasneje pa tudi uporabnik, kontrolira s primerjavo z etaloni v merilnih laboratorijih. Ločimo primarna, sekundarna in terciarna merila. Primarna so shranjena v vrhunskih laboratorijih, npr. v osrednji državni ustanovi za mere. Sekundarna imajo res zelo dobri laboratoriji, terciarna pa uporabljamo v izdelavnih postopkih.

Poleg osnovnih meril lahko uporabljamo tudi **svetlobo**, katere nespremenljivo valovno dolžino z interferenco naredimo vidno. Naprave, ki uporabljajo svetlobo za merjenje, so interferometri ali interferenčni komparatorji. Če je izvor svetlobe laser, pa so to laserski interferometri.

Merilni lineali so zelo pogosta merila, zlasti na vodilih merilnih in obdelovalnih strojev. Njihova značilnost so s črticami ali z magnetnimi zapisi natančno izdelane razdelbe na stekleni ali jekleni podlagi. Jekleni lineali imajo zelo tanke črtice z milimetrsko razdelbo, stekleni pa široke črtice in vmesne presledke z enako širino (inkrementalna merila). Za računalniško obdelavo so v rabi tudi binarno kodirana merila (absolutna merila).

Za opazovanje linealov uporabljamo mikroskope in fotocelice, odčitke na magnetnih linealih pa dobimo s pomočjo magnetnih tuljav, ki inducirajo električne impulze sorazmerno s pomikom vzdolž lineala. Iz takih impulzov lahko odčitamo dolžino (posredno pa tudi hitrost).

Merilne kladice imajo obliko kvadra, dve vzporedni ploskvi pa sta merilo za dolžino. Obdelava kladic je tako brezhibna, da se kladice med seboj enostavno sprimejo. Poljubno dolžino lahko sestavimo iz niza kladic. Uporabljamo jih kot referenčno merilo. V merilnem paketu je običajno 48 kladic:

Tabela 4: Stopnjevanje merilnih kladic

Vrsta	Število kosov	Korak	Stopnjevanje v mm	
			od	do
1.	9	0,001	1,001	1,009
2.	9	0,01	1,01	1,09
3.	9	0,1	1,1	1,9
4.	9	1	1	9
5.	9	10	10	90
48 kosov				

Vir: Muren, 1998, 735

Merilne kladice so lahko iz jekla, karbidne trdine ali keramike.

Za **merjenje kotov** poznamo, poleg delilnih plošč z utori in kotnih zrcal, še plošče s krožno (kotno) razdelbo. Te imajo enako vlogo kot lineali za merjenje oziroma preverjanje dolžin. Poznamo plošče z inkrementalno in binarno kodirano razdelbo. Najbolj natančne plošče imajo tudi do 162 000 radialnih črtic, kar omogoča merjenje kotov velikosti 1".

Preprost etalon za merjenje pravokotnosti je preizkusni valj z zelo natančno pravokotnostjo plašča proti osnovni ploskvi.

Uporabljamo tudi kotne merilne kladice za sestavljanje zelo natančnih kotov. Po principu seštevanja in odštevanja kotov lahko sestavimo dokaj širok nabor kotov že s standardnim stavkom trinajstih kosov: 10", 30", 1', 2', 3', 10', 30', 1°, 2°, 3°, 10°, 30°, 45°.

S kombinacijo kotnih merilnih kladic in lineala z vzporednimi stranicami lahko izdelamo sinusni ali tangensni lineal. Temelji na načelu definicije sinusa ali tangensa, torej moramo zagotoviti nespremenljivo osnovo (hipotenuzo) ali eno izmed katet pravokotnega trikotnika. Po enakem načelu delujejo sinusne ali tangensne mizice.

Za merjenje teles v obliki stožca ali puše s stožčasto izvrtino uporabljamo etalone za notranje ali zunanje stožce.

Za **merjenje premic in ravnin** lahko uporabljamo lineale v obliki noža, trikotnega ali pravokotnega prereza. Tudi napeta žica, mirujoča vodna površina in svetlobni žarek lahko ponazorijo premico.

Ravnino ponazarjajo merilne plošče (npr. natančno brušena steklena plošča). Če merilno ploščo položimo na gladko ravnino rahlo poševno, se pokažejo ravne in vzporedne interferenčne črte, če je preverjana ploskev ravna.

Ravnost in kakovost obdelave ravnih ploskev je mogoče preverjati tudi z obarvanimi tuširnimi ploščami ali tuširnimi lineali.

Za **kontrolno valja in krogle** uporabljamo etalonski obroč in etalonski valj oziroma etalonske krogle in polkrogle. Za zelo majhne premere izvrtin so na voljo tudi merilne žice, s premeri od 0,15–10 mm. Za kontrolo koordinatnih merilnikov uporabljamo zatiče z imenskim premerom 5 mm s stopnjevanjem premerov po 1 μm .

Za **merjenje navojev** poznamo obroče in čepe z natančno brušenimi navoji. Povsem so podobni tolerančnim merilom za navoje, uporabljamo pa jih le za preverjanja.

Na koordinatnih merilnih strojih lahko uporabimo tudi telesa z drugačnimi oblikami.




1.5.1 Meritve dolžin v izdelovalnih procesih

Najpogosteje merimo dolžine, z ali brez dotika merjenja. Pri meritvah z dotikom na merjenec vplivamo z določeno silo, ki povzroča deformacije merila in merjenja. Običajno ob normalnih silah te deformacije zanemarimo.






Meritve brez dotika za vsakodnevno posamično uporabo v izdelovalnih procesih niso primerne. Običajno jih vgradimo v avtomatiziran proces ali pa jih izvajamo v laboratorijskih pogojih. Delujejo kot mehansko, pnevmatsko ali električno delujoča merilna sredstva.

Najpogostejša merilna sredstva za merjenje dolžin:



A: Preprosta merilna sredstva:

- lineali in upogljivi merilni trakovi 
- kljunasta merila 
- vijačna merila (mikrometri) 


B: Primerjalna merilna sredstva ali komparatorji:



- merilne urice  , 
- mehanski komparatorji 
- električni komparatorji (kontaktni in induktivni, možni pa so še kapacitivni, piezoelektrični ter digitalni merilni lineal) 
- pnevmatski komparatorji (zaradi razvoja elektronike so vedno manj v uporabi) 

C: Tolerančna merila:

- merilni čepi 
- objemna merila 

D: Meritve navojev 


- kljunasta ali vijačna merila za zunanji premer,
- merilne iglice za srednji premer,
- merilni nožički za notranji premer,
- komparatorji za korak navoja,
- merilni nožički za korak navoja,
- šablone za hitro merjenje,
- merilni mikroskop za kontrolo kota med bokoma navoja,
- profilni projektor .

Na spletu poiščite nekaj tipov meril, postopke overitev in osnovne pojme meroslovja ,
pravilnike ter podrobnosti o overitvah meril in oznakah, ki overitev potrjujejo .



1.5.2 Meritve kotov v izdelovalnih procesih

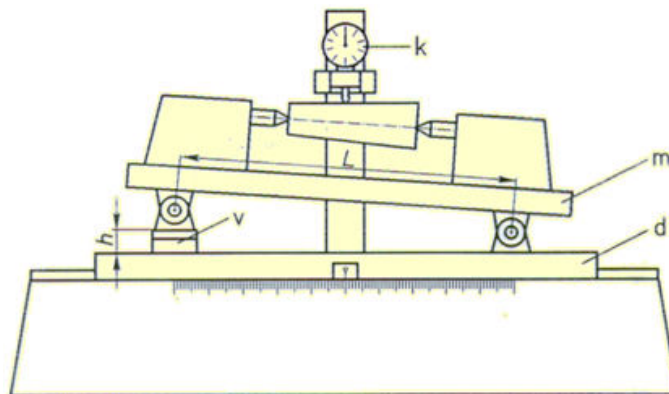
Najpogostejši način kontrole kota je primerjanje ali preverjanje ujemanja kota z merilnim pripomočkom. To velja za ravne ploskve z uporabo *kotnikov* različnih oblik in kotov, kot tudi za kontrolo kota stožca (npr. Morse konusa) z *merilnim trnom* ali *merilno pušo*.

Poleg preverjanja pa poznamo tudi merjenje dejanskega kota, za kar uporabimo različne kotomere .

Za natančno merjenje lahko uporabimo tudi *teodolit* (merilno sredstvo, ki ga sestavlja natančen kotomer in daljnogled, s križem na okularju).

Kote, stožce in nagibe je možno meriti zelo natančno s *sinusnim merilnikom*. Z uporabo merilnih kladic določimo višino podpore in s tem kateto pri znani razdalji med podporama (hipotenuza). Ko dosežemo, da merilna urica ali komparator ne kaže odmika od horizontale, lahko iz višine podloge izračunamo kot merjenca.

$$\alpha = \arcsin \frac{h}{L} \quad (1)$$



Slika 17: Sinusni merilnik

Vir: Muren, 1998, 759

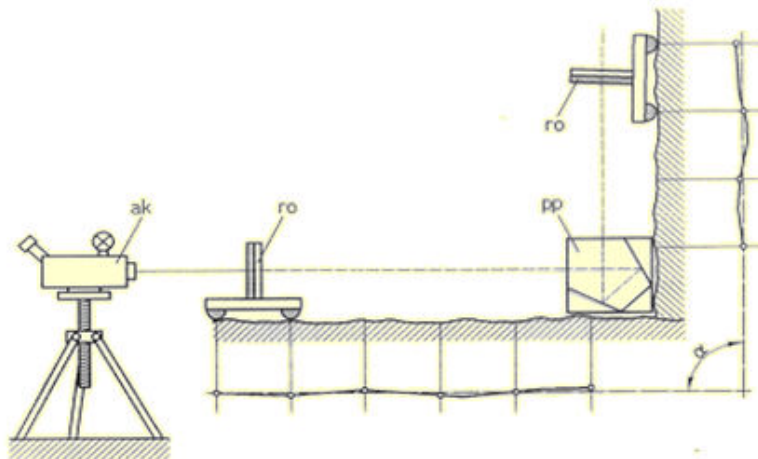
Nagibe lahko merimo tudi z *libelami*. To je običajni način kontrole vodoravnosti vodil pri postavitvah strojev na temelje. Tudi libele so lahko različno natančne, lahko so enostavne ali pa imajo optične prizme, majhne merilne mikroskope ali celo električne merilne sisteme za odčitavanje na libeli.

1.5.3 Meritve oblike in lege v izdelovalnih procesih

Ravnost površine lahko merimo z *nožastim linealom*, ki ga postavimo na površino in z nasprotne strani osvetlamo. Povsod, kjer je na površini neravnina, bo svetloba prodrla na drugo stran skozi špranjo med površino in linealom.

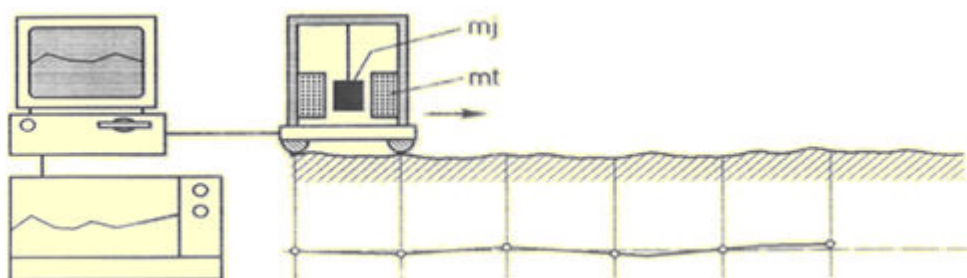
Neravnost lahko odčitamo tudi z *merilno urico* ali *komparatorjem*, ki kaže odklik od idealne linije.

Na večjih objektih izvajamo meritve z merilnimi daljnogledi, za natančne in bolj zahtevne meritve lahko uporabimo *avtokolimator* ali pa *induktivni dajalnik nagiba* (elektronsko libelo).



Slika 18: Avtokolimator

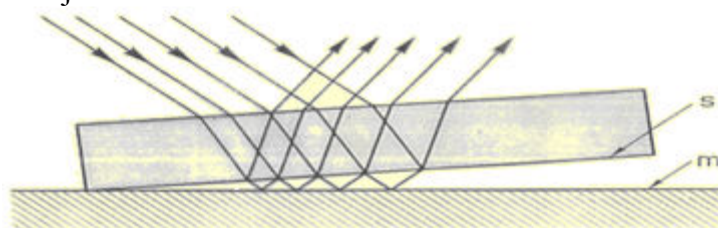
Vir: Muren, 1998, 762



Slika 19: Elektronska libela

Vir: Muren, 1998, 762

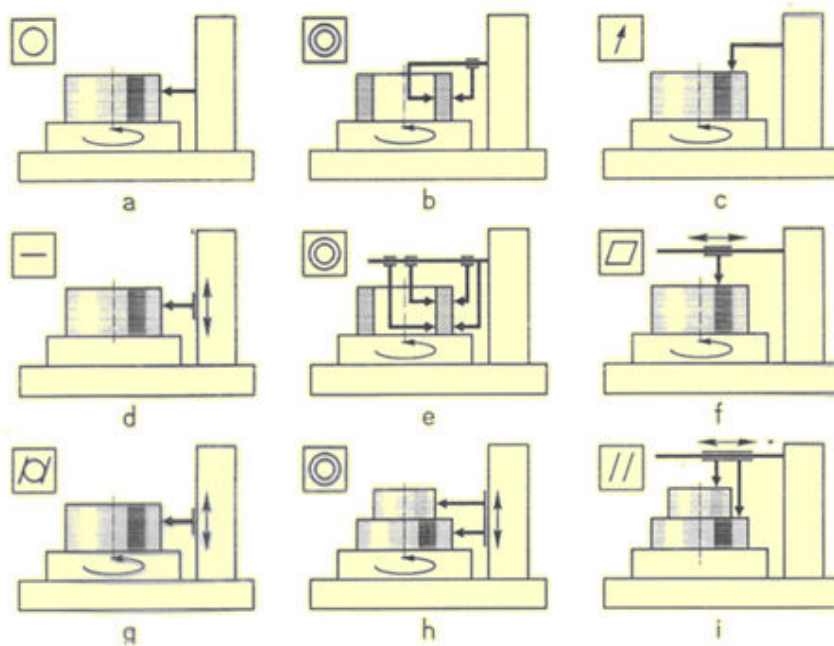
Za polirane ali lepene površine je primerna metoda preverjanja ravnosti površine opazovanje interferenčnih črt na površini natančno brušenega stekla, ki ga postavimo pod določenim kotom na površino merjenca.



Slika 20: Interferenca svetlobe na planvzporednem steklu

Vir: Muren, 1998, 763

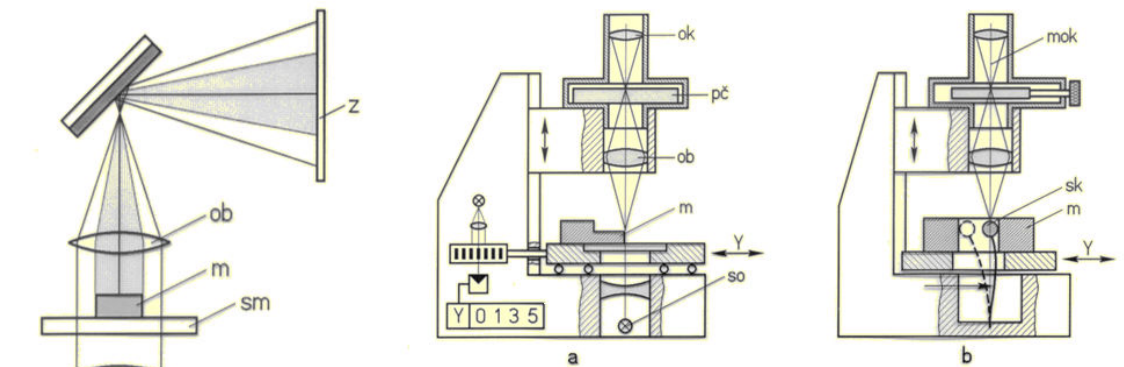
Merjenje okroglosti je možno na enostaven način z uporabo podloge in merilne urice. Bolj natančni so postopki na merilnikih okroglosti, ki omogočajo različne meritve na vseh plaščih in ploskvah rotacijskih teles.



Merjenja in preverjanja na merilnikih okroglosti
 a – okroglost, b – koncentričnost, c – plani tek čelne ploskve, d – ravnost in vzporednost z osjo, e – soosnost zunanjšega in notranjšega valja, f – ravnost čelne ploskve, g – odstopki od oblike valja, h – soosnost dveh zunanjših valjastih ploskev, i – vzporednost čelnih ploskev

Slika 21: Merjenja oblik na merilniku okroglosti
 Vir: Muren, 1998, 765

Najbolj natančne meritve zahtevnih majhnih elementov pa omogočajo merilni mikroskopi in profilni projektorji. Največkrat opazujemo senco konture. Običajno merimo z 20-kratno povečavo slike, čeprav naprave omogočajo tudi do 100-kratne povečave.



Shematični prikaz profilnega projektorja
 m – merjenec, sm – steklena mizica, ob – objektiv, z – zaslon

Merilni mikroskop
 a – zunanje merjenje dolžine, b – merjenje premera izvrtine
 ok – okular, pč – plošča s črtico ali s križem, ob – objektiv, m – merjenec, so – osvetlitev merjenca od spodaj, mok – merilni okular, sk – steklena kroglica na elastični stekleni nitki

Slika 22: Profilni projektor in merilni mikroskop
 Vir: Muren, 1998, 766–767

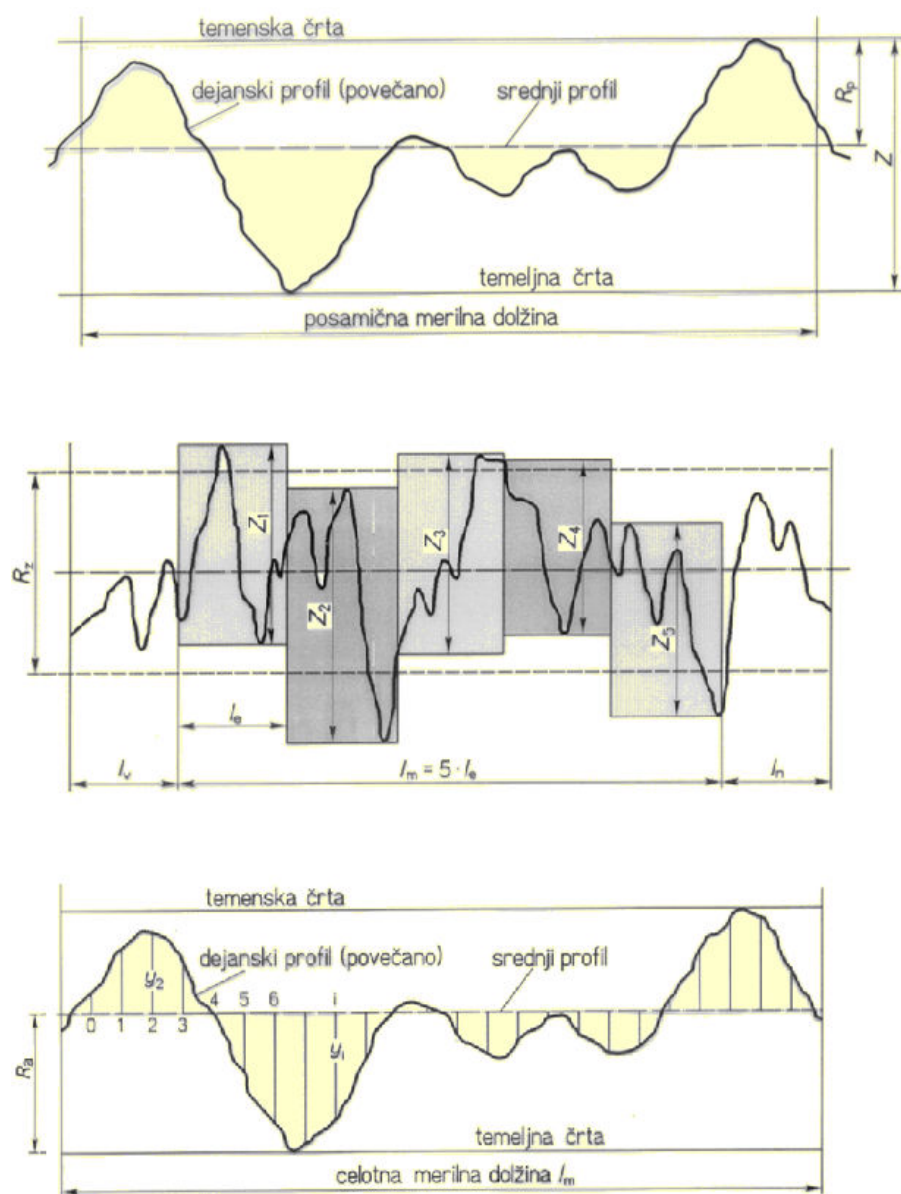
Meritve hrapavosti in valovitosti površine spadajo v kategorijo oblike površine, v tem primeru govorimo o mikrogeometriji. Ugotovimo lahko tudi poškodbe, kot so razpoke, vendar za poškodbe ni standardnih oznak in toleranc, zato jih opišemo po videzu.

Za hrapavost in valovitost obstajajo standardizirani postopki, ki dajejo podatke o tipičnih veličinah:

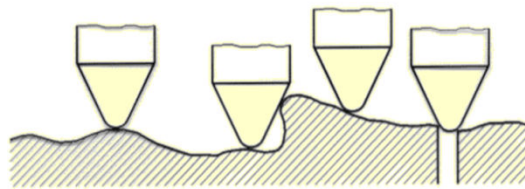
- R_z – srednja globina hrapavosti,
- R_{max} – največja globina hrapavosti,
- R_a (CLA, AA) – aritmetična srednja hrapavost,
- R_q (RMS) – kvadratična srednja hrapavost in
- R_p – globina zaglajevanja.

Z vsemi navedenimi veličinami dobimo podatke o profilu, ki ga dobimo z meritvijo, kar pomeni, da govorimo o dejanskem profilu, ne pa o resničnem profilu, saj tega nikoli ne moremo povsem izmeriti.

Dejanski profil vsebuje podatke o valovitosti in hrapavosti.

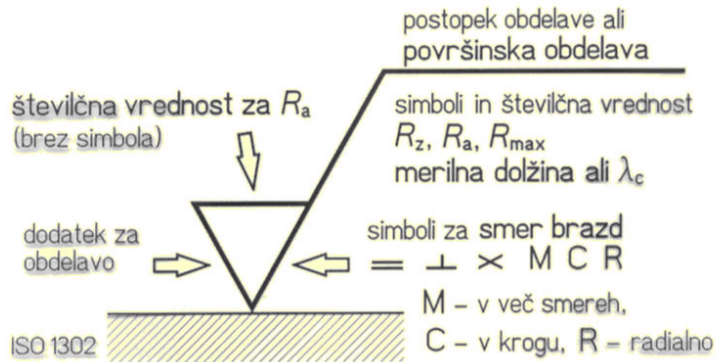


Slika 23: Definicija značilnih parametrov hrapavosti
Vir: Prirejeno po: Muren, 1998, 774–775



Igla sledi le nepopolno obliki površine

Slika 24: Odstopanje dejanskega in resničnega profila je tudi posledica geometrije tipala
Vir: Muren, 1998, 778



Slika 25: Simbol za predpis lastnosti površine po ISO 1302
Vir: Muren, 1998, 777

Praviloma hrapavost in valovitost merimo z otipavanjem površine z zelo ostro iglo. Odčitek na sodobnih napravah elektronika priredi našim zahtevam in nam posreduje tisti parameter, ki ga potrebujemo.



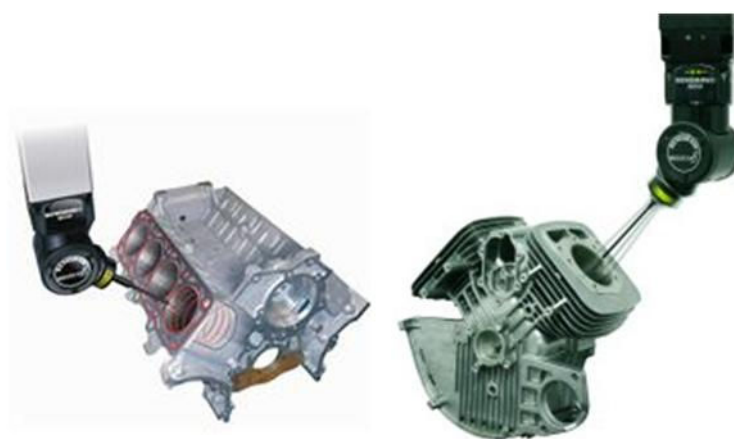
Slika 26: Prenosna naprava za merjenje hrapavosti površine
Vir: <http://www.mitutoyo.com/pdf/1902SJ400.pdf/> (2. 1. 2011)

1.5.4 3D in optične merilne naprave

Potrebe po natančnih meritvah in izdelavi merilnih protokolov zaradi sledljivosti in dokumentiranja procesnih dogodkov, zlasti v zahtevnih panogah (npr. v avtomobilski industriji, ...) so omogočile razmah uporabe 3D merilnikov. To so zelo natančni, univerzalni stroji, ki omogočajo meritve v posamični ali maloserijski proizvodnji oziroma meritve na izbranih vzorcih, niso pa namenjeni za kontrolo drugih merilnih sredstev.

Običajno je tak stroj zaradi klimatizacijskih zahtev postavljen v merilnem laboratoriju; miza je lahko tudi iz kamna – granita, zato je potrebno vzdrževanje konstantnih pogojev meritev, tudi aklimatizacija merjenca.

Deluje lahko dotično ali brezdotično. Vsako točko meritve moramo določiti. Možna je tudi povezava s CAD, kar omogoča prenos modela v merilni protokol in izvedbo meritev po točkah, določenih na modelu. Zaradi različnih pogojev so v uporabi tudi različna tipala, ki jih vodimo po merilnih točkah.



Slika 27: Uporaba 5-osnega tipala na bloku motorja

Vir: <http://www.renishaw.com/en/sensor-options--10493/> (2. 1. 2011)



Na spletu poiščite primere tovrstnih merilnih naprav



Slika 28: Koordinatna merilna naprava

Vir: http://www.tesabs.ch/multimedia/docs/2010/08/Q_2010_EN_MH3D_Recorder.pdf/
(2. 1. 2011)


Za kompleksne meritve na velikih obdelovancih v postopku izdelave lahko že kar na obdelovalnem stroju uporabimo merilno roko, ki preko programa omogoča kontrolo geometrije izdelka.



Slika 29: 6-osna merilna roka

Vir: http://www.tesabs.ch/multimedia/docs/2010/08/Q_2010_EN_MH3D_Multigage.pdf/
(2. 1. 2011)

V uporabi so tudi optični merilni stroji, ki omogočajo različne načine osvetlitve: zunanje z osvetlitvenim obročem za osvetljevanje pod poljubnim kotom, notranje koaksialno ter presevno. S tem omogočajo meritve na delih, ki jih sicer težje merimo: izdelke iz umetnih mas (te se ob najmanjšem dotiku deformirajo, zato jih ne moremo meriti na 3D merilnih strojih z dotično metodo), meritve slepih lukenj ipd.

Podrobnosti o optičnih merilnih strojih poiščite na spletu .



Slika 30: Optični merilni stroj

Vir: http://www.tesabs.ch/multimedia/docs/2010/08/P_2010_EN_TESA-VISIO.pdf/
(2. 1. 2011)

1.6 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE



1. *Kaj želimo v podjetju doseči z izvajanjem merilnih protokolov?*
2. *Pri katerih meritvah lahko uporabljamo nožaste merilne lineale?*
3. *Katere meritve lahko izvedemo z uporabo merilnih kladic?*
4. *Določite in utemeljite izbiro merilnega pripomočka ali stroja za izvedbo kontrole tolerance mere na plašču mokre valjne puše motorja z notranjim zgorevanjem. Na izdelku je potrebno preveriti tudi hrapavost. Kako bi jo izmerili?*
5. *Na orodju za izsekavanje bi radi ugotovili stanje površine po poliranju. Na orodju je rezilni rob nepravilne oblike. Kaj bi lahko merili in kako?*

2 POSTOPKI OBLIKOVANJA

Primarno oblikovanje omogoča, da v največji meri izkoristimo dano količino materiala in ga uporabimo s čim manjšo količino doda(t)ne energije (npr. z neposrednim oblikovanjem z ulivanjem).

Žal to ni vedno mogoče. Kljub temu je primarno oblikovanje področje tehnologije, ki ga v veliko primerih uporabimo kot zelo ekonomično in tehnološko ustrezno metodo oblikovanja izdelkov, zlasti v množični proizvodnji (npr. pri delih turbokompresorja za avtomobilsko industrijo, pri izdelkih iz umetnih mas ali iz barvnih kovin), pa tudi v maloserijski proizvodnji masivnih »komplikiranih« izdelkov (npr. pri turbinski lopatici, ...).

Spodaj navajamo izhodiščne dileme pri odločitvi za primarno oblikovanje:

- Kolikšen obseg proizvodnje je predviden?
- Kakšne so konstrukcijske in izdelovalne zahteve; ali jih s primarnim oblikovanjem lahko dosežemo?

Odločitev za primarno oblikovanje je odvisna tudi od razpoložljive tehnologije in organiziranosti podjetja. Sodobna podjetja se pri tem ozirajo tudi na status dobavitelja (ISO certificirana podjetja imajo pri kandidaturi prednost) pa tudi na možnost razvojnega sodelovanja med podjetji.

2.1 LITJE

Pri litju tekočo fazo kovine vlijemo v votlino ustrezne oblike, v kateri se strdi in prevzame njeno obliko. Pri tem zaradi skrčkov dobimo nekoliko manjši izdelek od livne votline, kar pomeni, da z litjem ne moremo izdelati izdelkov z visokimi merskimi in oblikovnimi tolerančnimi zahtevami.

Na spletu poiščite osnovne informacije o litju kovin: uporabnost, postopek, oblikovanje modelov z livarskimi nagibi, obdelava ulitkov, zaščita pred korozijo, ...

Podrobne podatke o skrčkih za nekatere materiale si pogledajte na straneh 703, 706–707 v Krautovem strojniškem priročniku (2007).

Pri izbiri materiala za litje upoštevajmo, da so najbolj livne čiste kovine in evtektične zlitine. Pri železu in aluminiju je potrebno zagotoviti ustrezno odvajanje plinov – odduške. Poleg jekel, železovih litin in aluminija lahko lijemo še brone, medi, cinkove zlitine, aluminijeve zlitine, magnezijeve zlitine in belo kovino ter nekatere druge zlitine.

2.1.1 Litje v enkratne forme

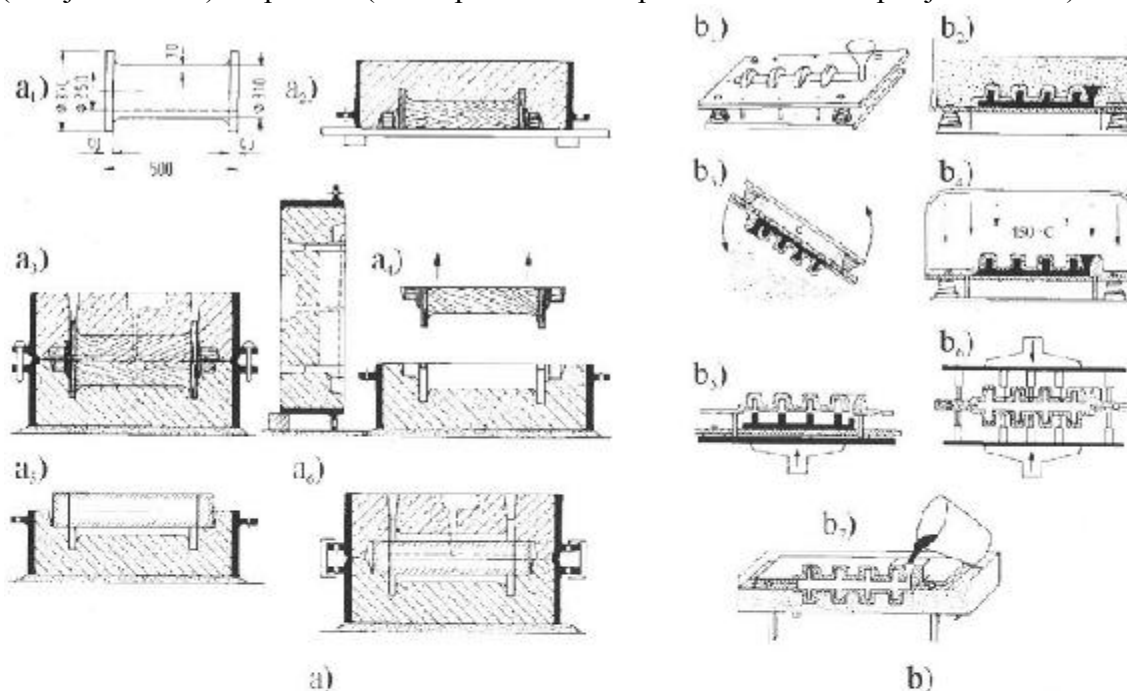
Namenjeno je izdelavi unikatnih izdelkov. Forme in jedra so običajno iz livarskega peska (kremenčev pesek, glina, voda, dodatki). Namesto masivnih lahko izdelamo tankostenske peščene forme (Croning postopek z uporabo smol kot veziva).

Ob sestavljanju forme lahko pride do zamika med spodnjo in zgornjo polovico forme. Temu se lahko izognemo z vstavljanjem modelov, ki jih po sestavi celotne forme stalimo. To lahko naredimo pred litjem (enodelni iztaljivi modeli), lahko pa istočasno z litjem (izparljivi modeli).

Za izdelavo enkratnih form običajno uporabimo livarski pesek. Pri tem potrebujemo tudi modele, ki jih za večkratno uporabo izdelamo iz jekla, sive litine, aluminija, medi,



uporablamo pa tudi plaste, les in mavec. Modele za enkratno uporabo pa izdelamo iz voska (iztaljivi modeli) ali plastov (aminoplasti / UF ali polistiren / PS – izparljivi modeli).



- a) Izdelava dvodelne peščene forme:
- a₁: načrt ulitka;
 - a₂: na spodnji del modela nasujemo pesek in ga utrdimo;
 - a₃: spodnji del forme obrnemo, nanj položimo zgornjo polovico modela, nasujemo pesek in ga utrdimo, izdelamo pa tudi livni sistem in oddušnika;
 - a₄: odstranimo obe polovici modela;
 - a₅: na spodnji del modela položimo jedro, da dobimo notranjo votlino ulitka;
 - a₆: formo sestavimo in jo pripravimo za litje.
- b) Izdelava dvodelne peščene forme po postopku CRONING:
- b₁: kovinska modelna plošča;
 - b₂: nanjo nasujemo s smolo oplasčeni pesek - smola se zmehta in poveže zrnca med sabo;
 - b₃: modelno ploščo obrnemo, da odstranimo odvečni pesek;
 - b₄: peščeno masko dokončno utrdimo;
 - b₅: odstranimo masko z modelne plošče;
 - b₆: sestavimo oba dela maske;
 - b₇: ulivanje v peščeno masko.

Slika 31: Litje v peščene forme

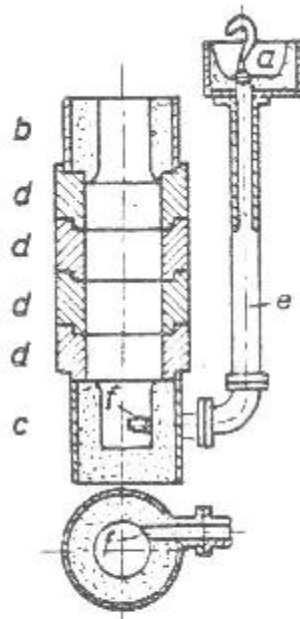
Vir: Zupančič, 2007, 137

Specifično je litje valjev za valjarske stroje – litine s trdo skorjo (Slika 32): na mestih, kjer želimo doseči trdo skorjo (ogljik vezan v obliki Fe₃C), moramo omogočiti hitro ohlajanje, za normalno ohlajanje pa uporabimo formo iz livarskega peska za počasnejše ohlajanje, kar daje sivo strjeno litino. Ta del se lahko obdeluje in je bolj žilav, površina valja pa je trda.

2.1.2 Litje v trajne forme

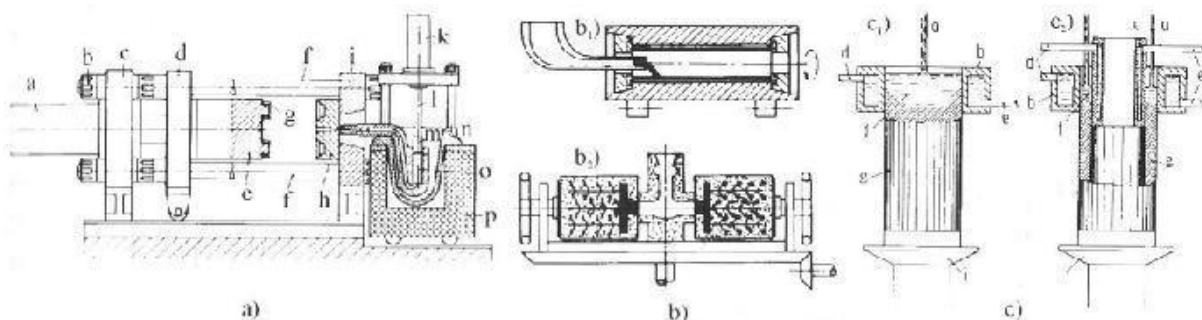
Je običajno litje v kovinske forme (kokile) in je namenjeno izdelavi velikoserijskih izdelkov. Poznamo tlačno in centrifugalno litje, s katerim dobimo končne oblike in mere z dokaj visoko natančnostjo, s kontinuirnim litjem pa izdelujemo osnovne oblike palic, profilov in cevi (Slika 33).

Za izdelavo trajnih form uporabljamo kovine, grafit in keramiko.



- a) ulivnik
- b) forma iz livarskega peska – zgornji del,
- c) forma iz livarskega peska – spodnji del,
- d) sestavljena kokila,
- e) livni kanal,
- f) livni kanal.

Slika 32: Litje valjarskega valja
Vir: Leskovar, 2. del, 1986, 243



- a) Tlačno litje: Talino pod tlakom potisnemo v trajno formo, ki je izdelana iz orodnega jekla. Po strditvi se orodje razpre in izvrže ulitek. Orodje se pred naslednjim ciklom premaže, zapre formo in ponovi cikel.
- b) Centrifugalno litje:
 - b₁: Pravo centrifugalno litje z rotacijsko simetrično formo, ki se vrti in zagotavlja oblikovanje votlega rotacijskega telesa.
 - b₂: Litje pod centrifugalnim tlakom, pri katerem z vrtenjem povečamo livni tlak ter dobimo ulitke s točnimi merami.
- c) Kontinuirno litje: Talina (a) priteka v vodno hlajeno bakreno kokilo (b), kjer se strdi. Ulitek (g) neprekinjeno vlečemo iz kokile. Postopek je uporaben za polne palice in profile (c₁), kot tudi za votle profile (c₂).

Slika 33: Litje v trajne forme
Vir: Zupančič, 2007, 137

Za temeljitejši študij področja livarstva priporočamo: Pelhan, Ciril: *Livarstvo, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Ljubljana 1981.*



2.2 OBLIKOVANJE IZ PRAHOV

Iz spodaj opisanega bomo ugotovili, da je uporabnost te tehnologije zelo široka, vendar zaradi tehnoloških omejitev ni vesplošno uporabna. Bistvena omejitev je velikost izdelka, ki pogojuje enkomernost doseženega tlaka po volumnu izdelka med stiskanjem. Načeloma je možno izdelati izdelke do 1 kg teže. Prednost sintranja je v možnosti združevanja komponent, ki jih s talilniškimi postopki ni možno, velike možnosti pa so tudi z naknadnim spreminjanjem lastnosti izdelkov z dodatnimi obdelavami, kalibriranjem, impregniranjem in infiltriranjem.



Slika 34: Sintrani izdelki

Vir: http://www.s-scv.ce.edus.si/vss/klemensek_joze/Gradiva_TEP/Sintranje/ (8. 1. 2011)

Metalurgija prahov je relativno stara tehnologija, saj je v uporabi že več kot 70 let. Omogoča izdelavo najrazličnejših konstrukcijskih elementov, rezalnih orodij, samomazalnih ležajev in elementov s specifičnimi lastnostmi.


Izraz sintranje ima dva pomena: pomeni celotno tehnologijo izdelave izdelkov iz prahov, ožji pomen pa je del postopka s toplotno obdelavo, ki običajno poteka v zaščitni atmosferi.

Pogosto dele narejene s to tehnologijo imenujemo sintrani deli ali sintri.

Izdelava delov iz prahov vključuje pridobivanje, pripravo in stiskanje prahov, pri katerem nastane surovi stisnjenelec (tudi zelenec), ki ima zadostno trdnost, da ga lahko dvigujemo in prenašamo. Sledi segrevanje na temperaturo pod tališčem glavne sestavine. Pri tem se posamezni delci združijo in zvarijo. Tako dosežemo uporabno trdnost. Sledijo pa lahko še dodatni postopki za izboljšanje specifičnih lastnosti izdelka.

2.2.1 Osnovni pojmi sintranja



Na spletu poiščite razlago osnovnih pojmov sintranja .

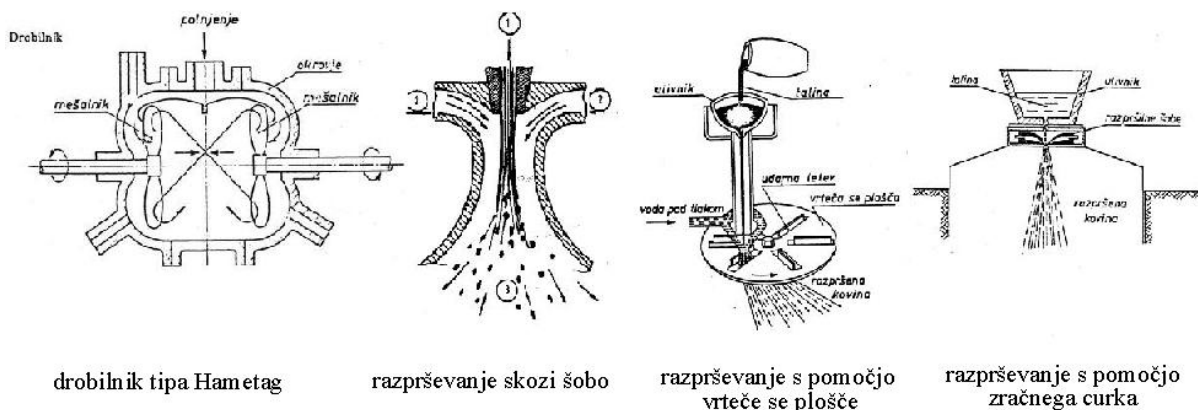
- *SINTER – SINTRANJE*
- *DEFINICIJO SINTRANJA*
- *OPIS POSTOPKA SINTRANJA*
- *UPORABO POSTOPKOV SINTRANJA*

2.2.2 Tehnološke faze sintranja

Pridobivanje prahov

Kovine lahko izdelamo v prašni obliki na različne načine. Od načina pridobivanja je odvisna tudi oblika delcev: igličasta, gobasta, okrogla, ...

- mehanski postopki – drobljenje,
- atomizacija (razprševanje) taline,
- redukcija iz spojine (navadno oksida) v trdnem stanju,
- elektrodepozicija (izločanje pod vplivom električnega toka),
- izločanje iz solne raztopine,
- toplotni razkroj kemične spojine.



Slika 35: Pridobivanje prahu
Vir: Leskovar, 1. del, 1986, 99–101

Priprava prahu

Namen priprave prahu je sestaviti mešanico (iz ene ali pa različnih komponent) v takšni obliki, da nam bo dala zahtevane mehanske, fizikalne in kemične lastnosti (velikost, obliko, kvaliteto, kemično sestavo zrn, površinsko kvaliteto, ...).

Priprava vključuje:

- sejanje – klasificiranje; velikost zrn 1–500 μm ,
- mešanje in dodajanje dodatkov za mešanje,
- toplotno obdelavo prahu: prah segrevamo v redukcijski atmosferi pri temperaturi od 400 do 1000 $^{\circ}\text{C}$. Na zrnih odpravimo oksidno površino, vlago in plinske vključke. Obenem odpravimo tudi notranje napetosti, ki so nastale pri mehanskem pridobivanju prahu.

Stiskanje prahu – prešanje

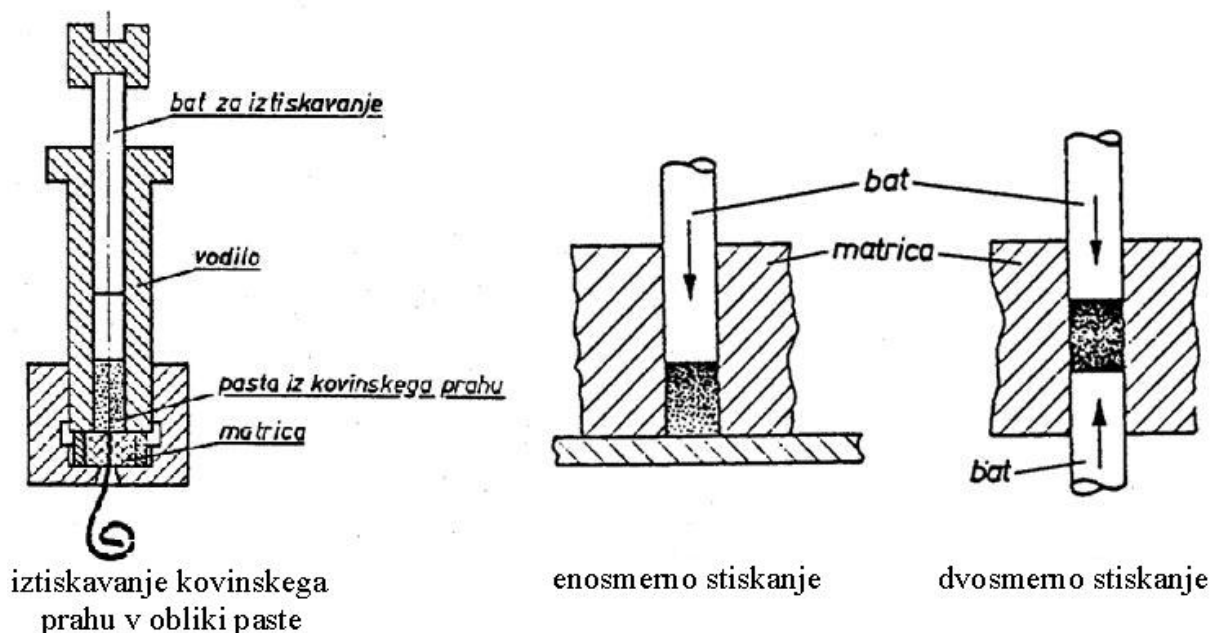
Je zelo pomemben del postopka, saj je od njega odvisna poroznost in s tem povezane mehanske in fizikalne lastnosti predmeta.

Kovinski prah stiskamo v posebno oblikovane posode, ki jih imenujemo matrice.

Za stiskanje uporabljamo mehanske ali pa hidravlične stiskalnice. Potreben tlak je odvisen od velikosti izdelka, od vrste prahu, od zahtevanih lastnosti izdelka. Izjema je lahko prah, pridobljen po kondenzacijskem postopku, ki se lahko oblikuje že s tresenjem v matrici. Stiskamo pri temperaturi okolice in tlaku od 1000 do 10 000 bar. Izjemoma lahko stiskamo tudi pri višjih temperaturah. Zaradi velikih zahtev do orodja (temperatura in tlaki) in oksidacije kovinskega prahu je uporabnost takega postopka zelo omejena.

Matrice ali forme so narejene iz trdih jekel. Ker je izdelava zelo zahtevna in draga, je tehnologija sintranja že zaradi tega smiselna le za velike serije. Količino prahu moramo točno dozirati (po teži ali prostornini). Izhodišče pri doziranju je razmerje med višinama nasute odprte matrice in stisnjene izdelka – stisnjenca, zelenca ali prešanca (stiskalno razmerje H/h), ki je obratno sorazmerno razmerju gostot pred in po stiskanju.

Poleg stiskanja je možno tudi iztiskavanje prahu v obliki paste skozi profil matrice, ki je negativ profila, ki ga želimo izdelati.




Slika 36: Oblikovanje izdelkov iz mešanice prahu




Vir: Leskovar, 1. del, 1986, 105–106

Z dvosmernim stiskanjem dosežemo bolj enakomerno porazdelitev gostote po volumnu stisnjence. Primerno je za izdelke večje višine.

Pri oblikovanju modela ali matrice pa moramo upoštevati nekatere omejitve.



Na spletu poiščite kriterije za oblikovanje sintranih izdelkov .

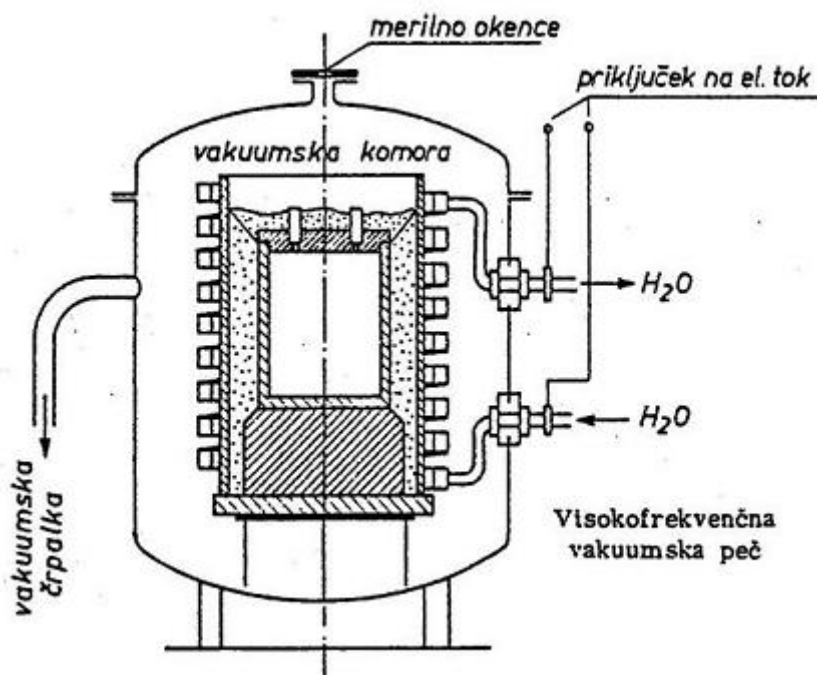
Na spletu poiščite predstavitev postopka sintranja  in podrobnosti o izdelavi z iztiskavanjem kovinskega prahu (Metal Injection Molding) , .

Sintranje

Je postopek toplotne obdelave, podobno difuzijskemu žarjenju. Stisnjence segrevamo do temperature sintranja – pod tališčem kovine, od 600 do 2900, celo do 3.200 °C za kovine z visokim tališčem.

So tudi redki postopki, kjer se kovina raztali v tekoče stanje, nastane pa problem skrčkov. S tem povečamo trdnost, trdoto in gostoto.

Čas segrevanja je do ene ure. Zaradi visoke temperature in relativno dolgega časa sintranja bi izdelki oksidirali, zato sintramo v pečeh z zaščitno atmosfero (dušik ali vodik), ali v vakuumskih pečeh. Peči so šaržne ali tunelske, običajno ogrevane z električnim tokom.



Slika 37: Visokofrekvenčna vakuumska peč

Vir: Leskovar, 1. del, 1986, 108

Tabela 5: Temperature sintranja

Material	Temperatura sintranja [°C]
Bakrove zlitine	600–800
Železove zlitine	1000–1300
Karbidne trdine	1400–1600
Mo, W, Ta, ...	2000–2900

Vir: Puhar, 2007, 710

Po sintranju dosežemo v izdelkih delež por (Puhar, 2007, 710):

- do 60 % za filtre,
- do 30 % za drsne ležaje,
- 15–20 % za strojne dele,
- do 5 % za zelo trdne strojne dele.

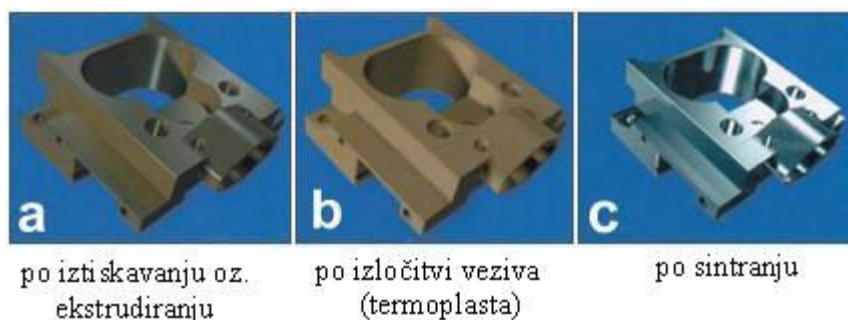
Dodatne obdelave po sintranju

Uporabljamo jih za izboljšavo kemičnih ali fizikalnih lastnosti, ko želimo povečati natančnost izdelave – toleranco, spremeniti geometrijo izdelka, ... Možne so:

- Dodatna toplotna obdelava: kaljenje, cementiranje, ...
- Infiltriranje: zmanjšamo poroznost izdelkov. Na stiskanec pred sintranjem položimo drugo kovino, ki ima tališče nižje od temperature sintranja. Pri sintranju se ta košček kovine stali in se zaradi poroznosti stiskanca vanj vpije (železo-baker). Izdelek ima večjo trdnost in žilavost ter najmanjšo možno poroznost.
- Za večje zahteve se lahko postopek ponovi: stiskanje + sintranje + ponovno stiskanje z višjimi tlaki + sintranje na višji temperaturi.
- Kalibriranje: je ponovno stiskanje z višjimi tlaki, da zmanjšamo razlike v merah oziroma povečamo natančnost izdelave.
- Impregniranje: porozne drsne ležaje napojimo z oljem – najbolje v vakuumu.
- Obdelava z odrezavanjem: struženje, frezanje, brušenje, vrezovanje navojev, ...
- Nanašanje trdih kovinskih prevlek: povečamo površinsko trdoto, odpornost proti koroziji in obrabi, zmanjšamo hrapavost, ...

Iztiskavanje kovinskega prahu v pastastem stanju MIM (Metal Injection Moulding) dobiva nove razsežnosti.

Iz surovine, ki je kovinski prah in termoplastično vezivo (polietilen ali polipropilen, sintetični ali naravni vosek, stearinska kislina idr.), **naredimo mešanico**, ki jo predoblikujemo v gnetilnikih ali valjčnih ekstruderjih v obliko **granulata** velikosti nekaj milimetrov. Ta granulata potem s stroji za ekstrudiranje umetnih mas **oblikujemo v izdelke**, podobno, kot to velja za umetne mase. Kot pri umetnih masah so lahko tudi tukaj oblike skoraj poljubno kompleksne.



Slika 38: Izdelava iz kovinskega prahu z iztiskavanjem

Vir: [http://www.pim-](http://www.pim-international.com/what-is-metal-injection-moulding/introduction-to-metal-injection-moulding-MIM-PIM/)

[international.com/what-is-metal-injection-moulding/introduction-to-metal-injection-moulding-MIM-PIM/](http://www.pim-international.com/what-is-metal-injection-moulding/introduction-to-metal-injection-moulding-MIM-PIM/) (8. 1. 2011)

Ekstrudiranju sledi **odstranjevanje veziva**, ki zagotavlja začasno povezavo delcev. Ob izločitvi veziva nastanejo pore, oblika izdelka pa se ohrani. V času sintranja lahko preostale količine veziva, ki po odstranjevanju stisnjena še ostanejo ujete v mreži kovinskega prahu, skozi pore izparijo.



Na spletu poiščite razlago postopkov odstranjevanja veziva .

Odstranjevanju veziva sledi **sintranje**. Že v začetni fazi se začno graditi povezave med kovinskimi delci. Med sintranjem izgine večina por, ki jih je pred tem zapolnjevalo vezivo, kar povzroča krčenje, ki je linearno in dosega vrednosti med 15 in 20 %. Preostala poroznost je do 5 % in je zelo fino porazdeljena. Običajno so pore sferične oblike. Na površini ni poroznosti, zato izdelki niso prepustni za kapljevine in pline.

Če je potrebno, lahko tako pridobljene izdelke **dodatno obdelamo** s klasičnimi postopki, toplotno obdelavo, možno je tudi oplemenitenje površine, kot to velja za kovane ali lite izdelke.






Slika 39: Postopek MIM

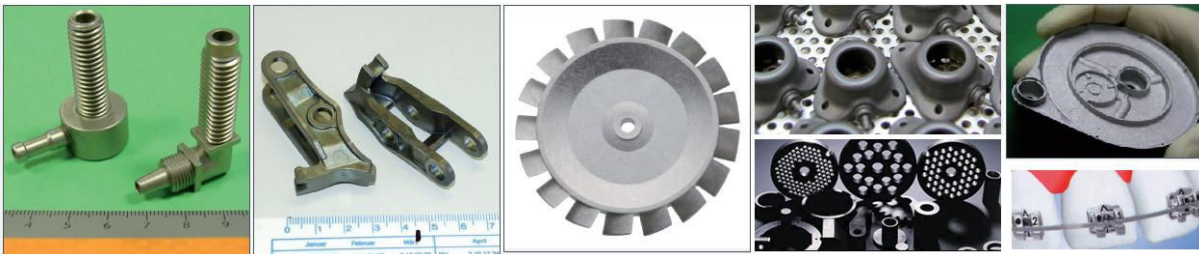
Vir: <http://www.pim-international.com/aboutpim/sintering/> (8. 1. 2011)

Podobno velja tudi za oblikovanje izdelkov iz keramičnega prahu. Postopek se imenuje CIM – Ceramic Injection Moulding.

Materiali, ki jih oblikujemo s tehnologijo MIM:

- nerjavna jekla in malolegirana jekla (ortodonska pritrdila),
- visokolegirana jekla,
- zlitine brez niklja (kirurško in dermatološko neoporečni izdelki),
- orodna in hitroreznna jekla,
- materiali za magnetne in posebne zlitine (Fe-P, Fe-Si, Fe-Ni, Fe-Co), INVAR, KOVAR,
- neželezni materiali (Ti in Ti zlitine Ti6Al4V, Ti6Al7Nb) za medicino, bižuterijo in finomehaniko,
- Cu in Al zlitine,
- W, Co, Ni in zlitine W-C-Co za rezalna orodja in močno obremenjene dele.

Na spletu poiščite lastnosti materialov, primernih za MIM tehnologijo ,  ter tolerance izdelkov .



Slika 40: izdelki MIM tehnologije
Vir: <http://www.pim-international.com/> (9. 1. 2011)

2.3 OBLIKOVANJE UMETNIH MAS

Umetne mase ali »plastiko« predelujemo v končne izdelke po fazah. Pripravi materialov sledi izbrani postopek oblikovanja, nato lahko sledijo postopki dodatnih obdelav in postopki spajanja.

V nadaljevanju si lahko pogledate našete postopke in zelo grobo predstavitev uporabnosti le-teh.

Ker je opisano področje tako široko, smo se posvetili le pregledu možnih postopkov. Za podrobnejši in bolj poglobljen študij pa priporočamo priročnik Plastik – orodjar, Navodnik, 1998 ali novejšo literaturo, pa tudi spletne vire, zlasti proizvajalcev umetnih mas in strojev.



Na spletu poiščite lastnosti umetnih mas , .



A. Prva faza oblikovanja umetnih mas – **PRIPRAVA MATERIALOV**



- Polimere sintetiziramo iz monomerov s postopki polimerizacije, polikondenzacije ali poliadicije.
- Osnovnim polimerom dodajamo nekatere dodatke, ki dajejo masam značilne lastnosti:
 1. gladila (mila, parafine, ...);
 2. stabilizatorje (ogljje, ...):
 - termostabilizatorje,
 - fotostabilizatorje,
 - antioksidante,
 - biostabilizatorje;

3. antistatike (polietilenglikolestre, ...);
4. protivžigne dodatke (spojine Cl in Br, ...);
5. barvila in pigmente, dodatke za svetlost (netopne anorganske ali organske pigmente, ...);
6. fleksibilizatorje:
 - visokopolimerne dodatke za žilavost,
 - mehčala;
7. oprijemalna sredstva;
8. polnila:
 - polnila (saje, lesni prah, vlakna jute, kreda, marmor, ...),
 - izboljševalce lastnosti (steklene kroglice, ...),
 - armature (steklena armaturna vlakna, ...);
9. penila;
10. tehnološke dodatke:
 - visokopolimerne tehnološke dodatke,
 - zamreževalce,
 - kristalizacijska jedra.



B. Druga faza oblikovanja umetnih mas – IZBIRA TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA


Umetne mase ustrezno **pripravimo** (kompaundiramo = primešamo dodatke, homogeniziramo, ekstrudiramo granule), nato jih **transportiramo do stroja** (transport je lahko zračni, tračni, vibracijski ali polžni, volumetrični (sipki), batni (tekoči) in gravimetrični (praškasti)), sledi pa lahko še **priprava penjenih materialov** (z vmešavanjem zraka ali z dodajanjem plinotvornih primesi, s plini (N₂, pentanom, metilkloridom, metilenkloridom, paro, ...). V nadaljevanju izvajamo izbran tehnološki **postopek oblikovanja**. Poznamo nizkotlačne in tlačne postopke oblikovanja. Pri posameznem postopku so v nadaljevanju lahko navedene posebnosti postopka in primeri uporabe. Z aktivno ikono je omogočena povezava na video predstavitev ali podrobno predstavitev postopka.

1) Nizkotlačni postopki predelave


- *Omakevanje in napraševanje* 
 - Izdelava rokavic iz PVC mehke paste, izdelkov iz različnih smol.
- *Ulivanje in nabrizgavanje* 


Možno je **ročno ulivanje**: izdelava modelov iz PVC past in reakcijskih smol, ali **šaržno ulivanje** v silikonske modele – pogosto tudi za hobi proizvode.


 - Reakcijsko ulivanje elektrodlov običajno poteka v vakuumirane ulivalne kalupe, kot ulivanje PUR blokov ali PP trdih pen; z mešalno glavo vlivamo na trak, z dodatkom zunanjih materialov pa lahko dobimo sendvič izdelke.
 - Večkomponentno ulivanje npr. za polimerni beton (s PMMA, EP in UP vezivi), za marmorirane večbarvne izdelke.
- *Rotacijski in centrifugalni liv*  
 - V odprte lupinaste modele vlijemo pasto ali nasujemo prah. Ko se na ogrete kalupe natali ali naželira dovolj debela plast, iztresemo ostanek (lupinast liv – SLUSH).
 - Rotacijski liv: v ogrevane kalupe doziramo določeno količino paste ali prahu in z ogrevanjem od zunaj ter rotacijo v dveh smereh dosežemo oblikovanje stene od 1 do 12 mm debeline; primerno je za izdelavo velikih izdelkov.

- Pri centrifugalnem livu v hitro rotirajoča orodja vlivamo izdelke z debelo steno, brez odprtine, brez lunckerjev in notranjih napetosti, tudi kompozitne cevi, ki so na zunaj povsem gladke, zobnike, obroče iz litega PA, plošče iz mehkega PVC, PMMA, PUR, silikon kavčuka, poliestra.
- *Nizkotlačni postopki oblikovanja ojačanih mas* (npr. FRP – fiber reinforced plastics) 
 - Oblikovanje velikih in konstrukcijsko stabilnih izdelkov iz reakcijskih smol z dodajanjem steklenih ali drugih armatur. V plast stene vdelamo mato (tkanino) ter namakamo s smolo – ročno laminiranje.
 - Možno nabrizgavanje vlaken z brizganjem dveh kombinacij smole – v eni pištoli je smola s trdilom, v drugi smola s pospešilom. Možno je nabrizgavanje in laminiranje na rotirajočem izdelku.
 - Možni so kombinirani postopki z uporabo vakuumu, injiciranja ali kombiniranega načina vnašanja smole v zaprt dvodelni kalup. Omogočajo izdelavo tudi velikih, celo sendvič izdelkov.
 - Mokro prešanje v dvodelnem kalupu brez izmetačev. V kalup/matrico vložimo armaturo, nanjo pa vlijemo smolo. Sledi hladno ali vroče prešanje. Izmetujemo z zračnim tlakom.
 - Navijalni postopek omogoča izdelavo okroglih teles z navijanjem sproti imegniranega rovinga (100–250 vlaken premera 5–25 μm spletenih v snopič) ali prepletenih trakov. Možno je izdelovati brezkončne cevi in sendvič cevi. Izdelujemo lahko na mestu uporabe. Nesimetrične izdelke izdelujemo z robotom. Z navijanjem na jedra lahko izdelamo izdelke do premera 10 m in dolžine 50 m. Kasneje jedra odstranimo, razstalimo ali izperemo. Z njimi lahko izdelamo trup podmornice, rotor helikopterja, letala.

2) Tlačno oblikovanje

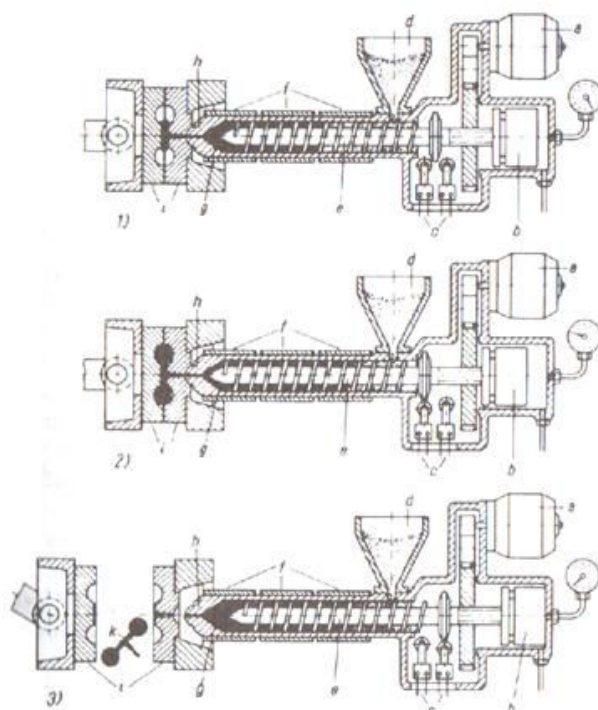
- *Prešanje* 

V odprto orodje napolnimo maso za en izdelek in orodje zapremo. V ogretem orodju se masa razlije po gravuri. Uporabno je za termoplaste in duroplaste, npr. za PTFE.
- *Brizgalno prešanje (RTM – Resin Transfer Moulding)* 

Maso predhodno stalimo v tlačni komori in jo z batom porinemo v gravuro. Uporabno je za termoplaste in duroplaste.
- *Brizganje* 
 - Je najbolj razširjen postopek. S plastificirnim cilindrom in polžem stalimo in plastificiramo maso za večkratni brizg. V orodje vbrizgamo skozi dolivne kanale z vzdolžnim pomikom polža. Zaradi kompenzacije skrčkov med ohlajanjem z naknadnim pritiskom polža dodatno doziram. Orodje za termoplaste ohlajamo, za duroplaste pa ogrevamo. Uporabno je za termoplaste in duroplaste.

Okvirne vrednosti za brizganje termoplastov poiščite v priročniku Plastik – orodjar, Navodnik, 1998, 209–210.






Princip brizganja termoplastov

Deli brizgalne enote:

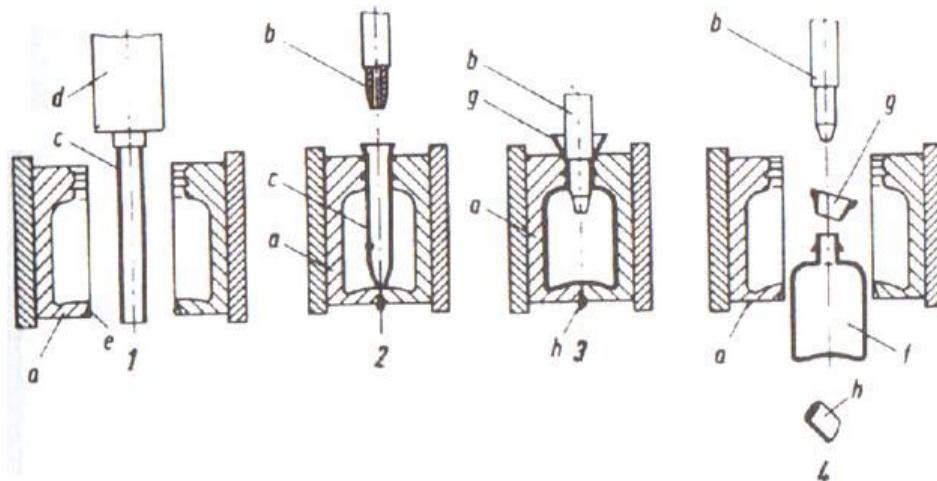
a – pogonski motor za vrtenje polža,
 b – hidravlični pogon za aksialni pomik polža, c – končno stikalo za vklopitev naknadnega pritiska in desno končno stikalo za omejitev hoda polža, d – lijak, e – pomični polž, f – cilindri z greli, g – komora za plastificirano maso, h – greta šoba v zaporni grupi, i – dvodelno orodje z dolivno šobo

Slika 41: Princip brizganja termoplastov

Vir: Navodnik, 1998, 201

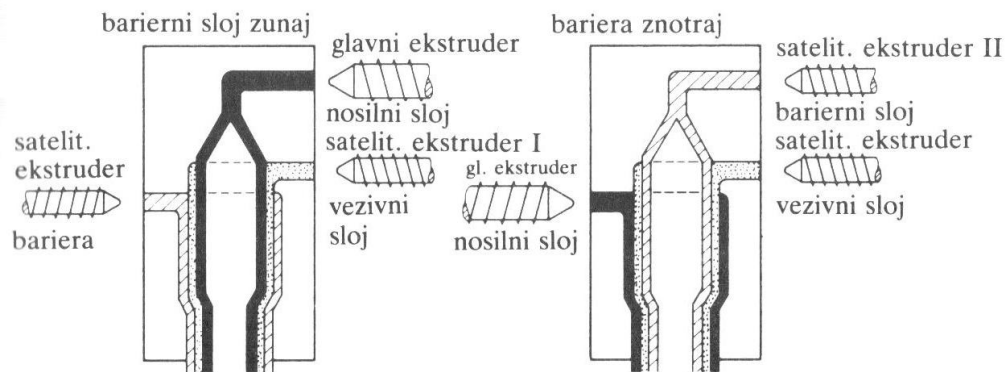
- Poznamo večkomponentno brizganje pri dveh ali več brizgalnih grupah pri isti zapiralni grupi.
 - Sendvič brizganje deluje na principu oprijemanja mase na steno, medtem ko jedro teče naprej. Jedro je lahko iz druge mase (slabše kakovosti, penjeno ipd). Uporaba za PPE, PMMA, PS, CA, ABS, PS, ne pa za trd PVC.
 - Brizganje termoplastičnih pen se uporablja za ohišja, rezervoarje, palete, športne proizvode ipd., ki imajo zalito površino in penasto jedro. Z vpihovanjem plina ali dodajanjem penil lahko znižamo gostoto materiala izdelka na 55 %.
 - S postopkom brizganja s stiskanjem izdelujemo debele izdelke iz kristaliničnih mas, npr. zobnike. Izdelek najprej izbrizgamo, nato pa stisnemo. Med kristalizacijo se izdelek utrdi in je enakovreden brizganemu.
 - Okvirna navodila pri iskanju vzrokov za napake poiščite v priročniku Plastik – orodjar, Navodnik, 1998; za termoplaste na strani 213, za duroplaste pa na strani 219.
 - Pri brizganju duroplastov je bistven čas utrjevanja. Načeloma računamo z 1 minuto za plastificiranje in 15–60 s/mm debeline za utrjevanje.
- *Pihanje votlih teles* 
- Izdelek v vročem plastičnem stanju stisnemo v kalup za pihanje in ga z zrakom napihnemo do stene kalupa. Uporabno je za nekatere termoplaste.
 - Predoblikovance izdelamo v plastičnem stanju; enostransko odprte z brizganjem, dvostransko odprte z ekstruzijo – v tem primeru robovi orodja preščiptione in zavarijo dno posode ter ostanek pri grlu.





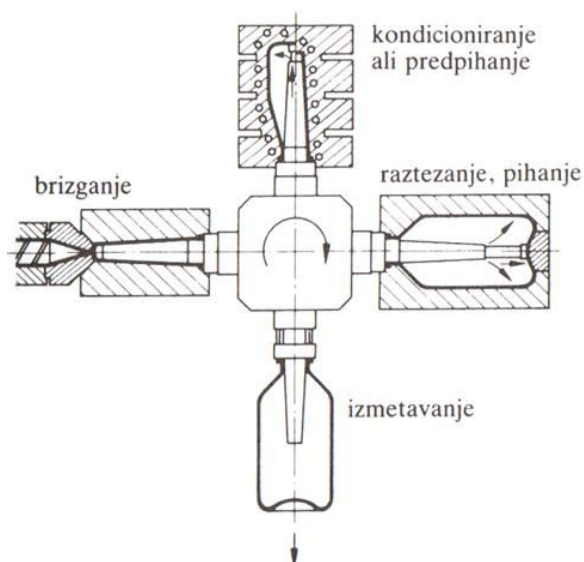
Slika 42: Stopnje ekstruzivnega pihanja termoplastov
Vir: Navodnik, 1998, 221

- Poznamo tudi prekinjeno (jadralske deske) in kontinuirano (HDPE baloni za vodo) ekstrudiranje.
- Večslojno koekstrudiranje omogoča izdelavo posod z bariernimi materiali.



Slika 43: Trislojni ekstruder za predoblikovanje z bariernim materialom
Vir: Navodnik, 1998, 227



- S potopnim pihanjem izdelamo predoblikovanec s potapljanjem – oslojevanjem trna. S kombinacijo hitrosti gibanja trna in protitrna lahko celo dosežemo različne debeline stene. Po izvleku trn potuje v formirno orodje, kjer se izpiha izdelek.
- Z brizgalnim pihanjem izdelamo v orodju predoblikovanec v obliki kegljastega tulca, ki ga nato kondicioniramo, izpihamo v končno obliko v razteznem orodju in odložimo.
 - Zelo podobno je vlivno pihanje, kjer namesto brizganja uporabimo vlivanje oz. iztiskanje.
 - S stiskalnim pihanjem izdelujemo tube in ampule do 1500 ml. Poteka v štirih fazah: vbrizgavanje zapiralnega dela – grla, premik v brizgalni kalup in iztiskanje mase za formiranje predoblikovanca, izpihanje predoblikovanca ter izbijanje z obrezovanjem odpada.
- Raztežno pihanje omogoča izdelavo močnejših plastenk (0,5–5 litrov). Običajno izdelujemo iz PET, PVS, iz PVDC pa tudi barierni sloj. Možna je reciklaža.

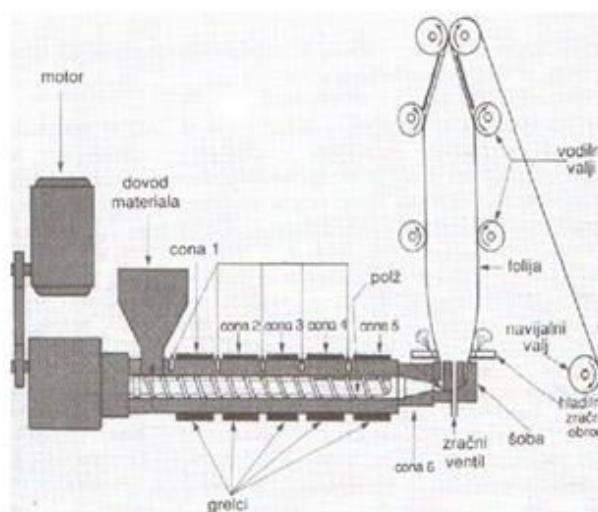


Slika 44: Raztezno pihanje s štirimi delovnimi postajami
Vir: Navodnik, 1998, 229


– Ekstrudiranje 

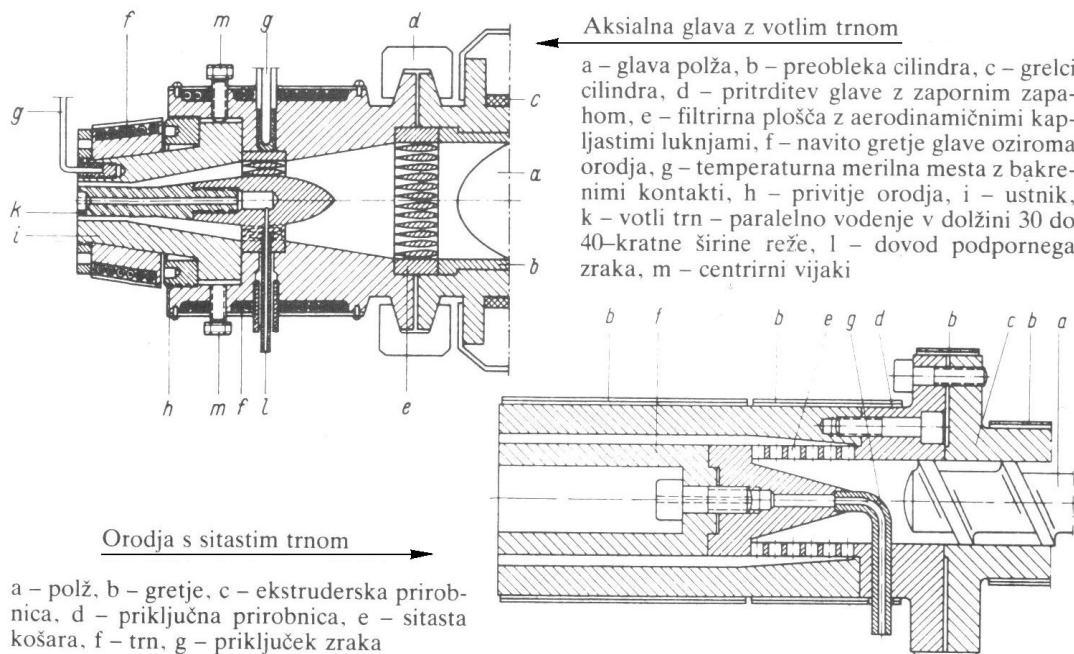
- Poznamo batne, polžne in Maxwell ekstruderje s strižnim efektom za viskozno elastične mase.
- Napake:
 - V primeru mehurčkov na izdelkih je potrebno predušenje ali odplinjevanje.
 - Veliki mehurčki nakazujejo prisotnost zraka, lahko premajhen vlek mase.
 - Mehurčki na površini so posledica previsoke delovne temperature, temne lise in madeži (pri PVC) pa kažejo na pregrevanje in razpad materiala. Včasih je potrebno le očistiti stroj.
 - Vzdolžna markiranja so posledica nečistoč v masi.
 - Hrapave površine kažejo na nedovoljeno temperaturo ali prenizek pritisk.
 - Neenakomeren pretok polža je posledica nihanja napetosti, preobremenitve, premajhnega upora mase, neenakomernega doziranja.

a) Ekstrudirno pihanje folije  , 

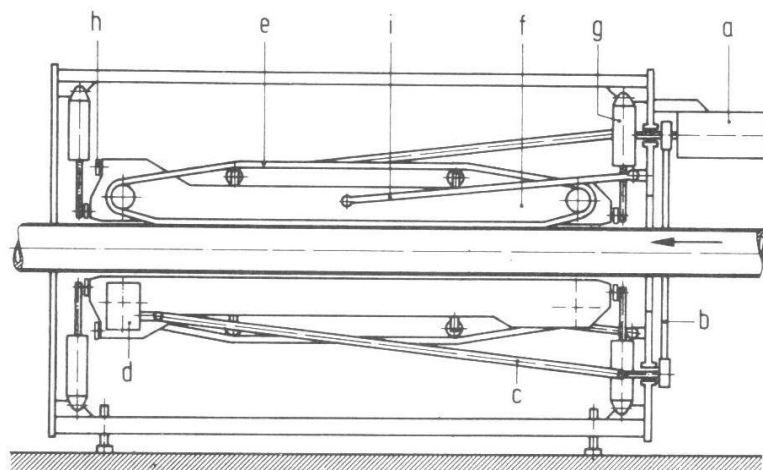


Slika 45: raztezno pihanje folije
Vir: Navodnik, 1998, 233

- b) Ekstrudiranje cevi, profilov, kablov, monofilov 
- Največ se proizvajajo cevi iz PVC, HDPE (vodovod in tlačne cevi, drenažne cevi, industrijske cevi – tudi PP),
 - PVC, HDPE, LDPE kabli,
 - hišne odtočne cevi – sive PVC, PP,
 - drenažne in odtočne cevi PVC,
 - cevi za plin PVC, HDPE,
 - za instalacije pitne vode – črne HDPE.
- Za proizvodnjo cevi uporabljamo votlo glavo s trnom na nosilcu ali sitastim trnom in dovajanjem zraka, ki prepreči sesedanje cevi. V podaljšku osnovne faze izdelave PE in PP cevi je še vrsta kalibratorjev, ki zagotavljajo fiksno zunanjo obliko do strjevanja, sledi pa še ohlajanje v zračnem kanalu.



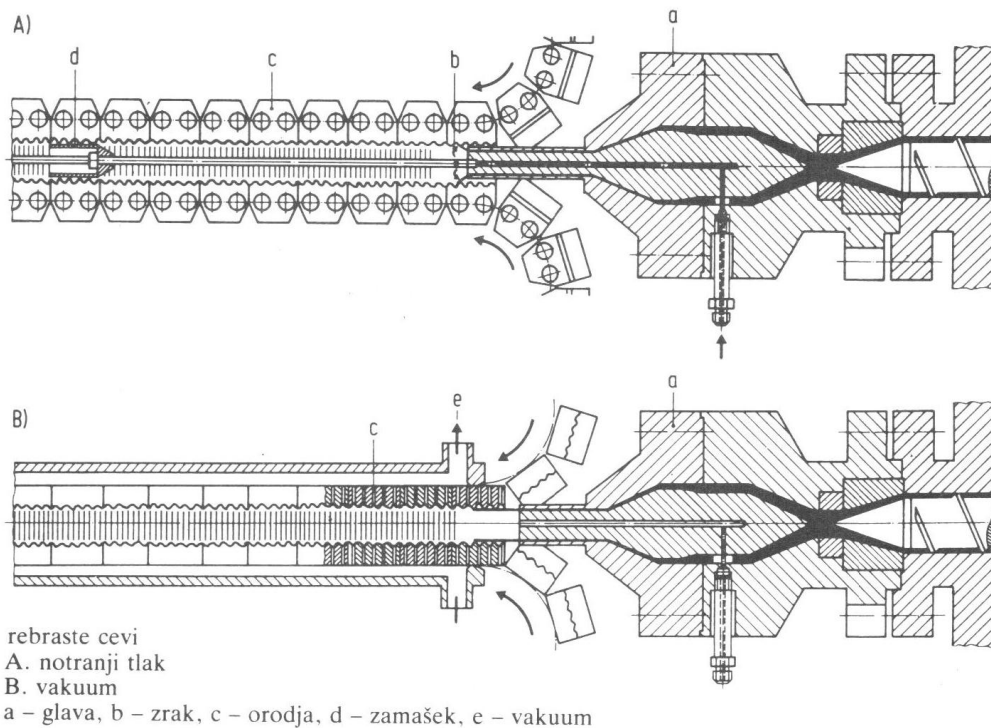
Slika 46: Orodja za izdelavo cevi
Vir: Navodnik, 1998, 248



- Dodelava cevi
 I. vlečna enota
 a – motor
 b – trak
 c – kardan
 d – vijak
 e – veriga
 f – nosilec rezalca
 g – tlačna naprava
 h – prenos
 i – vez

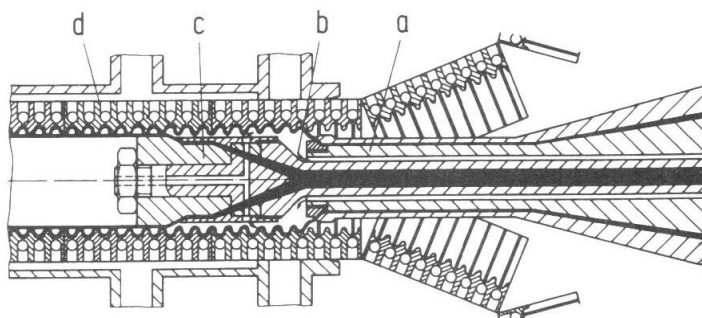
Slika 47: Vlek cevi
 Vir: Navodnik, 1998, 249

- Rebraste cevi oblikujemo s pomičnimi zunanji kalupi rebraste oblike in notranjim plavajočim drsnikom, privezanim na žico ali z vakuumom.



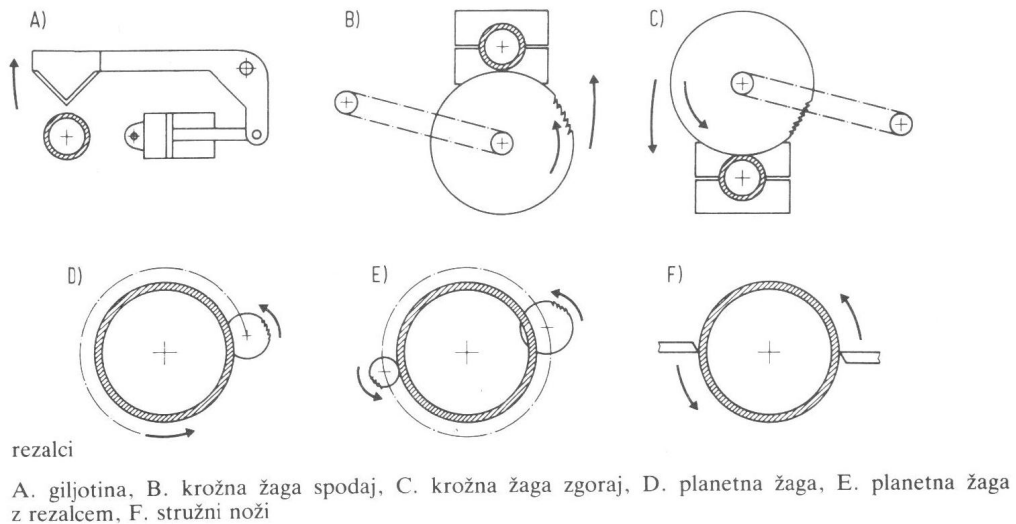
- rebraste cevi
 A. notranji tlak
 B. vakuum
 a – glava, b – zrak, c – orodja, d – zamašek, e – vakuum

Slika 48: Izdelava rebrastih cevi
 Vir: Navodnik, 1998, 249



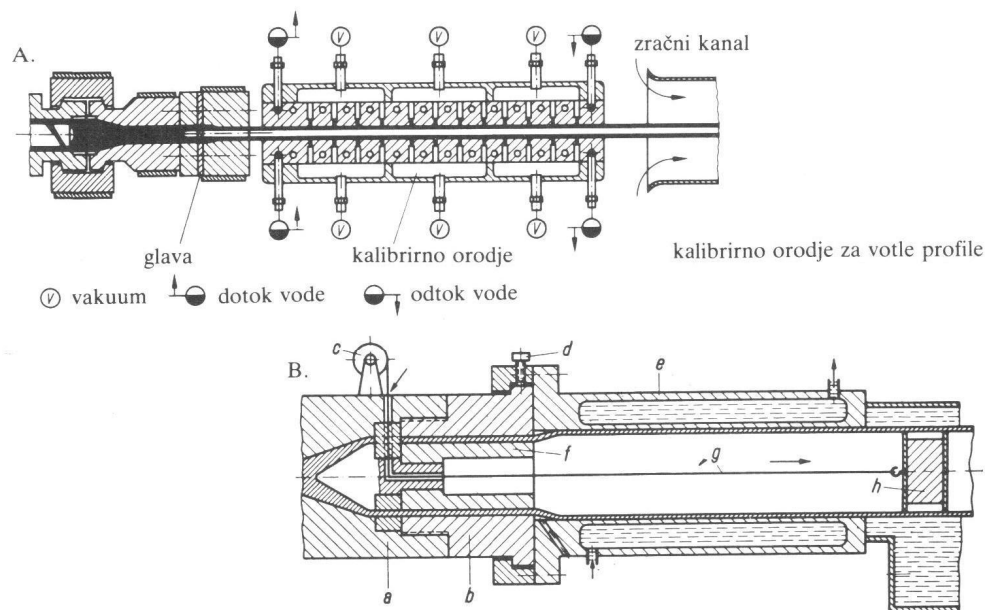
- dvojna rebrasta cev
 a – šoba za koekstruzijo
 b – vodilo
 c – raztegovanje notranjega sloja
 d – orodje

Slika 49: Izdelava dvoplastnih rebrastih cevi
 Vir: Navodnik, 1998, 250



Slika 50: Razrez cevi
Vir: Navodnik, 1998, 250

- Za proizvodnjo votlih profilov z več votlinami potrebujemo komplicirana orodja z več trni. Velik izziv je doseganje enakomerne porazdelitve temperature in masnega toka ter večkratno kalibriranje.



postopek proizvodnje cevi s kombiniranim centriranjem in kalibriranjem
a – glava, b – cevne šobe, c – navitje žice, d – centriranje, e – kalibrirna cev, f – trn, g – žica, h – plavajoč zamašek


Slika 51: Kalibriranje votlih profilov
Vir: Navodnik, 1998, 250

- Za izdelavo profilov s penastim jedrom je potrebno priklopiti več ekstruderjev skupaj.
- Navite cevi (iz poliolefinov; PE, PP, PB, PMP), premera 500–1000 mm v dolžinah 5–6 m izdelujemo s spiralnim navijanjem vročih trakov neposredno iz šobe ekstruderja na jedro. Trakovi se medsebojno zvarijo. Uporabimo lahko votle ali narebričene profile in s tem izboljšamo togost ter zmanjšamo težo.
- Za izdelavo rebričastih profilov in plošč iz PMMA ali PC, znanih s področja zasteklitev zimskih vrtov in rastlinjakov, uporabljamo orodja z zamenljivimi

trni v ekstruzijskih orodjih. Podobno velja za kartonažo. Proizvodni gabariti so:

- PMMA: 10–40 mm x 2500 mm; za stene in rastlinjake,
- PC: 2–16 mm x 2000–2500; mm za zasteklitve,
- PMMA: 5 mm x 2500 mm s 4 kanali; za sončne kolektorje,
- PP in HDPE: 2–8 mm x 2500 mm, 2–3 sloji; za kartonažo.
- Polne profile izdelujemo z zaslonkastimi orodji, to so na ekstrudersko glavo pritrjene plošče z vrezanim profilnim presekom, ki so lahko tudi kombinirano postavljene in zagotavljajo izdelavo bolj zahtevnih profilov. Polne precizne profile kalibriramo po tehnofom postopku, ki je podoben vlečenju kovinskih materialov skozi votlice. Vlek in ekstruzija morata biti usklajena, da ne pride do lunckerjev v sredici. Ko se namreč stena že oblikuje, je sredica še tekoča in jo je potrebno dopolnjevati zaradi kompenzacije skrčkov pri kristaliničnem strjevanju.
- Penjene profile izdelujemo z dodajanjem kemijskih penilcev. Nastavitev temperatur na ekstruderju mora zagotavljati penjenje na izstopu iz šobe. S koekstrudiranjem izdelamo penjen profil z masivno zunanjo lupino.
- Oplaščenje žic in kablov omogoča izolacijo in zaščito kablov. Skoraj na temperaturo mase predogreto žico ali predizoliran kabel vodimo skozi centralno izvrtino v glavi ekstruderja. Hitrost pretoka žice dosega lahko tudi do 2500 m/min.
- Za izdelavo monofilamentov, raztegnjenih plastičnih žic uporabljamo orodja z do 200 šobami. Hitrost pretoka je do 160 m/min. Premeri od 0,08 mm do nekaj mm. Monofilament gre iz šobe v kopel s temperaturo pod tališčem kristalitov. Sledi sušenje v sušilni komori. V tehnološki verigi so še vlečna enota, raztezne kopeli ter vodne ali zračne raztezne enote. Na koncu monofilament iz vsake šobe navijamo posebej, na ločen navijalec, v kolute od 10 do 40 kg.

c) Valjanje (kalandiranje) PVC folij

- Ravne folije in plošče od debeline 0,01–25 mm delimo v tri kategorije: filme z debelino 0,01–0,2 mm, folije do 2 mm, plošče debeline 2 mm in več.
- Izdelovanje je možno:
 - Z ulivanjem filma do 400 μm , s hladnovaljnim *chill-roll* postopkom; iz ekstruderske šobe maso vodimo na hlajene valje, kjer jo raztegnemo in stanjšamo na debelino 8–10 μm .
 - Folije za termoformiranje debeline 0,1–2 mm izdelujemo s hladnovaljnim postopkom z minimalnim vlekem. Dekorativne folije ekstrudirajo med tople valje v 1–2 mm debele trakove in jih nato stiskajo na 0,1–0,8 mm debeline. To je kombinacija s kalandiranjem. Sledi vtiskovanje in poliranje, nato pa hlajenje in navijanje.
 - Valjane folije debeline 0,5–2 mm in plošče debeline 2–25 mm izdelujemo z ekstruzivnim valjanjem *roll-stock*, ki je podobno kalandiranju. Dosežemo lahko motno, sijajno ali vtisnjeno površino, zato uporabljamo materiale za avto- in pohištveno industrijo, gradbeništvo in strojogradnjo. Maso, ki je na vstopu v valje nakopičena v raztaljenem stanju, valji istočasno stiskajo in gladijo.
 - Kalandirane folije 0,05–1 mm izdelujemo s kalandiranjem.
- *Kalandiranje, kaširanje in premazovanje* 
 - Predvsem izdelujemo PVC trde in mehke folije. Kalandre sestavljajo mešalci, ekstruderji in valjčniki. Valji so ogreti na preko 200°C in imajo

posamično ločeno regulacijo. Kalandirnim valjem sledijo hladilni, vtiskovalni in tiskarski (globoki bakrotisk).

- Kaširanje se uporablja za proizvodnjo večslojnih folij, kjer posamezne debelejšje plasti predogrejemo in naknadno stiskamo. Laminiranje uporabimo za spajanje plastike na nosilni trak iz papirja, tekstila, flisa ali steklenih vlaken (embalaža, zaščitni materiali, tekstilna industrija, talne obloge, tekstilne tapete, umetno usnje, ...).

– Preoblikovanje

a) (Hladno) preoblikovanje

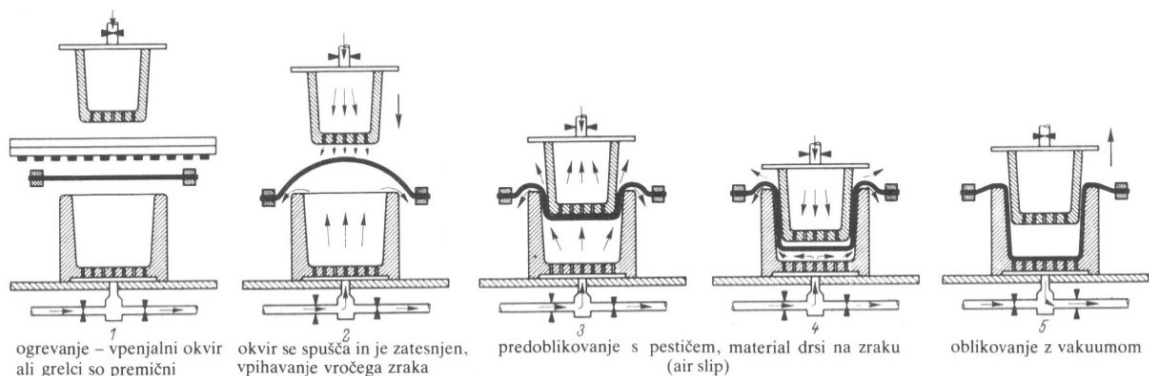


- Postopki hladnega preoblikovanja so: kovanje, hladno valjanje, stiskanje in globoko vlečenje.
- S temi postopki izdelujemo pokrove, kozarce, skodelice za živila, pribor za enkratno uporabo, male tehnične izdelke.
- Temperatura predogrevanja je pod temperaturo tališča kristalinitov ali nižje.
- Lahko delamo na orodjih za delo s kovinami z reducirano vlečno silo.
- Proizvodni stroški so do 75 % nižji od tistih pri brizganju, izdelki pa so trdnjši.
- S kovanjem izdelujemo vijake iz PA s kovinskimi polnili, tulce patron, telesa ventilov, rotorje črpalk, zobnike iz ŠE, PP, POM, PPO in ABS. Podobno delamo tudi PP kozarce.
- Pri vlečenju dosežemo E modul do 100 GPa; uporablja se pritisk z gumi blazino in vodo.

b) Termoformiranje



- Termoformiranje ali toplo preoblikovanje je lahko ročno ali strojno.
- Poznamo: krivljenje, vlečno termoformiranje s tanjšanjem materiala in uporabo elastičnega okvira, raztežno termoformiranje z uporabo togega okvira ter vakuumsko ali pihano termoformiranje.




Slika 52: Kombinirano termoformiranje

Vir: Navodnik, 1998, 302

- Poleg omenjenega poznamo še rotacijsko termoformiranje.
- Pri skin ali blister pakiranju polagamo drobne izdelke na karton, preko njih pa prevlečemo tanko folijo, ki jo vakuumiramo tesno na izdelke. Le-ti služijo kot patrice orodja. Če vakuumiramo vnaprej izdelana gnezda (tablete), pa običajno na površino kaširamo zapiralno folijo (lahko Al).

3) Varjenje termoplastov

I. Ročno in terensko varjenje

a) Z vročim zrakom 

Predoblikovane utore oblike V, H ali X pri ročnem varjenju zapolnimo s fugirno maso iste sestave (HDPE, PP, PVC, PVDF), s taljenjem z vročim zrakom. Dosežena temperatura je 300–400 °C. Poleg prahu lahko uporabimo tudi žico oziroma palico premera 4 mm.

b) Ekstrudersko 

Pri ekstruderskem varjenju za varjenje debelejših (PE, PP) izdelkov uporabljamo prevozni ekstruder. Je bolj primerno od toplozračnega za debeline nad 5 mm.

c) Vročeelementno 

Brez dodajanja materiala. Grelni elementi so ponikljani ali posrebreni, lahko so prevlečeni s PTFE (do 260 °C). Po ogretju do odebelitve se grelni element odstrani in oba dela hitro spoji s pritiskom 0,1–2 N/mm², ki mora trajati do ohladitve.


II. Industrijsko varjenje

a) Vročeelementno 

Izdelava oken iz PVC profilov, ... Lahko pa tudi v fuge vložimo PP trak z bakreno žico in jo ogrejemo. Folijo varimo z vročim šivanjem.

b) Ultrazvočno 

Uporablja se frekvenco 20 ali 40 kHz. S keramičnim pretvornikom iz električne energije dobimo mehansko UZ valovanje, ki ga varilno telo (sonotroda) prenaša na varjenec. Na stiku zaradi trenja pride do segrevanja na varilno temperaturo v 0,02–2 sek. Varimo lahko SAN, PS, ABS, PMMA, POM, PC, PET in PA. Uporablja se pri avtomobilskih lučeh, spojlerjih, aparatih, filmskih kasetah, ...

c) Varjenje s trenjem 

Običajno rotacijsko varjenje uporabljamo za bencinske filtre, povratne ventile, cevi, plavalne boje, ... Trenje sme trajati 0,5 sek., zato potrebujemo stroje z možnostjo hitre zaustavitve.

d) Visokofrekvenčno 


Uporabno je le za nekatere termoplaste, PVC, CA, PA, PUR, TR. Možno je tudi varjenje s papirjem, tekstilom, penami.

Izdelujemo etuije, mape, ovitke, medicinske ali napihnjene izdelke, preobleke vrat, sedežev in stropa avtomobila, rešilne splave, PVC ventilatorje, ...

e) Indukcijsko 

Uporablja se za spajanje težko zavarljivih, tudi različnih mas.

Med plošče vložimo plastični profil (Emabond) z ustrezno vsebnostjo kovinskih delcev, ki se ob delovanju visokofrekvenčnega izmeničnega toka od zunaj segreje in s pritiskom na spoj omogoči zvarjanje.

f) Lasersko 

Uporablja se v avtomobilski industriji za mehko-trde spoje, tudi na težko dostopnih mestih. Potrebne so gladke fuge. Običajno prekrivni spoj.

4) Lepljenje (ne za vse vrste umetnih mas)

Surovine za lepila so termoplasti, zamrežene umetne smole, kavčuk, kožni in kostni klej, vodno steklo, cement.

I. Fizikalna lepila

a) Topilna lepila:

- Kontaktna, npr. kavčuk: obe polovici namažemo, osušimo in stisnemo.
- Samolepilna: PIB, polivinileter, poliakrilester, kavčuk. Dajejo trajno lepljivost, slab oprijem.
- Fugirna lepila: PC – naknadno kloriran PVC, THF (tetrahidrofuransko) lepilo za akrilno steklo.
- Disperzijska lepila so termoplasti ali kavčuk, dispergirani v vodi. Za lepljenje poroznih materialov, ki odvajajo vodo, med seboj ali na druge materiale – lepenko, papir, filc, tekstil, usnje, les. Suha so vodoodporna, vlažne lahko speremo z vodo. Najbolj znano je PVAC lepilo za les.
- Plastisol lepila – PVC paste z aktivnimi vezivnimi dodatki. Pri želiranju zapolnijo fuge, npr. v avtomobilski industriji.
- Vročepечатna lepila se nanesejo na folije in aktivirajo pri segrevanju. So iz SB, EVA, PA, poliamidoamina.
- Talilna lepila se staljena nanašajo v fuge za takojšnje lepljenje.
- Vodna lepila (limi) so vodne raztopine naravnih in umetnih polimerov, za hladno in vroče lepljenje. Sem spadajo fenolna, resorcinska, melaminska in sečninska lepila, ki delujejo kemično.
- Premazna lepila, penaste goste vodne raztopine celuloznih etrov, PVA, PV, pirolidona; npr za pleskarje.

b) Reakcijska lepila

Vsebujejo reakcijske smole, ki zamrežijo v lepilnem sloju. Pogosto je potrebno uporabiti vmesni sloj – primer, ali površino najedkati.

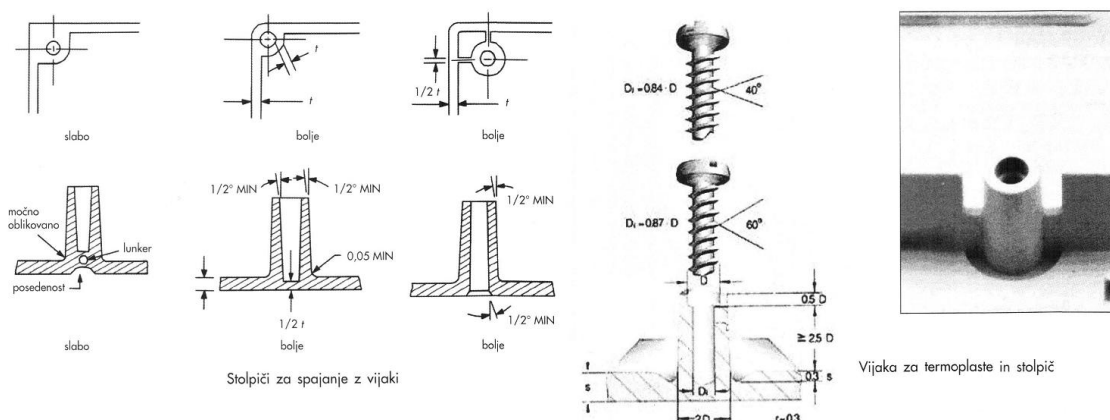
- Enokomponentna:
 - cianakrilati, ki se z zračno vlago utrdijo v 3–25 sekundah, dokončno pa polimerizirajo v nekaj urah. Zaradi visoke cene se serijsko uporabljajo v elektroindustriji, gumarski industriji in pri izdelavi igrač.
 - Z vlago hladno delujejo tudi silikonska lepila in izocianatna lepila.
 - Dimetilakrilat deluje anaerobno – brez prisotnosti zraka s stiskom površin.
 - Vroča enokomponentna lepila so melaminske smole, PF s kavčukom ter EP smole v obliki prahu, palic in folij.
- Dvokomponentna na bazi MMA, UP, EP, izocianata, z ali brez topil. Zahtevajo le pritisk za kontakt. Lepijo hitro, z visokimi trdnostmi in skoraj za vse materiale. V gradbeništvu nadomeščajo cement pri gradnji mostov in drugih zahtevnih gradnjah. Duroplaste lepimo s smolami iste sestave, laminate PF tudi s sečninskimi smolami.
- Papirna veziva in tekstilne apreture so lepilom slične snovi za izboljšanje vodoodpornosti. Uporabljamo sečninske, melaminske, etilenimne smole za papirno maso ali termoplastične raztopine ali disperzije za apreture ter karbamidne premaze za povečanje trdnosti tekstila.

5) Dodatna obdelava

I. Spajanje z vijaki

Z vijaki, zakovicami in zaskočnimi spoji lahko spajamo brez kovin. Vijake izdelujemo iz PA in POM, pri zatezno občutljivih masah pa vijačimo z nasprotno matico ali okroglimi navoji. Pogosti so tudi kovinski vložki.

Kovičimo z Al ali medeninastimi zakovicami, pa tudi s plastičnimi čepi z UZ.



Slika 53: Zahteve vijačenja umetnih mas

Vir: Kuzman, 2010, 455

II. Mehanska obdelava

Možna je skoraj enaka obdelava, kot pri kovinah, lahko na enakih strojih in z enakimi orodji. Penaste materiale lahko režemo tudi s segreto žico, akrilno steklo pa lahko tudi lomimo na zarezi. Termoplaste lahko režemo tudi na CO₂ laserju, kompozite pa z vodnimi rezalci pri 2500–4500 bar.

Odrezovanje je možno tudi na strojih za obdelavo lesa, z manjšim podajanjem in izbiro manjšega rezalnega kota rezila, s čimer preprečimo pokanje mase. Potrebno je tudi hlajenje z zračnim tokom, pri duroplastih pa tekočinsko.

III. Površinska obdelava

Možno je *poliranje* – pri izdelkih s sledovi dolivka ali obdelanih z odvzemanjem, *lakiranje* – zlasti penastih ali kompozitnih izdelkih, *tiskanje in dekoracija* termoplastov ter *metaliziranje* z naparevanjem v visokem vakuumu. Premaz antistatika prepreči privlačenje prahu, s silikonskim oljem pa dosežemo površinski sijaj in boljšo odpornost na rezanje. Možni so tudi fungicidni premazi za preprečevanje razvoja plesni.

2.3.1 Napake pri oblikovanju umetnih mas

Napake na izdelkih ali v tehnoloških procesih se lahko pojavijo zaradi napak pri pripravi materiala, napak na orodju, značilnosti materiala, izbire neustreznih parametrov tehnološkega postopka in drugih vplivnih dejavnikov. Nemogoče je vse zajeti v omejenem obsegu.

Napake zaradi značilnosti materiala

Najznačilnejše je krčenje, ki je posledica stisljivosti in toplotne razteznosti materiala. Dobimo obliko in mere, ki se razlikujejo od oblike in mer orodja. Podatke o skrčkah za posamezen material dobimo pri proizvajalcih materialov. Dokončne oblike in mere lahko ugotovimo po zaključku vseh procesov v materialu, običajno po 16. urah od oblikovanja. Posledica različnih skrčkov v smeri tečenja in prečno na to smer pa je tudi zvijanje. Poleg tega zvijanje povzročajo zaostale napetosti zaradi neustreznega režima brizganja, neustreznega režima hlajenja, različne debeline in asimetričnosti izdelka ter različne molekulske orientiranosti in

različne usmerjenosti vlaken. Iz opisanega sledi, da je popolno predvidevanje obnašanja izdelka po brizganju praktično nemogoče.

Nekateri izdelki iz higroskopičnih materialov (PA) spremenijo obliko že med uporabo. Navzemanje vlage je odvisno od relativne vlage v zraku. Pri 50 % relativni vlažnosti lahko pride do spremembe dimenzije velikosti 0,75 %. V vodi pri 20 °C je za isto vrsto PA značilen okrog 3 x večji delež absorpcije vlage kot na zraku pri 23 °C.

Tolerančne skupine za posamezen plastičen material lahko pogledate v priročniku Plastik – orodjar, Navodnik, 1998, na straneh 450–452.

Poiščite značilne napake pri pripravi materialain pri orodju, njihove vzroke in preprečevanje nastanka le-teh v priročniku Moderno proizvodno inženirstvo, Kuzman, 2010, 469–475.

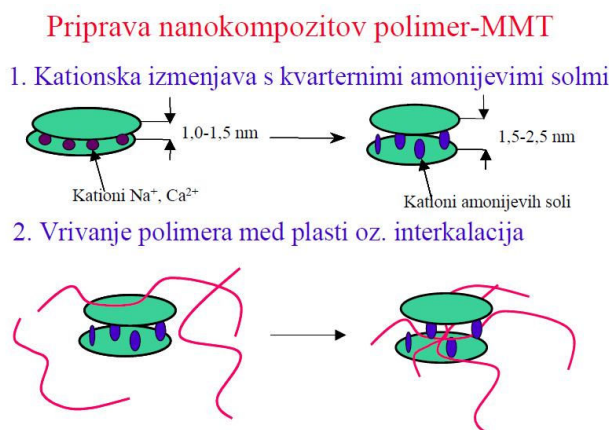


2.4 OBLIKOVANJE IZ IONOV

Slovar slovenskega knjižnega jezika (2002, 310) navaja, da je ion »atom, atomska skupina, molekula, ki je pridobila ali izgubila elektron(e)«.

2.4.1 Ioni in nanotehnologija

Oblikovanje iz ionov je lahko razumljeno na več načinov. Govorimo lahko o nanotehnologiji, kjer med plasti osnove vgrajujemo ione (katione), s čimer bistveno spreminjamo lastnosti.



Slika 54: Priprava nanokompozitov

Vir: <http://www.namat.si/dmdocuments/huskic.pdf> (19. 1. 2011)

Prikazani postopek omogoča, da pri samo 5 % naravnega glinenega materiala montmorilonita (MMT), katerega modificiramo s kationi amonijevih soli in ga vmešamo v strukturo polimera PA6, dosežemo kar 40 % višjo natezno trdnost, 68 % višji modul elastičnosti, 60 % višjo upogibno trdnost, 126 % višji upogibni modul in za 90 °C povišano temperaturno deformacije.

Razlike so osupljive.


Posledice razvoja nanotehnologije že čutimo v vsakodnevnem življenju. Kar nekaj področij je takih, kjer je možna uporaba nanokompozitov:

- Embalaža: prozorna, z zmanjšano prepustnostjo kisika, lažje recikliranje, daljša življenjska doba živil.
- Gume: zmanjšanje segrevanja gum, izločanje halogeniranega butilnega kavčuka, lažje recikliranje.
- Šport: tenis žogice (uradna žogica Davisovega pokala).

- Zaščita: tanjše zaščitne obleke in rokavice z izboljšano kemijsko zaščito in manjšo gorljivostjo za civilno in vojaško rabo.
- Drugo: posoda, kjer se zahtevajo določene lastnosti, ki jih lahko zagotovimo z MMT ob majhni masi izdelka.

Pri tem se pojavlja vprašanje, kako bodo nanodelci, ki so velikostnega razreda molekule DNK, vplivali na zdravje ljudi in na celoten ekosistem.



Poiščite informacije o raziskavah novih materialov in potrebnih tehnologijah na področju nanotehnologije .

2.4.2 Ioni in površinske prevleke

S postopki, s katerimi na površino podlage nanašamo ione in s tem običajno le izboljšamo lastnosti osnovnega materiala, oblikovanje v smislu vidne oblikovne ali merske spremembe po tem principu ni običajno. Ko govorimo o postopkih, kjer operiramo z ioni, običajno govorimo o površinskih prevlekah in o področju, ki ga bolje poznamo pod pojmom **galvanska tehnika**. Nemški standard to področje uvršča med oblikovanje (oblikovanje ionskih plasti).

O pomenu korozije in protikorozijske zaščite je veliko napisanega, klasični postopki so dokaj znani in široko uporabljeni, v zadnjem času pa se razvijajo postopki, s katerimi natančno določimo obseg in kakovost zaščite s pomočjo curkov delcev ali žarkov.

Področje nanašanja prevlek lahko glede na način nastanka razdelimo v štiri glavne skupine:

- **prevleke iz atomov ali ionov**,
- prevleke iz kapljic kovine ali drobnih delcev,
- prevleke iz barv, oplastitve s potapljanjem v talino in navarjanjem,
- kemijsko modificiranje površine, fizikalno in mehansko spreminjanje površine ter obstreljevanje z delci ali žarki (**ionska implantacija**, obdelava z laserjem).


Zaščitne prevleke na osnovi barv, lakov, raztaljene kovine in s postopki metalizacije so dokaj znane, podrobneje pa jih bomo opisali v enem izmed naslednjih poglavij.

V nadaljevanju so opisane še nekatere druge novejšje metode, kjer uporabljamo ione za zaščito površine.

Atome ali ione na površino nanesemo z **elektrogalvanskim postopkom**. Površino izdelka iz kovine (lahko pa tudi iz nekovine) prekrijemo s kovino. Največ se uporablja cinkanje, kromiranje, bakrenje, kositrenje in nikljanje. Elektrogalvanizacija je postopek, pri katerem nanesemo kovinsko plast ene kovine na predmet iz druge kovine s pomočjo elektrolize. Predmet, ki prevaja električni tok, priključimo v elektrolizni celici kot negativno elektrodo – katodo. Na katodo potujejo po raztopini kationi kovine, ki jo želimo nanesti na površino izdelka (na katodo), na njej oddajo elektrone in se izločijo v obliki tanke kovinske plasti.

Katione kovine dodajamo v galvansko kad kot topne soli, ali pa je lahko iz ustrezne kovine anoda, ki se pri elektrolizi raztaplja in sprošča v raztopino katione anodne kovine (kationi: pozitivno nabiti delci, ki potujejo na negativno elektrodo; naš izdelek). V kopeli morajo biti tudi razni dodatki, ki omogočajo enakomerno prevleko in lep sijaj prevleke.

Tehnologija je dokaj enostavna, vendar zelo obremenjujoča za delavce in okolje, saj se uporabljajo zelo agresivne snovi – predvsem za pripravo izdelkov.

Na spletu poiščite predstavitev elektrogalvanskega postopka izdelave površinskih plasti 



V literaturi zasledimo postopek **ionske implantacije** – vgrajevanja ionov oziroma atomov primesi v podlago z obstreljevanjem podlage z visokoenergijskimi ioni (50–100 keV). Z elastičnimi in neelastičnimi trki le-ti prenesejo svojo kinetično energijo na veliko število atomov podlage, sami pa se na določeni globini (npr. 0,4 μm) zaustavijo.

Ionska implantacija se uporablja v mikroelektroniki za oblikovanje polprevodniških struktur. Proces je dolgotrajen (več ur), v razvoju pa so naprave, s katerimi bi pri višjih vrednostih tokov (5 mA) proces skrajšali.

Pri obstreljevanju je možen učinek izbijanja atomov iz površine in celo ravnotežno stanje, ko enako število atomov vgradimo in izbijemo. Za doseganje boljših učinkov postopka lahko površino predhodno prevlečemo s tanko plastjo materiala, ki ga želimo vgraditi. Ta material nato obstreljujemo z ioni žlahtnih plinov (Ar, Kr, Xe).

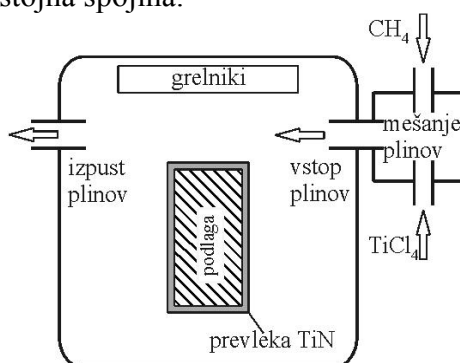
Pri **plazemski ionski implantaciji** namesto ozkega toka ionov uporabimo tok visokoenergijskih ionov, ki na obdelovanec prihaja iz vseh smeri. V ta namen obdelovanec priklopimo na negativni pol visoke napetosti (nekaj kV do 100 kV) v obliki pulzov, ki trajajo le od nekaj do 150 μs . Ioni se iz plazme, ki obdaja obdelovanec, pospešijo do energije, ki ustreza priključni napetosti, in se vgradijo v podlago. Temperatura pri plazemski ionski implantaciji je bistveno nižja od tiste pri difuzijskih procesih. Na površino orodnega jekla lahko implantiramo krom z namenom, da izboljšamo njegovo korozijsko odpornost. Ta način zaščite pred korozijo se uporablja za zaščito orodij za oblikovanje plastike oziroma umetnih mas.

Načeloma je možno uporabiti vse elemente periodnega sistema. Postopek učinkuje na področje v vidnem polju naprave. Dosežena koncentracija je 10^{17} do 10^{19} vgrajenih ionov/ cm^2 , globina pa je do 100 (celo 200) nm oziroma od 300 do 500 atomskih razdalj. Večjo globino dosežemo pri uporabi lahkih ionov in večjo pri kristaliziranih snoveh kot v amorfni.

Izven dosega implantacije so snovne lastnosti podlage nespremenjene (ohranjena je trdota po toplotni obdelavi); zaradi delovne temperature, ki je manjša od 150 $^{\circ}\text{C}$, lahko torej obdelujemo tudi kaljena jekla. Z vgraditvijo ionov in povzročeni prazninami v materialu se poveča prostornina osnovnega materiala, kar povzroči v površinski plasti tlačne napetosti. Izboljša se odpornost proti utrujanju, obrabi in koroziji.

Značilni izdelki, ki jih obdelamo z ionsko implantacijo v strojništvu, so polži in ekstruzijske matrice v industriji polimerov.

Pri kemijskem napanjanju (**CVD - Chemical vapor deposition**) nastane s kemijsko reakcijo med paro in nosilnim plinom na segreti podlagi (ali tik ob njej) prevleka, ki je lahko čista kovina, zlitina ali v ognju obstojna spojina.




Slika 55: Chemical vapor deposition

Vir: <http://fs-server.uni->

mb.si/si/inst/itm/lm/GRADIVA_UC/Tehnologija_gradiv/fizikalno_napanjanje_pvd.html/
(20. 1. 2011)

Prevleka ne nastane le v delujočem («vidnem») polju vira, temveč enakomerno tudi po celotni površini delov, ki imajo komplicirano obliko. V značilni reakciji za nanos prevleke iz borovega nitrida in titanovega karbida poleg ciljne spojine nastane še klorovodikova kislina, s katero je potrebno zelo previdno ravnati.



Več o tej kislini poiščite na spletu .

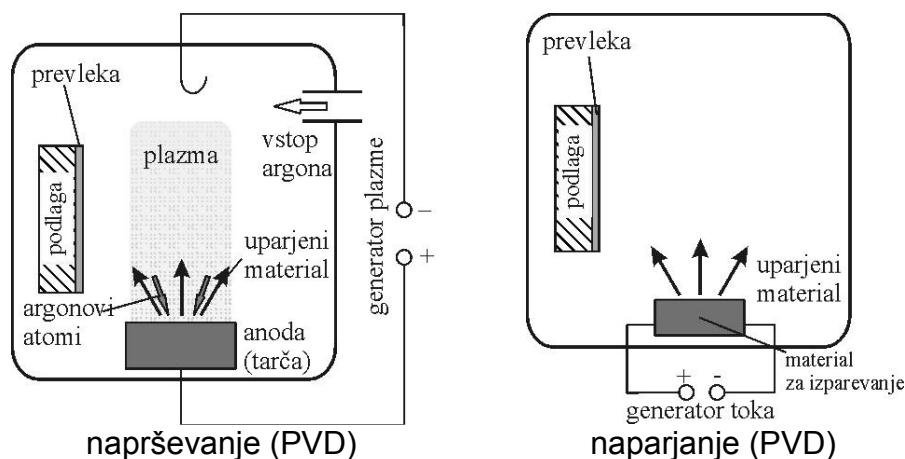
Opozoriti je potrebno, da je temperatura podlage, ki močno vpliva na proces nanašanja prevlek, relativno visoka. Čeprav lahko s kemijskim napanjanjem prevlečemo materiale z v ognju obstojnimi spojinami (npr. karbidne trdine s TiC, TiN, Al₂O₃), se kaljeno jeklo zmehta in ga je potrebno ponovno toplotno obdelati.

Pri variantni metodi kemijskega napanjanja (PACVD – Plasma Assisted CVD – plazemsko kemično napanjanje) je nad podlago plošča, ki jo napajamo z napetostjo, ki ima radijsko frekvenco. Nastalo področje plazme vpliva na zgradbo prevleke. To metodo uporabljamo za napanjanje keramičnih prevlek (npr. SiC in Si₃N₄), toda temperatura osnove, ki je vsaj 650 °C, je še vedno previsoka za toplotno obdelavo legiranih jekel. Največja debelina prevleke, ki jo lahko ekonomično izdelamo s postopkoma CVD in PACVD, je okoli 100 μm, čeprav so debeline v večini primerov manjše od 10 μm.

Posebna izvedba PACVD je tudi plazemska polimerizacija, pri kateri se v plazmi del ogljikovodikov (acetilena, etilena, stirena ali benzena) ob navzočnosti kisika, dušika ali silicija izloči na površini podlage in oblikuje polimerno plast. Ta je zelo zamrežena in neprepustna za pline in tekočine, netopna ter temperaturno stabilna.



Na spletu poiščite tudi druge modifikacije postopkov CVD in PVD .



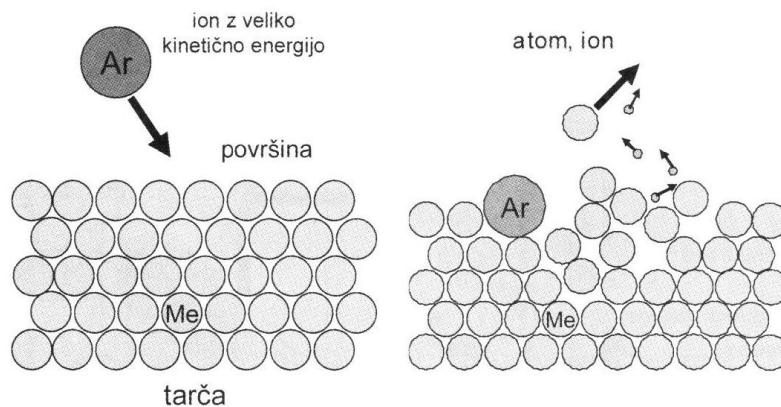
Slika 56: Postopki PVD

Vir: <http://fs-server.uni->mb.si/si/inst/itm/lm/GRADIVA_UC/Tehnologija_gradiv/fizikalno_naparjanje_pvd.html/

(20. 1. 2011)

Obstaja veliko verzij postopkov fizikalnega napanjanja (PVD – Physical Vapor Deposition), prevladujeta pa postopka izparevanja in naprševanja. Pri prvem postopku se material vira segreje v vakuumski komori z visokoenergijskim curkom (elektroni, ioni, laserski žarki) zaradi električne upornosti ali induktivnosti vira. Uparjeni atomi direktno potujejo proti podlagi, zato površine v senci ne moremo oplastiti.

Če pri postopku PVD uporabljamo naprševanje, je katodni vir priključen na enosmerno napetost ali na izmenično napetost z radijsko frekvenco, ki doseže do 5 kV v atmosferi inertnega plina (npr. Ar). Vakuum je lahko nekoliko manjši kot pri napanjanju. Ko pozitivni ioni argona trčijo v tarčo, izbijajo atome, ki potujejo do podlage in na njej tvorijo prevleko.



Slika 57: Zahteve vijačenja umetnih mas

Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 908

Enakomernost prevleke je bistveno večja kot pri uporabi izparevanja. Prednost postopka je tudi v tem, da je število atomov, ki jih izbije ion, skoraj enako za vse kovine. Ravno nasprotno je pri izparevanju, kjer so razlike v hitrosti izparevanja pri isti temperaturi različne za več redov velikosti.

Tako kot pri kemijskem je tudi pri fizikalnem napanjanju temperatura podlage zelo pomembna. Pri fizikalnem je ta le 200–400 °C, zato lahko napanjamo tudi rezalna in preoblikovalna orodja iz kaljenega jekla. Prevleka iz titanovega nitrída – TiN, ki je debela manj kot 5 μm, lahko bistveno podaljša dobo trajanja orodja. TiN je zelo trd (2400 HV), ima zelo majhen koeficient trenja in lahko nastane zelo gladka površina. Z njim lahko prevlečemo tudi neželezne kovine ter karbidne trdine. Izkušnje z jekli, ki so prevlečena s TiN, so pokazala, da moramo vedno obravnavati prevleko in podlago kot celoto. Dobro prekritje

žilavega materiala s prevleko, ki je odporna proti obrabi, lahko hitro odpove, če delovne napetosti povzročijo plastično deformacijo podlage. Zato se priporoča, da se pred fizikalnim napanjanjem TiN površino utrdi z nitridiranjem.

Dve pomembni modifikaciji postopka fizikalnega napanjanja sta: plazemsko fizikalno napanjanje – PAPVD in magnetronsko napanjevanje. Postopek PAPVD je znan tudi kot **ionsko platenje** – ion plating, pri katerem napanjanje pospešujemo z bombardiranjem podlage s pozitivnimi ioni.

Pri magnetronskem napanjevanju ustvarimo z magnetnim poljem v bližini tarče (vira) gosto plazmo. Magnetron, ki je sestavljen iz več magnetov ali elektromagnetov, pritrđimo na zadnjo stran vodno hlajene tarče. Njegovi severni in južni poli so razporejeni tako, da je magnetno polje pravokotno na električno polje med tarčo in podlago. Magnetno polje povzroči, da so elektroni zelo blizu površine tarče, tako da se stopnja ionizacije poveča, plazma pa je zelo gosta.

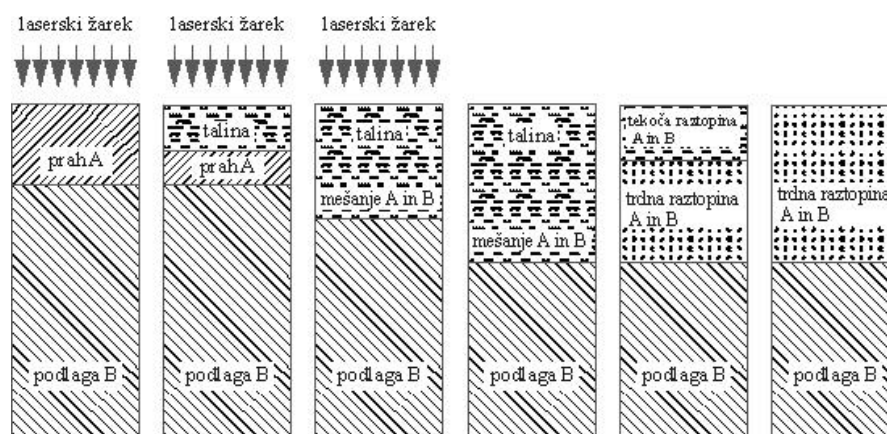
Zaradi večje ionizacijske učinkovitosti je lahko tlak v komori manjši in manjša je verjetnost, da bi izbite atome na poti od tarče do podlage preusmerile plinske molekule. Najpomembnejši učinek je ta, da se hitrost debelitve prevleke poveča. Navadno se področje goste plazme razteza le okoli 6 cm od površine tarče. Pri novejših napravah lahko napanjamo večje kose, pri tem nastane trdna povezava med podlago in prevleko, plazma pa sega tudi do 20 cm od vira.

Enako kot ionska implantacija se tudi **obdelava z laserjem** hitro razvija. Laserski žarki krajevno segrejejo površino materiala na zelo visoko temperaturo, učinkujejo pa do globine 10–100 μm . Odvisno od energije laserski žarki segrevajo, talijo ali uparjajo snov oziroma ustvarjajo plazmo. Trajanje energijskega impulza je lahko 1 ns ali manj. Med spremenjeno površino in podlago je navadno epitaksija – popolno skladanje. Ohlajanje je lahko dovolj hitro, da se tvori steklasta faza.

Površino pripravimo tako, da jo najprej prevlečemo z ustrezno kovino, zlitino ali prahom. Prevleko segrejejo z laserskimi žarki, da se skupaj s podlago stali in tvori homogeno talino. Na ta način lahko, naprimer, izdelamo enakomerno plast avstenita na podlagi iz feritnega jekla.

Za uveljavljene tehnike, kot so rezanje, vrtanje in varjenje, je vnos energije 10^4 MW/m^2 (1 MW/cm^2), impulzi pa trajajo tudi do 1 ms.

Po drugi strani pa potrebujemo za utrjevanje kovin s proizvajanjem udarnih valov vnos energije do 10^6 MW/m^2 (100 MW/cm^2) v času samo 1 ns. Višja koncentracija energije in kratki impulzi omogočajo hitro ohlajanje ter nastanek metastabilnih faz.



Slika 58: Utrjevanje površine z laserskim legiranjem

Vir: <http://fs-server.uni->

mb.si/si/inst/itm/lm/GRADIVA_UC/Tehnologija_gradiv/fizikalno_napanjanje_pvd.html/

(20. 1. 2011)

2.5 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE



1. *Razložite vlogo modela (forme, kalupa, matrice in/ali livne votline) v postopkih oblikovanja. Kako vpliva model na kvaliteto izdelka v posameznem postopku oblikovanja?*
2. *Ali obstaja podobnost oblikovanja iz prahov in iz umetnih mas? Kateri postopek je enoten?*
3. *Za katere izdelke bi svetovali izdelavo iz prahov in katero podvrsto konkretno? Opišite na primeru izdelka iz avtomobila (medicine, gradbenih elementov, obdelave in orodij, ...).*
4. *Razmislite o vlogi armature v izdelkih iz kompozitov. V katerih postopkih je vključena vgradnja armatur?*
5. *Katere vplivne okoliščine so pomembne pri določanju velikosti in korekcije oblike izdelka iz umetne mase, npr. iz trdnih polimerov?*
6. *Katera značilna posledica vgrajevanja ionov v površinsko plast je drugačna od postopkov z lokalnim nataljevanjem ali oplaščanjem?*
7. *Za orodje za preoblikovanje pločevine, ki smo ga toplotno obdelali, bi želeli zagotoviti povečano obrabno obstojnost. Kateri postopek utrditve bi priporočali? Utemeljite.*

3 POSTOPKI LOČEVANJA

3.1 UVOD

Odrezavanje je postopek, s katerim osnovni material – surovec z odstranitvijo nepotrebne materiala spremenimo v uporaben izdelek. To je postopek, s katerim dosegamo ozke tolerance za določene mere izdelka in dobro kakovost površine izdelka.

Poznamo več različnih postopkov odrezavanja. Na izbiro postopka, po katerem bomo obdelovali izdelek, vplivata predvsem geometrijska oblika in material obdelovanca. Pogosto lahko isti izdelek izdelamo na različne načine; v tem primeru je potrebno upoštevati predvsem ekonomičnost obdelave in tehnološko opremljenost podjetja. Vsekakor je potrebno pri velikih serijah narediti podrobnejšo analizo in se pri tem opirati predvsem na lastne izkušnje.

Tabela 6: Pregled postopkov odrezavanja

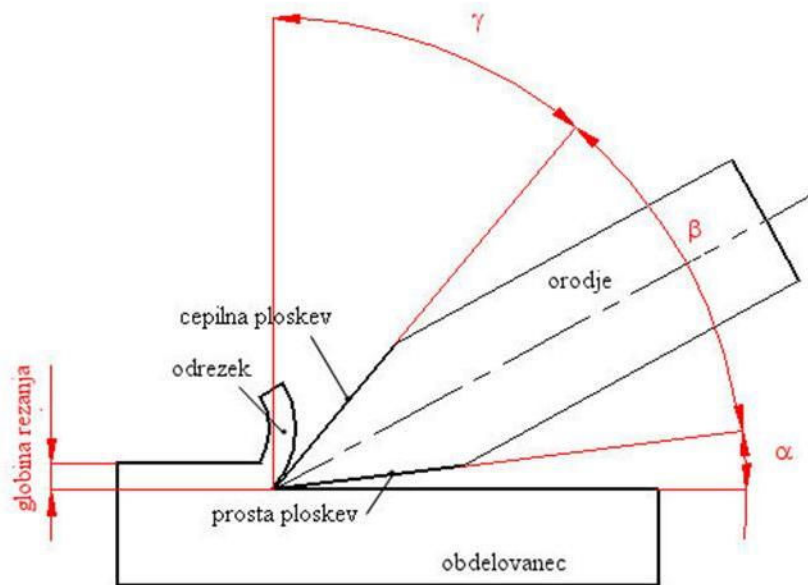
Postopki obdelave z orodjem v obliki klina			
Orodje z določeno geometrijsko obliko	Orodje z enim rezilom	Delo brez prekinitiv	Struženje, strganje
		Delo s prekinitvami	Skobljanje
	Orodje z več rezili	Delo neprekinjeno – konstanten prerez odrezkov	Vrtanje, grezenje, povrtavanje, luščenje
		Delo s prekinitvami – prerez odrezka spremenljiv	Piljenje, frezanje, žaganje, posnemanje
Orodje z nedoločeno geometrijsko obliko	Trdno orodje	S točkovno omejeno plastifikacijo odrezka	Brušenje
	Nevezano orodje	Brez plastifikacije odrezka	Honanje, superfiniš, poliranje
		Rezalna zrnca vodena	Lepanje, ultrazvočna obdelava, poliranje
		Rezalna zrnca nevodena	Peskanje, lepanje s peščenim curkom, obdelava v bobnih

Vir: Prirejeno po: Muren, 1995, 154

Kadar se na osnovi podatkov, ki jih imamo na voljo, ne moremo odločiti med dvema postopkoma, se lahko opremo na naslednje zakonitosti (Muren, 1995, 157):

- Postopek s krožnim gibanjem je bolj ekonomičen kot postopek s premočrtnim gibanjem.
- Prednost ima postopek, ki omogoča večjo natančnost ali boljšo kakovost površine, saj z njim lažje dosežemo zahtevane lastnosti obdelovanca.
- Prednost ima hitrejša obdelava, s katero porabimo manj delovnega časa.

Eno prvih orodij za odrezavanje je bil klin, za katerega je že bila značilna osnovna geometrija rezalnih orodij:



Slika 59: Ploskve in koti na orodju v obliki klina
Vir: Prirejeno po: Muren, 1995, 4

- prosti kot (α)
- kot klina (β)
- cepilni kot (γ)

Dopolnite naslednjo tabelo z dosegljivo natančnostjo obdelave in kakovostjo površine pri odrezovanju.



Postopek	Način obdelave	Natančnost v IT po ISA	Hrapavost R_{max} (μm)
struženje	grobo		
	fino		
valjasto rezkanje	grobo		
	fino		
čelno rezkanje	grobo		
	fino		
vrtanje	navadno		
grezenje			
povrtavanje			
brušenje			
honanje			
lepanje			

3.2 TVORBA ODREZKA PRI ODREZAVANJU

Z opazovanjem orodja pri odrezavanju lahko spoznamo naslednje:

- 1) Pri odrezavanju lesa se les pred orodjem cepi; pri kovini tega ni, saj je debelina odrezka večja od debeline odstranjene plasti.
- 2) Pri odrezavanju prihaja do sproščanja toplote, kar povzroči segrevanje orodja, odrezka in obdelovanca.
- 3) Odrezki so različnih oblik in dolžin (dolgi, kratki, ...).
- 4) Odrezavanje kovin vključuje mehanizem striženja.
- 5) Deformirani in nedeformirani del materiala loči t.i. strižna ravnina – odrezek nastane z drsenjem tankih lamel v smeri strižne ravnine.
- 6) Pri odrezavanju prihaja do velikih trenj, ki jih skušamo zmanjšati na različne načine.
- 7) Delovna karakteristika rezalnega orodja se imenuje obdelovalnost.
- 8) Ko se orodje premakne v smeri rezanja, zajame karto – lamelo in jo naloži na sosednjo karto.



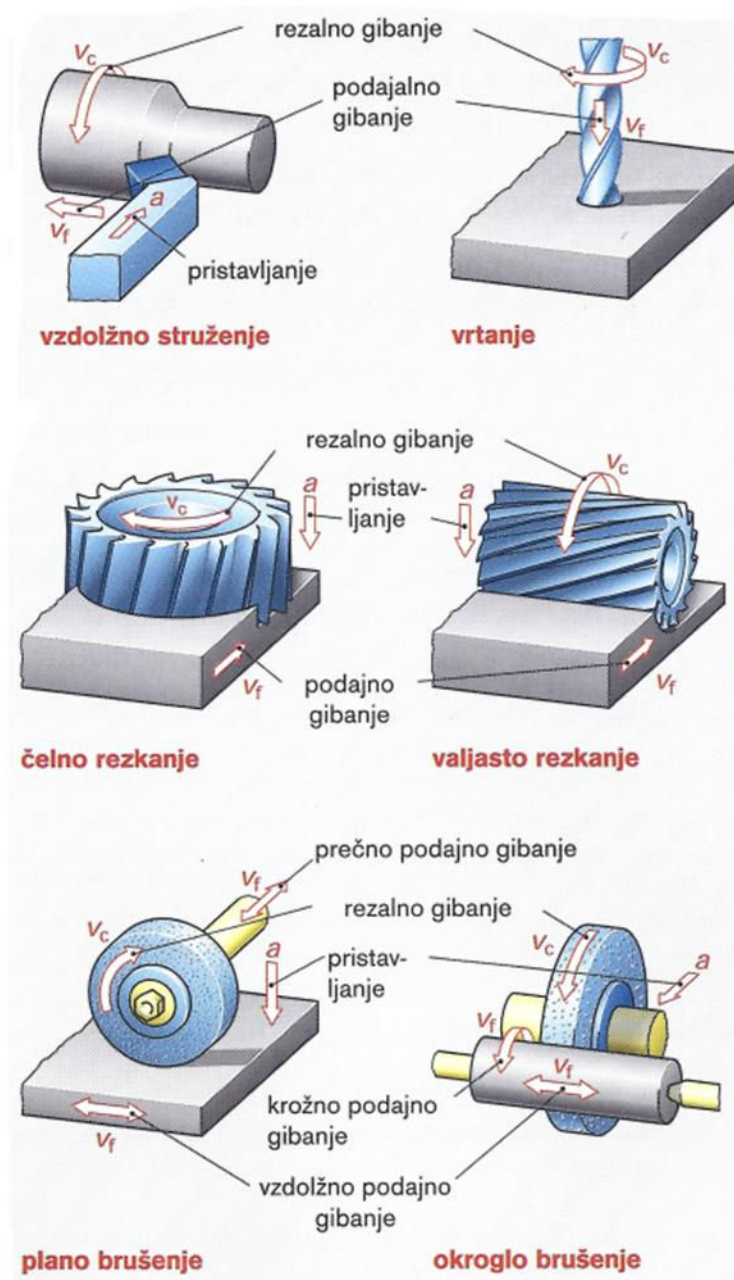
Slika 60: Odrezek

3.3 GIBANJA PRI ODREZAVANJU

Glavno gibanje omogoča nastanek odrezka. Opravlja ga lahko orodje ali obdelovanec in je lahko krožno ali premočrtno. Hitrost glavnega gibanja označujemo kot glavno hitrost rezanja (v_c). Rezalna hitrost je odvisna od materiala, ki ga obdelujemo, obdelovalnega postopka, prereza odrezka, hitrosti podajanja in želene površine (grobe ali fine). Vrednosti rezalne hitrosti najdemo v tabelah, ki so bile narejene na podlagi preizkušanja.


Hitrost pomika v_f (mm/min) je gibanje ali pomik orodja (obdelovanca) v rez in je lahko prečno ali vzdolžno. Za grobo površino je to gibanje večje, za fino površino je manjše.

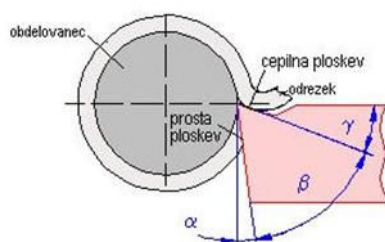
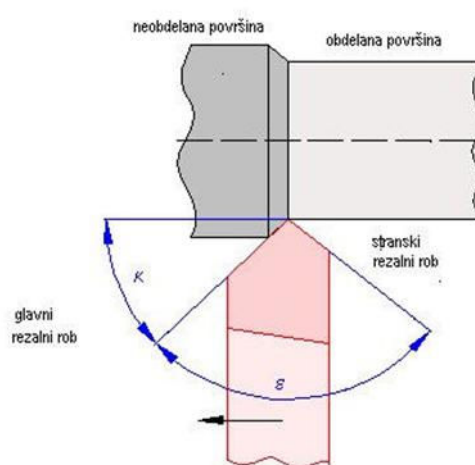
Globina rezanja a (mm) je premaknitev orodja v obdelovanec, ali obratno.



Slika 61: Postopki odrezovanja
Vir: Prirejeno po: Bartenschlage, 2009, 169

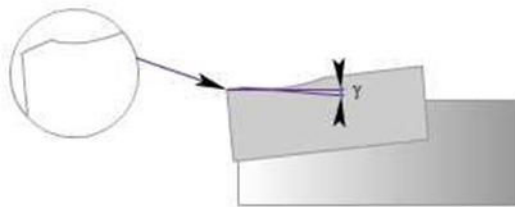
3.4 GEOMETRIJSKE RAZMERE PRI ORODJIH ZA ODREZAVANJE

Rezilo sestavlja prosta in cepilna ploskev. Glavni rezalni rob je presečišče proste in cepilne ploskve. 

Slika 62: Osnovni koti α , β in γ na nožuSlika 63: Osnovna kota ϵ in κ na nožu

Najvažnejši koti so:

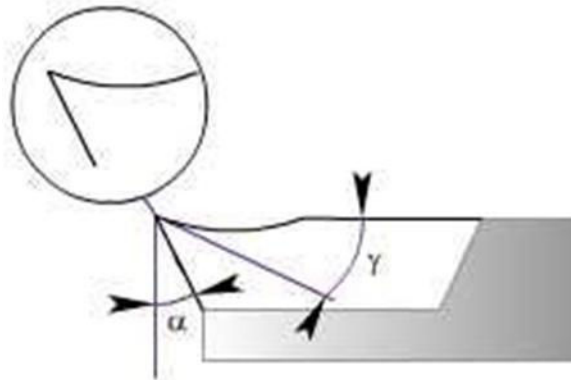
- Prosti kot α (6^0-12^0) mora biti vedno večji od nič, da je rezanje sploh mogoče. Prevelik prosti kot nasprotno zmanjšuje mehansko trdnost orodja. Na splošno velja, da prosti kot α na postopek odrezavanja nima velikega vpliva.
- Kot klina β naj bi bil iz trdnostnih razlogov čimvečji; tudi odvajanje toplote je pri večjem kotu β boljše, vendar prevelik kot β povečuje rezalne sile.
- Nastavni kot κ (0^0-100^0): največkrat jemljemo kot 45^0-60^0 ; majhen nastavni kot povečuje obstojnost in manjšo obrabo orodja, povečuje pa nevarnost vibracij.
- Kot pri vrhu ϵ je največkrat 90^0 , bolj koničast nož se lahko močneje segreva.
- Cepilni kot γ (od -10^0 do $+20^0$); čim mehkejši je material, večji cepilni kot je potreben. Pri večjem cepilnem kotu je boljše nastajanje odrezka, manjša sila rezanja, manjša obraba in s tem boljša površina. Pri majhnem oziroma negativnem cepilnem kotu pa je povečana stabilnost orodja.



Slika 64: Negativen cepilni kot

Vir:

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=128&pageid=2144416329/>
(11. 12. 2010)



Slika 65: Pozitiven cepilni kot

Vir:

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=128&pageid=2144416329/>
(11. 12. 2010)

Na spletu poiščete pravilno geometrijo orodja za obdelavo aluminija, nelegiranega konstrukcijskega jekla in sive litine. Zakaj se geometrija razlikuje?



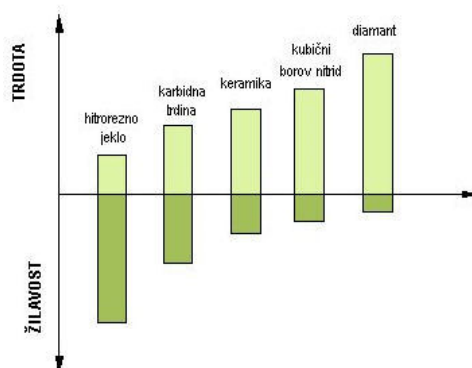
3.5 REZALNA ORODJA

Material, iz katerega je narejeno orodje, mora imeti čim večjo trdoto in žilavost, saj pri povišanih temperaturah ne sme izgubiti svojih lastnosti. Orodja za visokohitrostno obdelavo dosegajo večje rezalne hitrosti kot orodja klasičnega frezanja. Z visokohitrostno obdelavo lahko obdelujemo tudi termično obdelana jekla, tudi do 60 Hrc in več. Pri taki obdelavi so rezalna orodja izpostavljena visokim temperaturam, zato moramo imeti primerna orodja, ki nam omogočajo obdelavo brez prehitre obrabe ali celo loma orodja.

Izbira pravilnega materiala za orodje se kaže v večji konkurenčnosti, to je v večji produktivnosti, boljši kvaliteti in manjših stroških. Zahteve do orodij so raznolike, vsak orodni material ima svoje zakonitosti, ki ga postavljajo v ospredje za določeno uporabo. Na izbiro pravilnega materiala pa vplivajo naslednje zahteve:

- trdota orodja mora biti večja od trdote obdelovanca,
- čim večja temperaturna trdota,
- čim manjša nagnjenost k obrabi,
- čim večja žilavost,
- čim manjše trenje med orodjem in obdelovancem,
- čim nižja cena.

Idealnega orodnega materiala, ki bi ustrežal zgoraj navedenim zahtevam, ni, ker so si nekatere zahteve preprosto nasprotujoče. Povečanje ene od lastnosti pomeni večinoma padec drugih lastnosti npr. zahtevi po veliki trdoti in veliki žilavosti ter po nizki ceni si nasprotujeta in ju pri enem rezalnem materialu ne moremo uresničiti.



Slika 66: Trdota in žilavost različnih materialov
Vir: Prirejeno po: Kopač, 1993, 1–5

Orodna jekla zdržijo do 250 °C, pri višjih temperaturah pa se zelo hitro zmanjšuje trdota. Zato niso primerna za velike hitrosti in se danes pri odrezovanju komaj še uporabljajo. Predvsem so primerna za ročna orodja (pile, sekače, žagine liste, ...) ter za nože za rezanje tobaka, papirja.

Hitroreзна jekla so močno legirana jekla, ki imajo bistveno boljše lastnosti kot orodna jekla. Prednost pred orodnimi jekli je v tem, da imajo večjo trdoto pri povišani temperaturi. Njihova najboljša lastnost je visoka žilavost in nizka cena. Uporabljajo se izključno še pri vrtnanju ter pri frezanju in struženju, kjer jih počasi že izpodrivajo karbidne trdine. Uporabljamo hitroreзна jekla z različnimi trdimi prevlekami za boljšo odpornost proti obrabi. Prevleke so ponavadi iz: TiN, TiC, CrN, TiAlN, Al₂O₃.



Slika 67: Orodja iz HSS

Vir: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/hss-milling-cutter-370581.jpg/
(6. 6. 2010)

Poznamo standardna hitroreзна jekla in hitroreзна jekla iz prahu – sintrana.



Na spletu poiščite proizvajalce HSS jekel in opišite poglobljene razlike.

Karbidne trdine so sintran material, ki so ga iznašli leta 1923 v tovarni Krupp (v Nemčiji), kot odgovor na zahteve po materialu za matrice, ki bi imel zadostno obstojnost proti obrabi

pri vlečenju volframovih žarilnih nitk in bi lahko zamenjal drage diamantne matrice. V svetu so poznane kot WIDIA (trgovsko ime; izhaja iz WIE DIAMANT – trdo kot diamant). Karbidne trdine so sestavljene iz drobnih zmletih zrn, med sabo povezanih z vezivom. Po končani obdelavi imajo zelo homogeno strukturo in imajo dober kompromis med trdoto in žilavostjo. Imajo veliko odpornost proti abraziji in zdržijo visoke temperature. Zaradi teh lastnosti nudijo zelo širok spekter uporabe. Največ se jih uporablja kot rezalni material v obliki ploščic. Ko se ploščica izrabi, jo preprosto obrnemo, če je to mogoče, drugače pa jo zamenjamo z novo.



Slika 68: Rezalne ploščice iz karbidne trdine

Vir: http://www.skrawanie.com/images/widia11-5IR6.0TR_VSX.jpg/ (6. 6. 2010)

Prvotna sestava KT:

- trdi delci volframovega karbida – WC (90 %),
- vezivo iz kobalta – Co (10 %),
- titanov karbid – TiC (trdi delci),
- kobalt – Co (vezivo).

Naloga karbidov je doseči čim večjo trdoto pri povišani temperaturi in odpornost proti obrabi, naloga veziva pa je povezava krhkih karbidov v trdno telo.

V teku let so spreminjali osnovne WC-Co trdine. Nastale so številne trdine, ki vsebujejo WC, TiC in Co (WC-TiC-Co), ter kompleksne zlitine WC-Co, ki imajo še TiC, TaC in NbC (WC-TiC-(Ta,Nb) C-Co) idr.

Karbidne trdine izdelujemo po postopkih metalurgije prahov.

Spreminjanje vrste karbida in deleža veziva vplivata na lastnosti ter s tem na primernost uporabe.



Lastnosti:

- enakomerna homogena struktura zaradi prahaste metalurgije,
- brez večjih problemov zdržijo visoke temperature, imajo največjo tlačno trdnost in se dejansko približujejo idealnemu orodnemu materialu,
- imajo veliko odpornost proti abrazijski obrabi.

Po standardu **DIN 4990** so karbidne trdine razdeljene v tri glavne skupine:

- **skupina P:** uporaba za železne materiale, ki dajo dolge odrezke,
- **skupina M:** za obdelavo nerjavnih jekel,
- **skupina K:** za obdelavo materialov, ki dajo kratek odrezek – sive litine, kamna.




Cermeti: Beseda cermet je ameriškega izvora in je sestavljena iz dveh besed: ceramic in metal. Že iz besed je mogoče razbrati, da gre za material, ki vsebuje keramične kot tudi kovinske sestavne delce. Cermeti so imeli v začetku razvoja veliko odpornost proti obrabi in zelo majhno žilavost, tako da se v obdelovalni tehniki niso mogli uveljaviti. Z dodajanjem

različnih dodatkov so dobili zadostno žilavost, da se uveljavljajo kot rezalni material. Če primerjamo trdoto in žilavost, padejo cermeti nekje med karbidno trdino in rezalno keramiko.



Slika 69: Rezalne ploščice iz cermeta

Vir: http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/cermet-schneidplatte-36218.jpg/
(6. 6. 2010)

 **Rezalna keramika** je naravno trd rezalni material na osnovi čistega aluminijevega oksida (Al_2O_3), cirkonijskega oksida (ZrO_2) in silicijevega nitrída (Si_3N_4). Mešane karbidne trdine imajo poleg aluminijevega oksida še druge trde dodatke, kot so boridi, silicidi, nitridi, ... Vse karbidne trdine so izjemno trde, njihova slabost pa je, da nimajo dobre upogibne trdnosti in žilavosti. Pri rezanju s keramiko je izredno pomembno, da imamo na voljo ustrezen obdelovalni stroj, ki mora imeti dovolj moči, hitrosti in togosti. Rezalno keramiko so v preteklosti v glavnem uporabljali za obdelavo sive litine, z novimi vrstami keramike pa se je področje uporabe razširilo tudi na področje struženja litin, jekel za cementiranje in kaljenih jekel.



Slika 70: Keramične rezalne ploščice

Vir: <http://www.sgac-turnov.cz/media/210.jpg/> (6. 6. 2010)

Kubično kristaliziran borov nitrid – CBN

Tudi za borov nitrid velja, da lahko obstaja v različnih kristalnih rešetkah. Tako ga poznamo kot prah, poznan pod imenom beli grafit, ali kot drugi najtrši material – CBN.

Izdelava ploščic iz CBN materiala poteka v 4 fazah:



1. Sintranje pri 50.000 barih z osnovnim CBN zrnom manjšim od $1\mu\text{m}$ in vezivom, ki je posebna vrsta keramike. Tako dobimo rondelo.
2. Rondelo z žično erozijo razrežemo na ploščice.
3. Lotanje ploščic na držalo noža.
4. Brušenje rezilnih robov.

Uporaba:

- za kaljena jekla trdote 58 HR_C do 63 HR_C, kjer je bilo brušenje do zdaj edina možna obdelava,
- za ostro prekinjen ali polni rez,
- z ali brez hlajenja.



Slika 71: Ploščice iz CBN

Vir: <http://www.mitsubishicarbide.com/> (20. 9. 2009)

Na spletu poiščite metal cutting technical guide enhances machining process. V dokumentu poiščite podatke o rezalnih in podajalnih hitrostih za različne materiale. Kakšna je razlika v hitrostih za ploščice, ki imajo oznako P, M ali K.



3.6 POSTOPKI ROČNE OBDELAVE

Sem spadajo postopki čiščenj, piljenja, kosmačenja, ščetkanja in strganja. Kljub dejstvu, da imamo danes računalniško vodeno tehnologijo, se tem postopkom ne moremo izogniti. Pomembni so predvsem v posamični obrtni proizvodnji, kjer je pomembno ročno delo.

Na spletu poiščite podatke o teh postopkih in razpravljajte o njihovi uporabi v vsakdanjem življenju. Iz katerega materiala so narejene kvalitetne pile? Kako je narejena pila? Katere vrste pil poznamo? V kakšnem primeru uprabljamo kosmačenje, ščetkanje in strganje? Opišite praktične primere.



3.7 STRUŽENJE

Struženje je najbolj razširjen postopek odrezavanja za obdelavo obdelovancev valjastih oblik, možno pa je stružiti tudi ravne ploskve in celo nekatere neokrogle oblike, če orodje med delom niha. Rotacijsko površino obdelujemo tako, da se obdelovanec vrti, orodje pa se giblje vzporedno ali pravokotno glede na obdelovanec in iz njega odrezuje odvečen material. Pri struženju poljubne oblike, lahko orodje sledi neki krivulji.

Za struženje velja, da je to enorezilen postopek odrezovanja, kar pomeni, da je orodje sestavljeno samo iz enega rezila (pri rezkanju je orodje sestavljeno iz več rezil).

Struženje zavzema približno 40 % celotne obdelave z odrezavanjem, zato je verjetno najnatančnejše raziskan postopek.



Slika 72: Vzdolžno struženje

Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 284



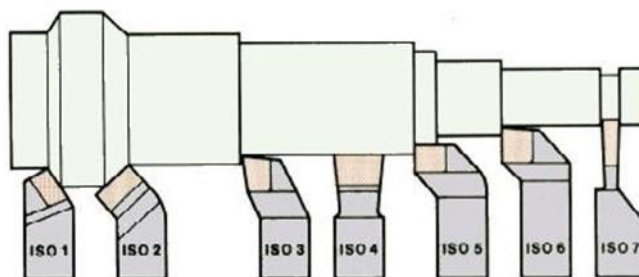
Narišite vse vrste struženj, ki jih poznate.

3.7.1 Vrste orodij za struženje

Za struženje je v uporabi zelo veliko orodij. Največkrat jih ločimo na zunanje in notranje. Vsi stružni noži, razen profilnih, so standardizirani po standardu DIN 4982 (karbidne trdine) in po standardu DIN 4983 (izmenljive ploščice).

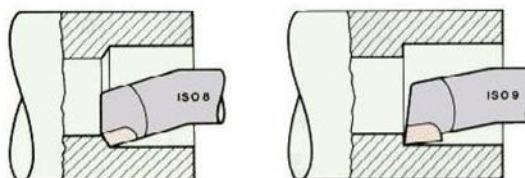
Največ orodij za struženje predstavljajo specialna držala, ki z različnimi vpenjalnimi sistemi omogočajo vpenjanje rezalnih ploščic.

Še vedno srečujemo tudi posebne stružne nože, ki jih izdelujemo za točno določen namen. To so v glavnem profilni noži za delo na avtomatih.



Slika 73: Standardni noži za zunanje struženje

Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 287



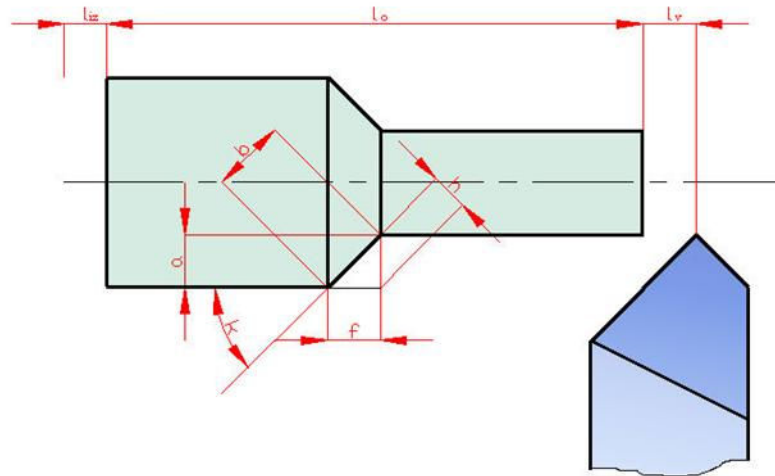
Slika 74: Standardni noži za notranje struženje

Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 287



Poznamo različne proizvajalce orodij za struženje. Na spletu poiščite različne proizvajalce orodij in opišite sisteme za pritrjevanje rezalnih ploščic na držalo orodja.

Poiščite razlike med levim in desnim stružnim nožem.



Slika 76: Globina rezanja in debelina odrezka

Glavna rezalna sila: $F_c = h^{1-c} \times k_{c1 \times 1} \times b$ (N)

Koeficient glavne sile: $k_{c1 \times 1}$ (N/mm²)

Eksponent Kienzlejeve enačbe: c

Moč motorja: $P_B = \frac{F_c \times v_c}{6000 \times \eta}$ (W)

F_c (N)

v_c (m/min)

Izkoristek: η (%)

Obdelovalni čas: $t = \frac{L \times i}{f \times n}$ (min)

Število prehodov: i

Dolžina obdelave: $L = l_v + l_o + l_{iz}$ (mm)

Dolžina vteka: l_v

Dolžina obdelovanca: l_o

Dolžina izteka: l_{iz}



- 1) Na katere vrtljaje bi nastavili vrtenje glavnega vretena na stružnici, če je predpisana rezalna hitrost 140 m/min, premer surovca pa 200 mm.

Stružnica ima na razpolago naslednje vrtljaje:

100 min^{-1}
 200 min^{-1}
 300 min^{-1}
 400 min^{-1}
 500 min^{-1}
 600 min^{-1}
 700 min^{-1}
 800 min^{-1}

- 2) Izračunajte tehnološki čas struženja.

Material surovca je Ck45, dimenzije $182 \times \Phi 62$, izdelek je $181 \times \Phi 61$.
(Vir: Muren, 1995, 235)

$$k_{c \text{ lxl}} = 2180 \text{ N/mm}^2$$

$$c = 0,14$$

Parametri obdelave:

$$v_c = 140 \text{ m/min}$$

$$f = 0,4 \text{ mm}$$

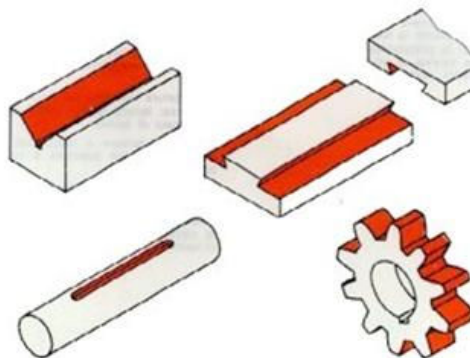
$$\kappa = 45^\circ$$

Izračunajte še silo in moč odrezovanja.

3.8 REZKANJE

Rezanje je postopek odrezavanja, pri katerem opravlja orodje – rezkalo rotacijsko glavno gibanje, podajalna gibanja pa so lahko premočrtna ali rotacijska. Ponavadi opravlja podajalna gibanja obdelovanec. Pri večini obdelovalnih postopkov (struženju, vrtanju, ...) je smer podajanja pravokotna na smer rezanja. Pri rezkanju pa se – če zasledujemo posamezen zob rezkala – lega smeri rezanja proti podajalni smeri neprestano spreminja.

Rezanje najpogosteje uporabljamo za obdelavo ravnih površin. S posebnimi oblikami rezkal lahko obdelujemo tudi ukrivljene površine; s kopirnim rezkanjem lahko oblikujemo poljubno oblikovane površine, če pa uporabljamo profilna rezkala, dobimo tudi v prerezu oblikovane površine.



Slika 77: Obdelovanci

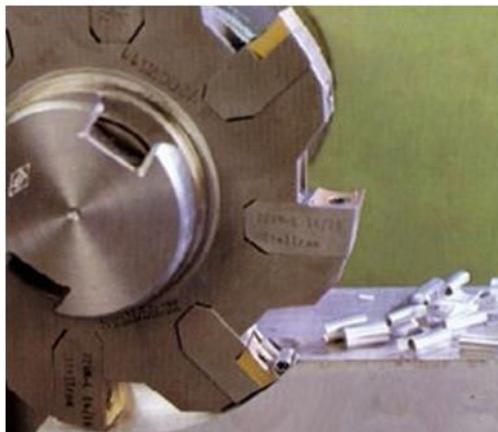
Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 348

3.9 VRSTE REZKANJ

Glede na to, kako se orodje dotika obdelovanca, ločimo:



Valjasto rezkanje je rezkanje z zobmi na obodu – rezkalo se obdelovanca dotika s svojim obodom. Prerez odrezka se med delom spreminja, zato obremenitev rezkala ni enakomerna.

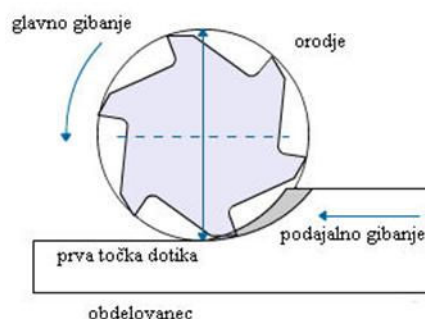


Slika 78: Valjasto rezkanje

Vir: <http://www.iscar.com/> (5. 6. 2003)

Glede na podajanje razlikujemo: rezkanje v nasprotni smeri podajanja – protismerno rezkanje in rezkanje v smeri podajanja – istosmerno rezkanje.

Pri protismernem rezkanju zob rezkala odreže odrezek na obdelovancu od vrednosti nič do največje vrednosti tik preden neha rezati.



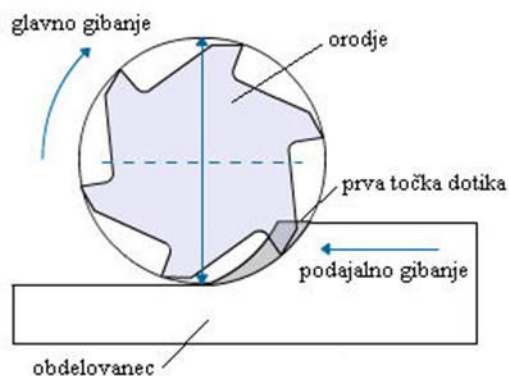
Slika 79: Protismerno valjasto rezkanje

Vir:

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=126&pageid=2144416191/>
(10.8.2010)

Ker rezalni rob ni vedno idealno oster, rezilo nikoli ne začne rezati od vrednosti nič, temveč na začetku nekaj časa drsi po že obdelani ploskvi, nato pa naenkrat zareže v relativno precejšno globino. Zaradi tega dobimo neenakomerno površino.

Pri istosmernem rezkanju odreže zob rezkala odrezek od predvidene debeline, zato začne rezkalo rezati takoj brez odrivanja.



Slika 80: Istosmerno valjasto rezkanje

Vir:

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=126&pageid=2144416191/>
(10.8.2010)

Površina obdelovanca je pri tem načinu rezkanja kvalitetnejša. Ker je odrezek vedno tanjši in je na koncu izteka rezkanja njegova debelina nič, se tudi sile rezkanja zmanjšujejo, zato so manjše vibracije, orodja pa so obstojnejša.

Kljub temu, da dobimo pri protismernem rezkanju nekoliko slabšo površino, je le-to v praksi bolj uveljavljeno. Pri istosmernem rezkanju deluje namreč podajalna sila v isti smeri kakor podajalno gibanje in ga zato lahko dodatno pospeši v obliki sunka. Posledica je vedno lom orodja ali obdelovanca. Istosmerno rezkanje zato zahteva posebno konstruirane rezkalne stroje (predvsem za ozobja), saj na navadnih strojih istosmerno rezkanje ni možno.

Zaradi spremenljive debeline odrezka prihaja pri valjastem rezkanju do vsiljenih nihanj, zato morajo biti stroji čimbolj togi, da dobimo čimboljšo površino obdelovanca.

Čelno rezkanje je rezkanje z zobmi na čelu – rezkalo se obdelovanca dotika s svojim čelom. Odrezek ima enakomeren prerez.



Slika 81: Čelno rezkanje

Vir: <http://www.iscar.com> (5. 6. 2003)

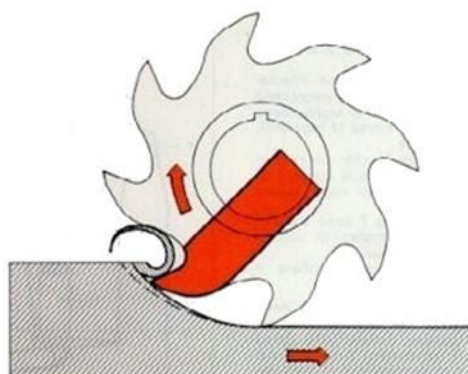
Orodje ali obdelovanec se lahko pomika vzdolž obdelovane površine ali pravokotno nanjo.

V primerjavi z valjastim rezkanjem je pri čelnem rezkanju debelina odrezka ves čas enaka, zato so tudi obremenitve enakomernejše. Uporabljamo ga za obdelavo večjih ravnih površin, pri katerih zahtevamo kar dobro površino.

Pri čelnem rezkanju je možno tudi simetrično in nesimetrično rezkanje. V praksi je primernejše čelno rezkanje z manjšo nesimetričnostjo osi rezkala, tako da je delo protismerno.

3.9.1 Orodja za rezkanje

Rezkala so orodja z glavnim rotacijskim gibanjem, ki delajo vedno z večjim številom rezil, ki pa večji del poti ne režejo in se zato lahko ohlajajo. Rezila so podobna stružnim nožem.



Slika 82: Rezo pri valjastem rezkanju

Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 348

Termično so manj obremenjena kot stružni noži, zato so pa mnogo bolj obremenjena z mehničnimi udarci. Z rezkali obdelujemo v glavnem ravne ploskve, s posebno oblikovanimi rezkali lahko obdelujemo tudi utore in ukrivljene površine. Rezkala lahko režejo čelno, po obodu ali kombinirano.

Na spletu poiščite vrste orodij za rezkanje.

Pri čelno valjastih rezkalih so rezalni robovi oblikovani na čelu in obodu, z njimi navadno režemo odprte ravne ploskve.

3.10 PARAMETRI OBDELAVE

Glavna hitrost rezkanja: $v_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000}$ (m/min)

Premer rezkala: d (mm)

Vrtljaji glavnega vretena: (min^{-1})

Vrtilna hitrost: n (min^{-1})

Podajalna hitrost: $v_f = f \times n$ (mm/min)

Podajanje na vrtljaj frezala: $f = f_z \times z$ (mm)

Podajanje na zob frezala: f_z (mm)

Število zob rezkala: z

Srednja glavna sila: $F_{c,sr} = \frac{a \times b \times f \times k_{c,sr}}{\pi \times d}$ (N)

Globina rezkanja: a (mm)

Delovna širina rezkanja: b (mm)

Srednja specifična rezalna sila: $k_{c, sr} = k_{c1x1} \times h_{sr}^{-c}$ (N/mm²)

Koeficient glavne sile: k_{c1x1} (N/mm²)

Srednja debelina odrezka: h_{sr} (mm)

EkspONENT: c

Moč motorja: $P_B = \frac{F_{c, sr} \times v_c}{6000 \times \eta}$ (W)

Obdelovalni čas: $t = \frac{L \times i}{f \times n}$ (min)

Število prehodov: i

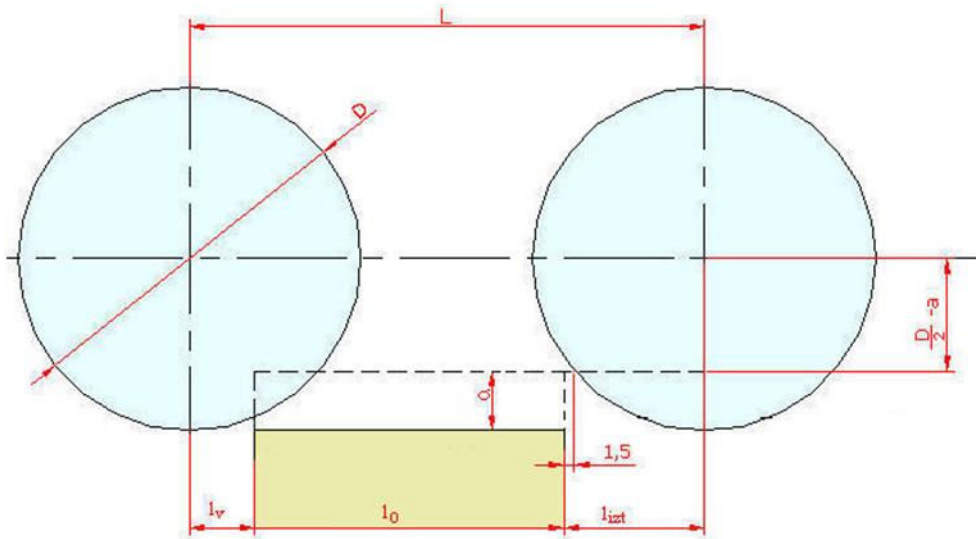
Dolžina obdelave: $L = l_v + l_o + l_{iz}$ (mm)

Dolžina vteka: l_v

Dolžina obdelovanca: l_o

Valjasto rezkanje

$$L = l + 3 + 2 \times \sqrt{D \times a - a^2}$$



Slika 83: Geometrija za določanje časa pri valjastem rezkanju

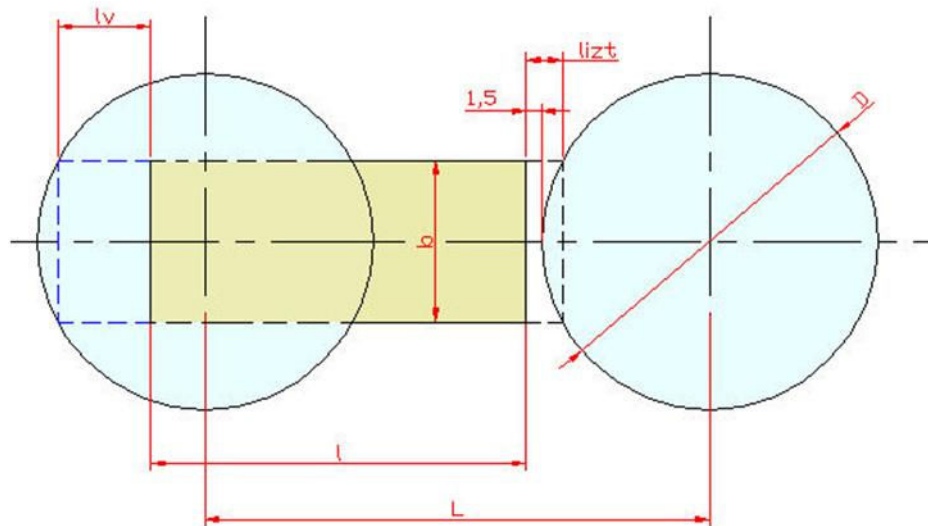
Vir : Prirejeno po: Gubenšek, 2004, 147

Čelno simetrično grobo rezkanje

$$L = l + 3 + \frac{1}{2} \times \sqrt{D^2 - b^2}$$

Čelno simetrično fino rezkanje

$$L = l + 3 + \sqrt{D^2 - b^2}$$



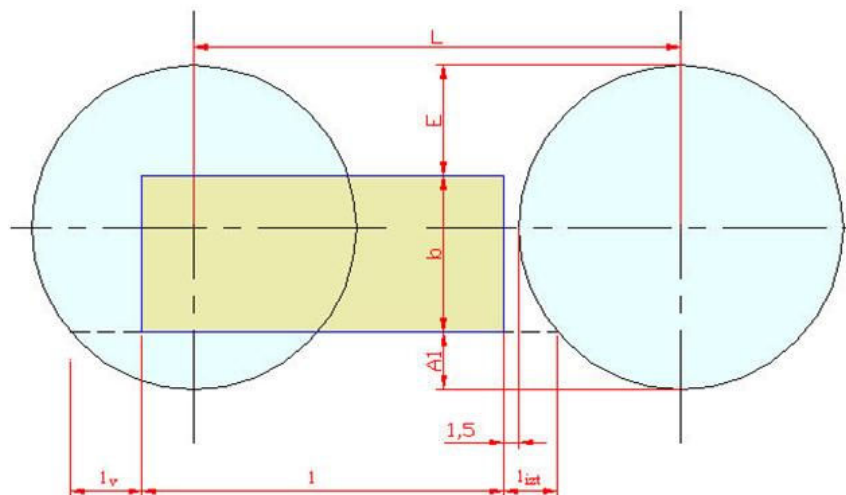
Slika 84: Geometrija za določanje časa pri čelnem simetričnem rezkanju
Vir : Prirejeno po: Gubenšek, 2004, 147

Čelno nesimetrično grobo rezkanje

$$L = l + 3 + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - b_1^2}$$

$$b_1 = \frac{D}{2} - A_1$$

$$L = l + 3 + D$$



Slika 85: Geometrija za določitev časa pri čelnem nesimetričnem rezkanju
Vir : Prirejeno po: Gubenšek, 2004, 147



Izračunajte podajalno hitrost v_f [mm/min], če je premer čelnega rezkala 30mm, število zob je 6. Število vrtljajev glavnega vretena smo nastavili na 2500 min^{-1} . Podajanje na zob frezala je 0,12 mm. Izračunajte tudi podajanje na vrtljaj frezala. Kaj bi se zgodilo, če bi v nastavitve stroja namesto podajanja na vrtljaj vpisali podajalno hitrost?

3.11 VRTANJE

Vrtanje je eden najstarejših načinov obdelave, ki je bil poznan že v prazgodovini. Danes delamo s popolnejšimi orodji.

Vrtanje je postopek, s katerim izdelamo izvrtino; vrtamo torej takrat, kadar je potrebno narediti luknjo v poln material. Orodja za vrtanje se imenujejo svedri. Običajno vrtamo na vrtalnih strojih, lahko pa vrtamo tudi na stružnicah, rezkalnih strojih ali na drugih specialnih strojih. Glavno gibanje, ki je rotacijsko, pri običajnem vrtanju skoraj vedno opravlja sveder (na stružnici obdelovanec).

$$\text{Glavna hitrost vrtanja: } v_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (m/min)}$$

Število vrtljajev: n (min⁻¹)

Podajalna hitrost: $v_f = f \times n$ (mm/min)

Podajanje na vrtljaj: f

Sveder opravlja tudi podajalno gibanje, tako da obdelovanec miruje.

Značilno za vrtanje je, da se prerez odrezka ne spreminja med enim vrtljajem – spremenimo ga lahko le tako, da spremenimo podajanje.

Vijačni sveder

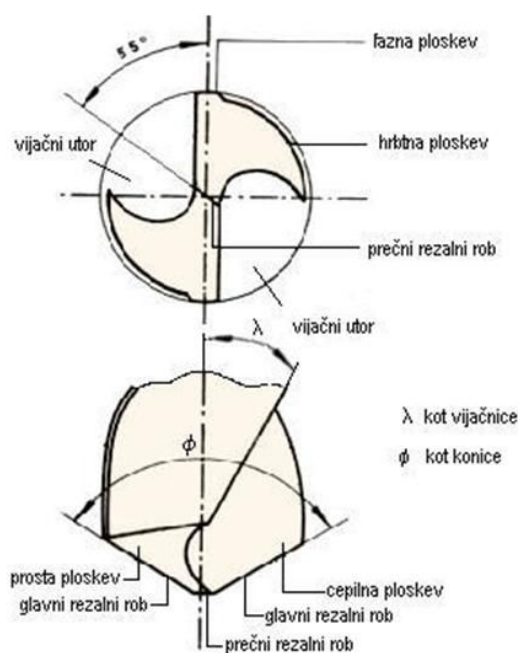
V glavnem poznamo dve izvedbi vijačnega svedra: za manjše premere z valjastim držajem in za večje premere s stožčastim držajem.



Slika 86: Vijačni sveder z valjastim držalom

Vir: www.guhring.com / (20. 5. 2005)

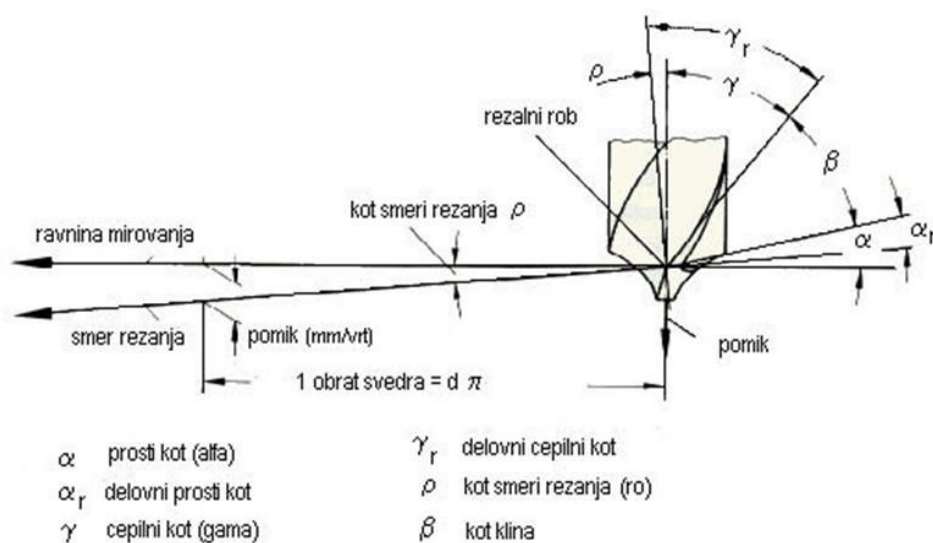
Vrh vijačnega svedra ima dve popolnoma enaki rezili. Iz slike so razvidni tudi posamezni nazivi in označbe posameznih delov vijačnega svedra.



Slika 87: Nazivi in označbe vijačnega svedra
Vir: Muren, 1995, 273

Vsekakor sta za vijačni sveder značilna dva vijačna utora za odvajanje odrezkov, ki data v prerezu z obema prostima ploskvama dva ravna glavna rezalna roba. Utora morata imeti takšno globino, da ostaja v sredini, zaradi trdnostnih razlogov, jedro. Proti držalu postajata utora zaradi večjega jedra vedno plitvejša. Vijačnici sta običajno zrezkani in zbrušeni. Kot vijačnice λ je odvisen od materiala, ki ga vrtamo. Od vrste materiala, ki ga vrtamo, je odvisen tudi kot konice svedra ϕ . Najprimernejši koti konice svedra so bili določeni le na podlagi izkušenj.

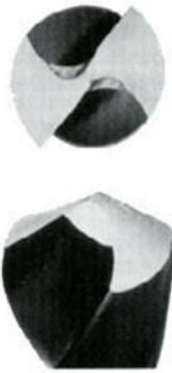
Na rezalnem robu se pojavijo podobni koti kot pri struženju. Te kote lahko opazujemo, ko sveder miruje. Pri vrтанju se koti rezanja spremenijo, zato govorimo o delovnih kotih α_r in γ_r .



Slika 88: Koti na svedru
Vir: www.guhring.com/ (20. 5. 2005)

Rezalni rob se pomika v luknjo po vijačnici, zato je smer rezanja nagnjena za kot ρ . Zaradi tega se prosti kot zmanjša, cepilni kot pa poveča. Kot ρ je odvisen od pomika svedra (s) – če je pomik večji, se poveča tudi kot ρ in obratno. Pomik ne sme biti prevelik, ker se prosti kot tako zmanjša, da velja $\alpha_r = 0$. Takrat prosta ploskev svedra drsa po že obdelani površini in orodje se lahko poškoduje ali celo zlomi.

Dva rezalna roba povezuje prečni rezalni rob, ki ga vidimo, če gledamo sveder s čela. Prečni rezalni rob leži pod kotom 55° . Izkušnje kažejo, da prečni rezalni rob material obdelovanca v glavnem le trga in odriva. Zato se na njem pojavljajo zelo velike sile. Rezalne pogoje pa lahko izboljšamo, če skrajšamo prečni rezalni rob z dodatnim brušenjem vijačnih utorov.



Slika 89: Brušenje rezalnih robov
Vir: www.guhring.com/ (20. 5. 2005)

Če primerjamo vijačni sveder s stružnim nožem, so pogoji pri vrtanju vsekakor težji kot pri struženju. Dva rezalna roba na svedru, vpliv prečnega rezalnega roba, kjer je hitrost praktično enaka nič, in odzemanje odrezkov po sili dajejo drugačno sliko kot pri struženju.

Obstaja še mnogo vrst svedrov. Za vrtanje v steklo, kamen, za globoko vrtanje. Poiščite različne tipe svedrov in opišite njihove značilnosti. Pri iskanju si pomagajte s spletom.



3.12 GREZENJE

Grezenje je širjenje že obstoječe izvrtine. Postopek je podoben vrtanju. Orodja za grezenje se imenujejo grezila (staro ime je razvrtalo). Grezilo vrta kvalitetnejšo luknjo od svedra ali pa pripravlja luknjo za povrtavanje. Ker grezilo ne reže v polno, je njegovo oblikovanje enostavnejše. Grezila imajo večje število žlebov, ki so navadno usmerjeni po vijačnici. Za manjše premere so grezila izdelana v enem kosu, za večje premere pa jih natikamo na trne. Robovi zob so na obodu brušeni po valju. Konica dosega največ 50 % premera in je navadno oblikovana v kotu 120° . Grezila izdelana v enem kosu imajo navadno tri žlebove, medtem ko imajo natakljiva grezila štiri ali več žlebov.

Za grobo grezenje oziroma za navadno širjenje že obstoječe izvrtine lahko uporabljamo največkrat navadni vijačni sveder, za fino grezenje pa uporabljamo grezila. Gibanja orodja in obdelovanca so ista kot pri vrtanju.



Slika 90: Vijačni sveder in vijačno grezilo

3.13 POVRTAVANJE

Povrtavanje je eden od načinov za fino obdelavo izvrtine. Orodja za povrtavanje so povrtala, ki imajo več rezil; šest ali tudi več. Po natančnosti oblike in kvaliteti površine povrtavanje že sega deloma v področje fine obdelave, saj dobimo gladko površino v mejah natančnosti fine obdelave IT6 ... IT11. Povrtavanje je uspešno samo takrat, ko je potrebno odstraniti le tanko plast materiala. Posebna oblika povrtavanja je vrezovanje oziroma oblikovanje navoja. Orodja za vrezovanje navoja se imenujejo navojni vrezniki.

Vsa gibanja pri povrtavanju in vrezovanju navojev so enaka kot pri struženju ali grezenju.

Vrste povrtal

Orodja za povrtavanje so povrtala.

Navadno ročno povrtalo

Uporabljamo ga za navadno ročno povrtavanje valjastih izvrtin. Ima valjasto telo s četverkotnikom na koncu valjastega držaja.

Obris rezalnega dela sestavljata stožčast prirez, kjer povrtalo reže, in vodilni del, z rezili za zglajevanje sten izvrtine ali pa samo za vodenje orodja. Če hočemo dobiti bolj gladke stene izvrtine, prehod med stožčastim in valjastim delom zaokrožimo.

Navadno strojno povrtalo

Strojna povrtala imajo valjast ali stožčast (Morse) držaj. S standardnim strojnim povrtalom oblikujemo le plašč gladke valjaste izvrtine.



Slika 91: Ročno in strojno povrtalo

Na spletni strani *domertools* poiščite osnovne podatke o navojnih vreznikih in oblikovalcih navojev. Kakšna je rezlika med omenjenima orodjema. Opišite tudi navodila za vrezovanje navojev. Zakaj je pri vrezovanju navojev pomembnejše mazanje in ne hlajenje.



3.14 POSNEMANJE

Posnemanje spada med postopke odrezavanja, ki ga lahko uspešno uporabimo namesto skobljanja, pehanja, rezkanja, finega struženja in povrtavanja. S posnemanjem lahko naredimo poljuben notranji ali zunanji profil na obdelovancu.

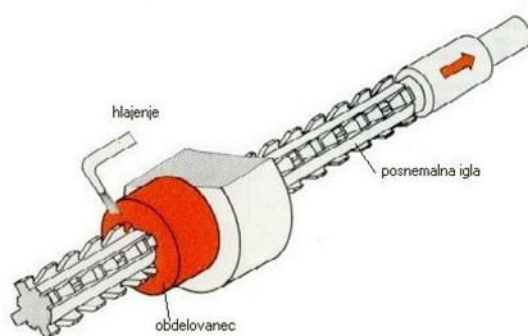


Slika 92: Izdelki narejeni s posnemanjem

Vir: *Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico*, 1989, 405

Pri notranjem posnemanju vlečemo posnemalno iglo skozi luknjo. Posnemalna igla ima veliko število rezalnih zob, katerih oblika se postopoma spreminja tako, da nastane profil. Tako je pri posnemanju glavno gibanje največkrat premočrtno, podajalnega gibanja ni, saj ga nadomešča spreminjanje višine, širine ali oblike zob.

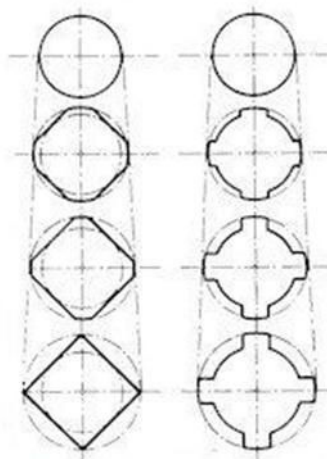
Pri notranjem posnemanju lahko obdelujemo luknje najrazličnejših oblik – od preproste okrogle, do kvadratne, šesterokotne, večutorne idr. Za notranje posnemanje uporabljamo posnemalne igle, ki so sestavljene iz stebra, vodila in rezalnega dela.



Slika 93: Posnemalna igla

Vir: *Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico*, 1989, 405

Pri posnemanju intenzivno hladimo in mažemo z rezalnim oljem.



Slika 94: Potek dela

Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 405

Posnemalno iglo skozi obdelovanec vedno vlečemo; pri tem postopoma nastaja iz luknje poljuben profil. Izdelava takšne igle je zelo draga in zamudna. Zaradi visoke cene orodij se izplača orodje nabaviti samo za dovolj veliko število obdelovancev. Značilnost posnemanja je velika natančnost obdelave, kljub temu da je to zelo hiter postopek.

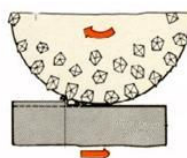


Posnemanje je relativno redka oblika tehnologije, ki ni prisotna v vsakem podjetju, kot sta struženje ali freziranje. Poiščite podjetje v Sloveniji, ki ima v svojem programu posnemanje. Skušajte ugotoviti, za katere izdelke uporabljajo posnemanje.

3.15 BRUŠENJE



Brušenje spada med postopke fine obdelave z odrezavanjem, pri katerih ima orodje – brus veliko število rezil – brusnih zrn, ki so nepravilne geometrijske oblike. Tako je lahko vsako abrazivno zrno drugače usmerjeno, zrna pa so povezana z vezivom. Zrna v brusu so neenakomerno porazdeljena in so v bistvu majhni cepilni klini, s katerimi odrezujemo kovino. Z brušenjem lahko dosežemo veliko natančnost in izredno kvaliteto obdelane površine.



Slika 95: Brušenje

Vir: Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico, 1989, 427

Brusimo takrat, ko hočemo imeti gladko površino. Sloj, ki ga odvezamemo z brušenjem, je zelo tanek, zato lahko dosežemo veliko natančnost. Z brušenjem lahko obdelujemo tudi zelo trde materiale, kar je zelo ugodno pri končni obdelavi kaljenih predmetov.

Glavno gibanje opravlja vedno brus, ki se vrti izredno hitro. Podajanje lahko opravlja orodje ali obdelovanec, kar je odvisno od izvedbe brusilnega stroja. Karakteristična za brušenje je

velika rezalna hitrost pri relativno majhnem podajanju, zato nastanejo na obdelovancu v tistih točkah, ki se jih dotikajo vrhovi brusnih zrn, velike temperature. Material obdelovanca se zato omehča in zrno ga lahko z lahkoto odrine.

Brusimo lahko vse tiste površine, ki smo jih prej naredili z znanimi postopki odrezavanja.

Brus je sestavljen iz velikega števila brusnih zrn, ki jih vezivo veže v brus. Brusni material je lahko nanesen tudi samo na trup v tankem sloju ali pa so na trupu pritrjeni brusni segmenti. Mešanico zrn in veziva stisnemo pod pritiskom od 75 do 250 barov v posebnih kalupih v obliko brusa, ki ga nato žgemo pri temperaturah, ki jih terjajo posamezna veziva.

Kvaliteta in uporabnost brusa je predvsem odvisna od materiala in velikosti brusnih zrn, vrste veziva, trdote in strukture brusa. Vsi naštetni elementi so standardizirani, vendar se standardi še vedno razlikujejo in ne uporabljajo enotno. Brusi različnega izvora se utegnejo tudi pri enakih označbah znatno razlikovati, zato je potrebno dobiti priporočila izdelovalca.

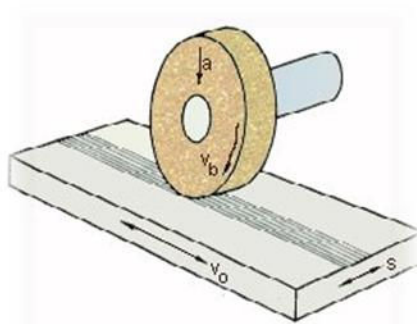
V podjetju, kjer ste na praksi, poiščite brus in si ogledjte njegovo oznako. Kakšne podatke dobite iz oznake?



3.16 VRSTE BRUŠENJA

3.16.1 Brušenje ravnih ploskev

Ravne površine lahko brusimo s čelnim ali z obodnim brušenjem.

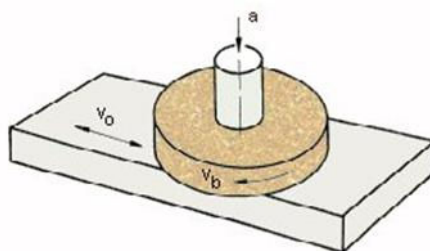


Slika 96: Obodno brušenje

Vir: Muren, 1995, 465

Pri obodnem brušenju ravnih površin opravlja glavno krožno gibanje (v_b) brus, vzdolžno gibanje (v_o) in prečno (s) pa obdelovanec.

Pri čelnem brušenju ravnih površin opravlja glavno krožno gibanje (v_b) brus, premočrtno podajalno gibanje (v_o) pa obdelovanec.

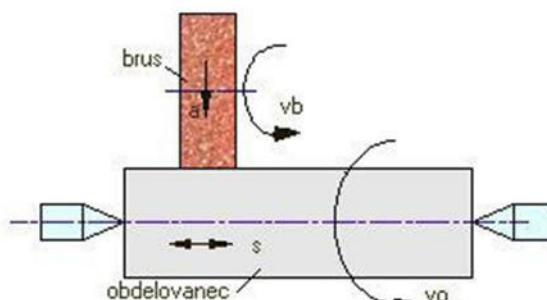


Slika 97: Čelno brušenje

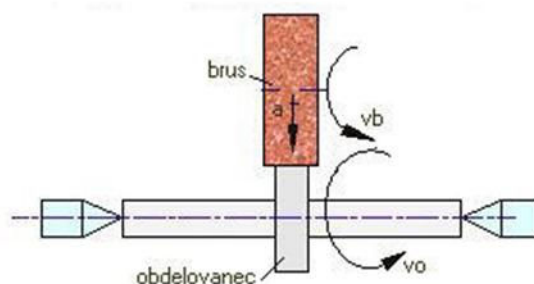
Vir: Muren, 1995, 465

3.16.2 Brušenje rotacijskih ploskev

Rotacijske ploskve je mogoče brusiti le z obodom brusa. Pri tem razlikujemo več postopkov. Poznamo zunanje in notranje brušenje rotacijskih ploskev. Pri daljših obdelovancih potrebujemo tudi vzdolžno podajanje, pri krajših pa ne. Če ni vzdolžnega podajanja, imenujemo tako brušenje tudi zarezno brušenje.



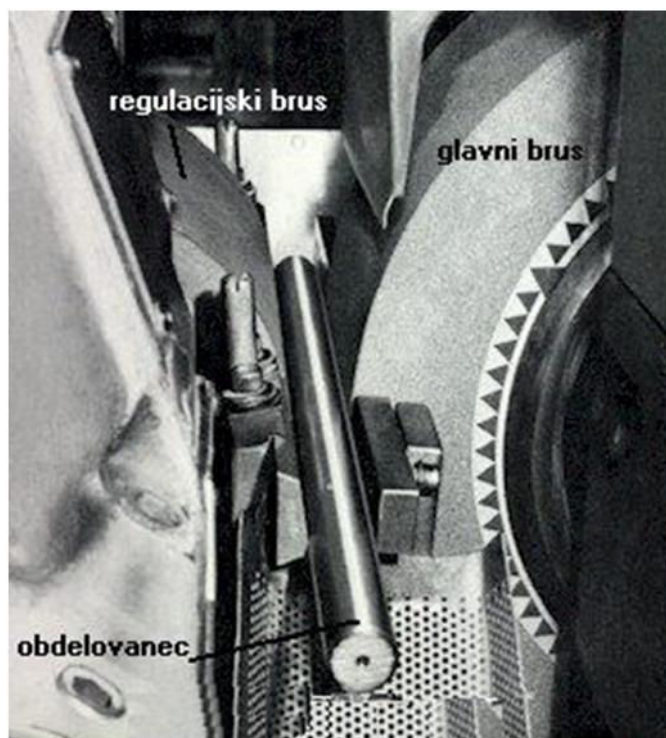
Slika 98: Vzdolžno brušenje



Slika 99: Zarezno brušenje

Način brušenja, ki je primeren za majhne obdelovance, ki jim želimo povečati natančnost, je **brušenje brez konic**.

Obdelovanec se vrti med dvema brusoma, ki imata različen premer. Pri daljših obdelovancih, kjer potrebujemo tudi podajalno vzdolžno gibanje, je regulacijski brus nagnjen in s trenjem povzroči vijačno vzdolžno gibanje obdelovanca. Bolj ko je regulacijski brus nagnjen, hitreje je podajalno gibanje. Večji brus se imenuje glavni brus in se vrti z rezalno hitrostjo. Med obdelavo se obdelovanec naslanja na poševno vodilo.



Slika 100: Brušenje brez konic

Vir: <http://www.efunda.com/> (11. 8. 2006)

Opišite nadzor globine brušenja pri brušenju brez konic. Katere senzorje bi lahko uporabili pri nadzoru? Kakšna je natančnost obdelave?



3.17 HONANJE

Honanje je postopek fine obdelave z odrezovanjem. Podoben je finemu brušenju, pri katerem se obdelovanec v stiku z orodjem ne segreje in se tako struktura obdelane površine ne spremeni. Glavna razlika med honanjem in brušenjem je tudi v znatno manjši hitrosti orodja pri honanju. Orodje se dotika obdelovanca na veliki površini, zato so ploščinski pritiski orodja precej manjši kot pri brušenju; prerez odrezkov je majhen. Rezultat tega je izredno gladka obdelava z nekoliko motno površino. Honamo predvsem luknje za izboljšanje površine (pri motorjih za notranje zgorevanje).



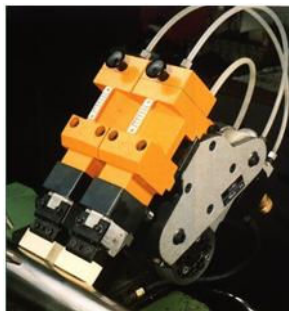
Slika 101: Cilinder

Vir: www.germes-online.com/ (30. 1. 2011)

3.18 SUPERFINIŠ

Superfinaš je pravzaprav posebna oblika honanja, ki se ga v glavnem uporablja za obdelavo zunanjih valjastih površin. Na ta način obdelujemo tiste obdelovance, ki morajo imeti najkvalitetnejšo površino in obliko, npr. vse ploskve gredi, ki se vrtijo v drsnih ležajih, bate motorjev z notranjim zgorevanjem, ...

Brusne segmente s fino zrnatostjo in gosto strukturo pritiskamo na obdelovanec s stisnjnim zrakom. Pri tem orodje opravlja gibanja, ki so značilna za honanje, dodatno pa še niha v aksialni smeri (od 1 do 10 mm) s frekvencami od 3,3 do 35 Hz. Kvaliteta obdelane površine je izredna ($R_{\max} = 0,2$ do $0,4$ mm). Poleg izredne gladkosti površine je odlična tudi struktura obdelovanca na površini, ki ostane praktično nedotaknjena.



Slika 102: Superfinaš

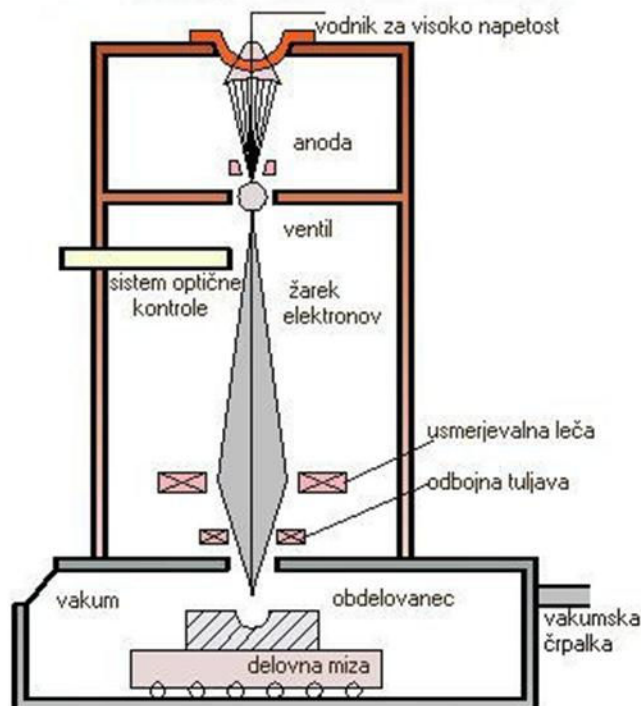
Vir: <http://www.supfina.com/> (20. 1. 2011)

3.19 OBDELAVA Z ELEKTRONSKIM SNOPI – EBM



Obdelava z elektronskim snopom odstranjuje snov s pomočjo taljenja in izparevanja, tako da jo doseže žarek elektronov velike hitrosti. Da se prepreči razkropitev žarka, ki je posledica stika s plinskimi molekulami, mora proces potekati v brezračnem prostoru.

Elektroni izvirajo iz t. i. elektronske pištole, ki jih pospeši na $\frac{3}{4}$ svetlobne hitrosti. Trk snopa ob obdelovanec spremeni njihovo kinetično energijo v toplotno. Magnetne leče usmerjajo elektronski snop na material, kjer na površini dosežejo veliko energije. Vse to povzroči izhlapiitev in stalitev kakršnega koli znanega materiala. Kljub kratkemu odzivnemu času snopa ni ovir za tridimenzionalno računalniško kontrolo. Sistem optičnih sledi in njihovih zapiskov nam pomaga voditi snop. Najpomembnejša značilnost obdelave z elektronskim snopom je možnost zelo natančne obdelave. Izdelamo lahko mikroluknje v najrazličnejše materiale v zelo kratkem času. S primernim programiranjem pa lahko ustvarimo zapletene geometrijske like v obdelovancu.

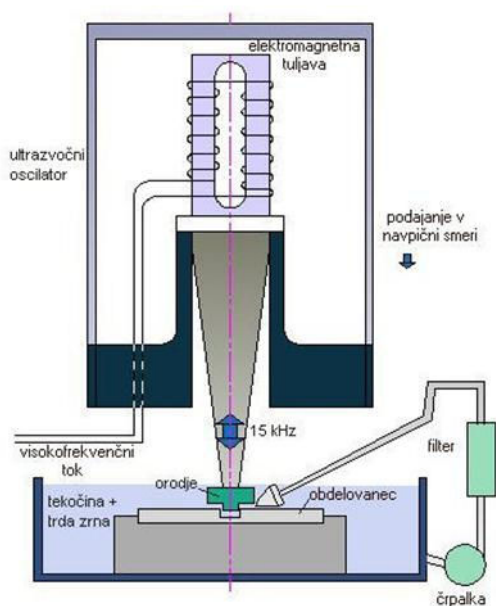


Slika 103: Obdelava z elektronskim snopom

Vir: Prirejeno po: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/EBM/slike/PS%20tabele/31b.jpg/> (30. 1. 2011)

3.20 ULTRAZVOČNA OBDELAVA – USM

Ultrazvočna obdelava spada med mnogorezilne postopke odrezavanja z nevezanim orodjem. Pri tej vrsti obdelave ne odrezuje ultrazvok, kot bi lahko napačno sklepali iz naslova, temveč ostru zrna trdih materialov, ki plavajo v tekočini (običajno je to olje). Tekočino z zrnji spravimo v ultrazvočno nihanje. Ko nihajoča zrna udarjajo v površino obdelovanca, z nje postopoma odrezujejo majhne delčke materiala. V ožjem smislu so orodja trda zrna nepravilnih geometrijskih oblik, v širšem smislu pa lahko rečemo orodje kalupu, ki je pritrjen na podaljšek ultrazvočnega oscilatorja in sili tekočino z zrnji v gibanje.



Slika 104: Ultrazvočna obdelava

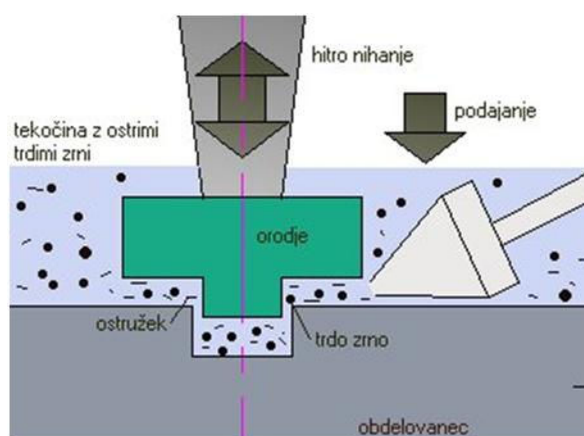
Vir: Prirejeno po: <http://www.suhr.de/> (20. 11. 2005)

Zrna nihajo bolj ali manj pravokotno na površino obdelovanca in na površino orodja ter odrezujejo majhne delčke materiala. S pravilno izbranimi materiali zrna odsekavajo več materiala iz obdelovanca. Pri tem se obrabljujejo tudi zrna, ki izgubljajo ostre robove, zato s pomočjo črpalke na delovno mesto prinašamo vedno nova zrna. Razdalja med orodjem in obdelovancem ostaja ves čas enaka.

Ultrazvočno obdelavo lahko uspešno uporabimo le za trde in krhke materiale (keramiko, diamante, ...), saj lahko ostale kovinske materiale uspešneje obdelamo z elektroerozijo. Z njo lahko naredimo luknje najrazličnejših oblik v najtrše materiale. Najmanjša luknja, ki so jo naredili, je imela premer 0,076 mm, največja pa 89 mm.

Prednosti ultrazvočne obdelave pred elektroerozijo so v tem, da lahko tu poteka obdelava pri normalnih temperaturah in da lahko obdelujemo tudi električno neprevodne materiale.

Slabost ultrazvočne obdelave je v majhni hitrosti obdelave.



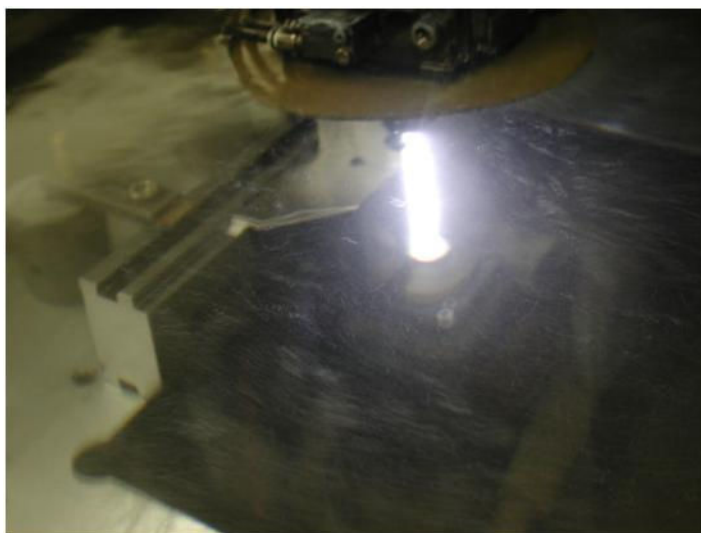
Slika 105: Princip obdelave

Vir: Prirejeno po: <http://www.suhr.de/> (20. 11. 2005)

3.21 ELEKTROEROZIJA



Strojne dele je mogoče s pomočjo odrezovanja izdelovati na različne načine. Pri klasičnih načinih odrezovanja, kot je npr. struženje, rezkanje, vrtanje, brušenje, skobljanje, ... so orodja v obliki klina in režejo manjše delčke (odrezke) od surovca, dokler ne nastane uporaben izdelek. Poleg teh poznamo še postopke odnašanja z neposrednim delovanjem električne energije. Orodje je v ožjem pomenu besede energija, ki tali zelo majhne delčke s površine obdelovanca.



Slika 106: EDM obdelava

Vir: <http://www.vbinc.com/graphics/photos/EDM03A.jpg/> (24. 8. 2010)

Pri elektroerozivni obdelavi pride do odnašanja materiala zaradi kombiniranega električnega in toplotnega delovanja energije. Delci materiala odstopajo pod vplivom razelektrenj med dvema elektrodama, od katerih je ena orodje (baker, grafit), druga pa obdelovanec. Obe elektrodi se obrabljata. Pogoji za obdelavo je električna prevodnost materiala. Postopek je večinoma zamuden, vendar ima nekatere nenadomestljive prednosti.

Z elektroerozijo lahko načeloma obdelujemo vse električno prevodne materiale, s posebnimi postopki pa celo neprevodno keramiko, diamante itd.

Elektroerozija ima poseben pomen v industriji, ker je mogoče z njo na ekonomičen način obdelovati že kaljeno jeklo in karbidne trdine.

Zakaljeni deli so zelo trdi, zato se jih na klasičen način ne da obdelati. V orodjarnah jih obdelujejo s pomočjo elektroerozije ali visokohitrostne obdelave. Pri tem ostaja vprašanje, zakaj se strojni del ne naredi najprej s klasičnim načinom odrezavanja in se ga nato toplotno obdelata. Predvsem zato, ker bi se lahko strojni del, predvsem tanke stene, po toplotni obdelavi deformirale. Pri izdelavi natančnih orodij pa tolerance v tisočinkah milimetra niso nič nenavadnega, zato se strojni del najprej ustrezno toplotno obdelata, nato pa se ga s pomočjo elektroerozije ali visokohitrostne obdelave oblikuje v uporaben kos.

Tako lahko izdelujemo komplicirane oblike, prehodne izvrtine ali slepe luknje vseh oblik v kaljena, močno legirana jekla, kar lahko vidite na naslednjih slikah:



Slika 107: Prehodne izvrtine

Vir: <http://www.wirecutcompany.com/tooling.html/> (24. 8. 2010)



Slika 108: Komplicirane oblike izdelkov

Vir: <http://www.xactedm.com/Capabilities/Execution/index.html/> (24. 8. 2010)

Elektroerozija je nepogrešljiva v orodjarnah, kjer se vsakodnevno uporablja pri izdelavi orodij za štančanje, orodij za brizganje plastičnih mas in kovin. Njena slabost je v preveliki porabi električne energije in sorazmerno dragih napravah.

Posebno pozornost moramo posvetiti elektrodam. Njihov problem je obraba. Orodje izgublja svojo prvotno obliko, ker se ne obrablja povsem enakomerno. Na ostrih robovih, kjer je jakost električnega polja večja, je tudi obraba večja, zato ostri robovi kmalu postanejo zaobljeni. Če je zahtevana večja natančnost, je treba po grobi obdelavi orodje zamenjati z novim (za fino obdelavo).



Slika 109: Grafitne elektrode

Vir: http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/graphit-fur-edm-elektroden-elektroden-fur-erodiermaschinen-402240.jpg/ (12. 4. 2010)



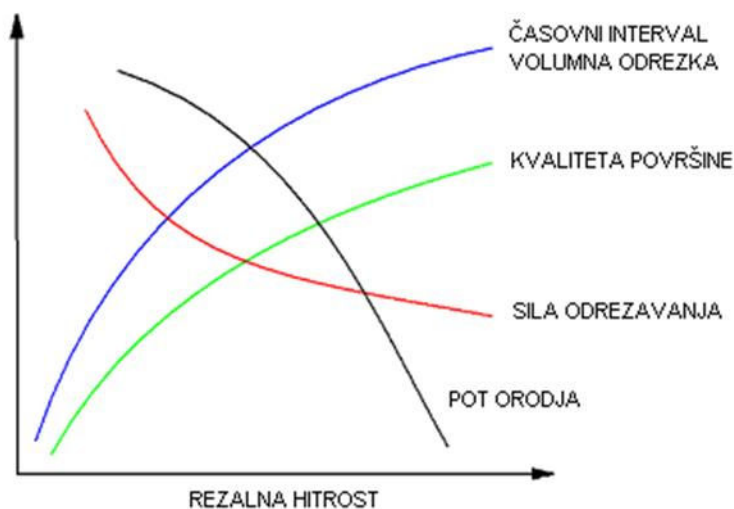
Slika 110: Bakrene elektrode

Vir: <http://www.suomenedm.fi/alihankinta/1025.jpg/> (12. 4. 2010)

3.22 RAZVOJ STROKE – VISOKOHITROSTNA OBDELAVA



Visokohitrostna obdelava – VHO je obdelava z velikimi hitrostmi, ki so 5 do 10 x večje kot pri konvencionalnem rezkanju. Glavno vreteno lahko doseže tudi do 30.000 vrt/min. Pri tem so tudi podajalne hitrosti 2 do 3 x večje kot pri klasičnih metodah odrezavanja (med obremenitvijo tudi do 80 m/min), pospeški pa lahko dosežejo tudi 2 do 3 g. Pri tem je globina rezanja majhna, zato je majhen tudi presek odrezka.



Slika 111: Prikaz karakterističnih parametrov glede na rezalno hitrost

Vir: Čuš, 2004, 89

Danes je visoko hitrostno frezanje – VHF izraz za napredno CNC frezanje, ki se vrši pri veliko večjih obdelovalnih hitrostih od standardnega frezanja, običajno nad 1000 m/min. Če imamo na starejšem frezalnem stroju maksimalne vrtljaje 3000 vrt/min, imamo pri VHF 10000, 24000 in več. Nekateri najnovejši CNC obdelovalni centri dosegaajo celo 60000 vrt/min. Večje hitrosti vretena pa omogočajo krajše obdelovalne čase, boljše kvaliteto površine in frezanje z majhnimi premeri frezal, tudi manj kot 1 mm.

Globina reza je pri VHF majhna. Volumen odvzetega materiala v časovni enoti je zaradi višje rezalne hitrosti vseeno večji kot pri navadnem frezanju. Zaradi manjše globine reza se zmanjšajo premeri odrezkov, manjša je tudi rezalna sila, zato se natančnost poveča. Natančnost pozicioniranja znaša pri modernih CNC frezalnih strojih 0,005 mm ali pa še manj. Kvaliteta oziroma hrapavost površine je odvisna od orodja, podajalne in vrtilne hitrosti stroja. Dosegajo se hrapavosti manjše od $R_a = 0,4 \mu\text{m}$, tako da brušenje velikokrat ni več potrebno. Pri VHF se 95 % nastale toplote odvede z odrezki, zato za hlajenje uporabljamo večinoma zrak, ki služi obenem tudi za spihovanje odrezkov.

Za doseg maksimalnega tehnološkega izkoristka VHF stroja potrebujemo optimiziran CNC program, ki upošteva parametre stroja, rezalnega orodja in vrsto materiala, ki ga obdelujemo. Pri VHF moramo zagotoviti, da so pogoji odrezavanja dokaj konstantni, saj tako dosežemo boljšo kvaliteto obdelave in manjšo obrabo orodja. To lahko dosežemo z ustreznimi CAM programi in izkušenimi programerji. CNC program mora ob najmanjšem tveganju zagotoviti najkrajši čas obdelave.

Prednosti VHO:

- zmanjša se potreba po fini obdelavi – brušenju,
- zmanjša se potreba po elektroeroziji, saj VHO omogoča obdelavo kompleksnih oblik v najtrše materiale,
- vzpostavi se hladnejše delovno območje,
- omogoča ekološko obdelavo zaradi zmanjšane uporabe hladilno mazalnih sredstev,
- zaradi zmanjšanja rezalnih sil dobimo boljšo dimenzijsko in oblikovno natančnost izdelkov,
- omogoča obdelavo na petih oseh.

Slabosti VHO :

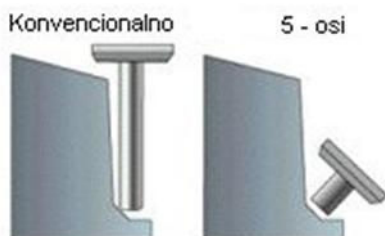
- draga naložba,
- večji stroški vzdrževanja,
- majhne spremembe parametrov povzročijo odmik kvalitete obdelovanca. Proces je nemogoče vizualno opazovati. Potreben je zanesljiv sistem za merjenje parametrov obdelave.



Slika 112: Izdelek narejen z VHO

Vir: www.mmsonline.com/hsm/ (20. 5. 2008)

Petosni obdelavi lahko VHO prinese večjo raznolikost oblik. Omejitev petosne obdelave je v tem, da rotacijske osi pogosto ne morejo zagotoviti vrtilnega momenta, ki je potreben za globoke reze v trdo kovino. Vendar to ni velik problem, saj le-ta daje prednost lažjim rezom. Pri petosni obdelavi krajša orodja obdelajo težko dostopna mesta in omogočajo izdelavo geometrijsko zahtevnih elementov.



Slika 113: Petosna obdelava

Vir: www.mmsonline.com/hsm/ (20. 5. 2008)

3.23 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE

Izberite pravilni odgovor (obkrožite **PRAVILNO/NEPRAVILNO**).

Glavno gibanje pri struženju vedno opravlja obdelovanec.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Podajalnega gibanja pri posnemanju ni.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Podajalno gibanje ne vpliva na kvaliteto površine.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Za trde materiale je glavno gibanje večje.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Cepilni kot je lahko nič.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Prosti kot je lahko negativen.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Čim mehkejši je material, večji je kot klina.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Prosti kot orodja ne vpliva na odrezovanje.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Z elektroerozijo lahko obdelujemo samo kovine.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
S čelnim frezanjem dosegamo boljšo kvaliteto obdelane površine kot z obodnim.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Povrtavanje je postopek fine obdelave.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Grezenje je postopek širjenja valjastih izvrtin.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Obstojnost orodja je čas do maksimalne obrabe.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Obstojnost orodja je na CNC strojih večja kot na starejših klasičnih obdelovalnih strojih.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
S prevelikim pomikom svedra v material lahko drsi prosta ploskev svedra po obdelovancu.	PRAVILNO	NEPRAVILNO
Trdota brusa pomeni odpornost brusa proti izpadanju zrn.	PRAVILNO	NEPRAVILNO

Odgovorite v eni povedi:

- S katerim postopkom bi obdelovali trde, že kaljene materiale?
- S katerim postopkom bi izdelali utor na gredi?
- S katerim postopkom bi izdelali valjasto luknjo na toleranco?
- S katerim orodjem bi vrezali navoj?

Odgovorite na vprašanja:

- Kakšna je geometrija noža? Kakšni so posamezni koti?
- Kaj je cepilni kot? Kako velik je navadno?
- Kaj pomeni *vc* in kaj *vf*? Kje dobimo podatke?
- Katere materiale za orodja poznate? Analizirajte njihovo uporabo v praksi.
- Analizirajte obodno rezkanje.
- Kje se uporablja rezkanje?
- Kakšna je geometrija svedra? Kako se spreminjajo koti vijačnega svedra med obdelavo?
- V čem je razlika med honanjem, brušenjem in superfinišem?
- Razložite namen elektroerozije in njene uporabe v praksi.
- Razložite fizikalni princip elektroerozije.
- Kateri so vplivni parametri za kvaliteto obdelave pri elektroeroziji?
- Kakšne so omejitve glede izbire obdelovanca za EDM postopek?
- Kateri so osnovni principi elektroerozije v praksi?
- Razložite osnovni princip visokohitrostne obdelave.
- Katere so prednosti visokohitrostne obdelave?
- Kateri so karakteristični parametri VHO, poiščite podatke za rezalno hitrost in podajanje za obdelavo različnih materialov.

Teme za razpravo:

V orodjarni se odločate za nakup visokohitrostnega obelovalnega stroja. Oblikujte kriterije, ki bi pripomogli k nakupu optimalnega stroja.

CNC obdelovalni stroji imajo nekatere konstrukcijske dele drugače izvedene kot klasični stroji. Na spletu poiščite CNC in klasično stružnico ter naredite primerjavo.

4 POSTOPKI SPREMINJANJA LASTNOSTI MATERIALA

4.1 UVOD

Pri opazovanju okolice zaznamo, da nas obkroža množica izdelkov, ki so narejeni iz najrazličnejših materialov. Vsi ti materiali imajo določene lastnosti, ki so prirejene točno določenim izdelkom. Tako morajo imeti zobniki trdo površino, ki je odporna proti obrabi, in žilavo jedro; boben pralnega stroja mora biti izdelan iz materiala, ki je odporen na korozijo; ohišja obdelovalnih strojev so iz materialov, ki ublažijo vibracije; rezila stružnih nožev morajo biti odporna na visoke temperature. Vedno znova se srečujemo z materiali, ki imajo specifične lastnosti, ki jih pridobijo na različne načine. Kovinam lastnosti najpogosteje spreminjamo s toplotno obdelavo, nakatere lastnosti pa se lahko spremenijo tudi s preoblikovanjem, namagnetanjem ali s fotokemičnimi postopki. V tem poglavju se bomo seznanili predvsem s postopki toplotne obdelave jekel.

V skupinah razpravljajte o specifičnih lastnostih materialov. Kakšne lastnosti mora imeti odmična gred?

Kako poteka namagnetenje? Ali poznate fotokemične postopke?

Ali ste poskušali kdaj namagnetiti izvijač? Kako bi to naredili?

Postopke poiščite na spletu in razvijte razpravo o njih.



Slika 114: Izdelek narejen s fotokemičnim postopkom

Vir: <http://iskraemeco-lab.si/show/fotokemicna-izdelava-kovinskih-sestavnih-delov/>
(18. 1. 2011)

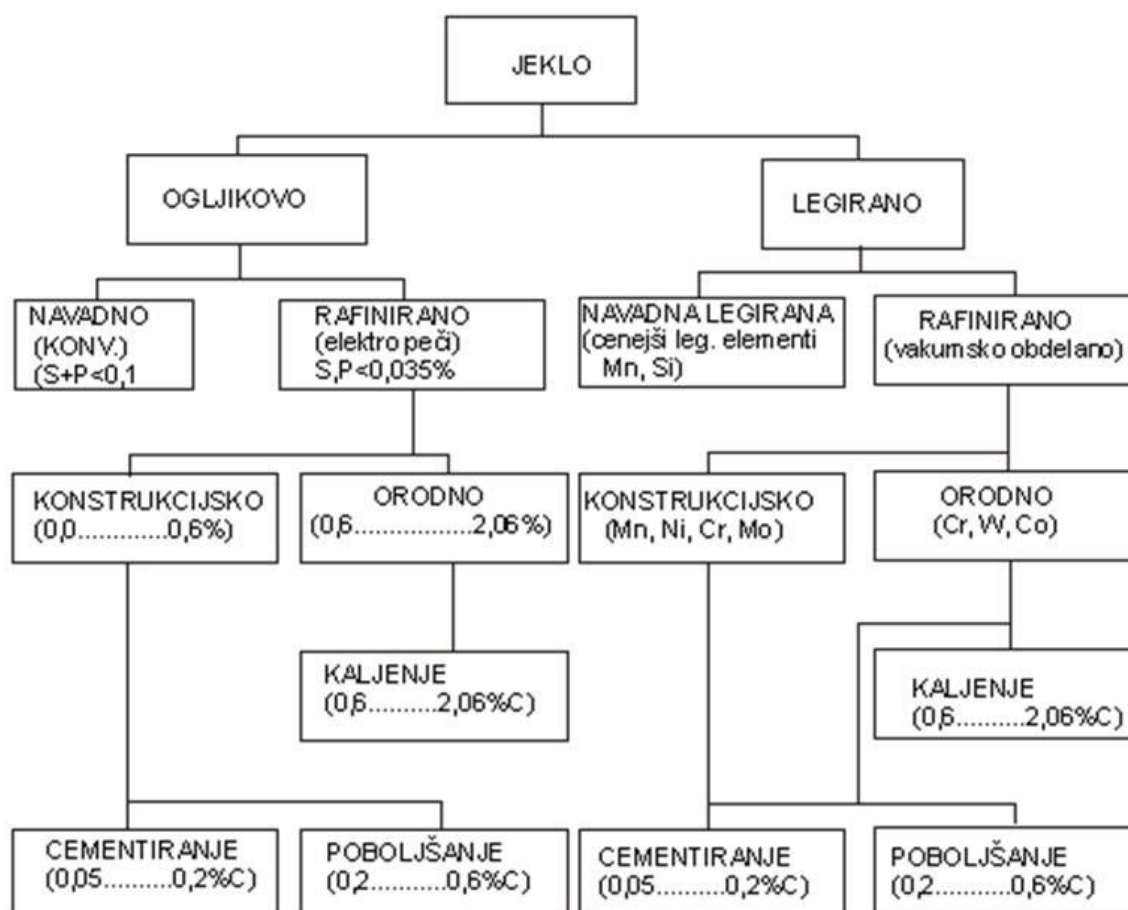
4.2 TOPLOTNA OBDELAVA



S pojmom toplotna obdelava označujemo postopke, pri katerih kovine segrejemo na določeno temperaturo in jih nato (po določenem času) ponovno ohladimo. Faza segrevanja se imenuje avstenitizacija, faza ohlajanja pa transformacija avstenita. Strukture, ki nastanejo z različnimi hitrostmi ohlajanja, so razvidne iz TTT diagramov.

Namen obdelave je pridobiti lastnosti jeklenih polizdelkov ali izdelkov, ki so za določeno področje uporabe najboljše. V nekaterih primerih segrevanje poteka v posebnem kemično aktivnem okolju, tako da govorimo o toplotno-kemični obdelavi.

Spodnja slika nam podaja pregled pomembnih skupin jekel in pogoste postopke toplotne obdelave, ki so za ta jekla primerna.



Slika 115: Skupina jekel

Vir: Prirejeno po: Leskovar, 1978, 167

Postopek obdelave izberemo glede na lastnosti, ki jih hočemo doseči, in glede na kemično sestavo jekla. V praksi se najpogosteje izvajajo kaljenje, poboljšanje, cementiranje in nitriranje. Kalijo se izdelki, ki morajo imeti večjo trdoto ali obrabno odpornost. Pri tem se žilavost izdelkov bolj ali manj poslabša. S poboljšanjem dosežemo večjo trdnost, trdoto in zelo dobro žilavost. Veliko trdoto površine in dobro žilavost jedra pa dosežemo s postopki površinskega utrjevanja (površinskim kaljenjem, cementiranjem, nitriranjem ipd.). Visoko ogljikova jekla so trda, trdna in obrabno odporna. Plastičnost in žilavost teh jekel je zelo majhna. Po kaljenju se njihova trdnost in trdota bistveno povečata, žilavost pa se dodatno zmanjša. Nizko ogljikova jekla so mehka, plastična in žilava, niso pa dovolj trda in trdna. Po kaljenju se njihova trdnost bistveno ne poveča. Primerna so za cementiranje in nitriranje.

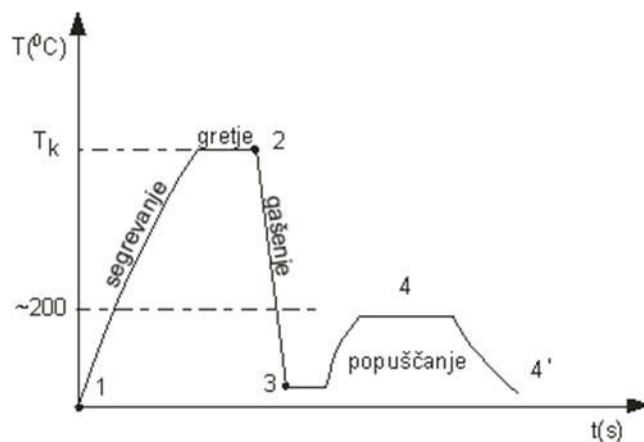
Stroški toplotne obdelave so manjši od 10 % vrednosti izdelka. Kakovostna toplotna obdelava lahko podvoji življenjsko dobo izdelka, slaba toplotna obdelava pa povzroči nepredvidene posledice. Vpliv slabe toplotne obdelave ni vedno takoj opazen, lahko se pokaže šele kasneje v zmanjšani vzdržljivosti orodja. Končni rezultati slabe toplotne obdelave so lahko: bistveno krajša življenjska doba izdelka, povečanje stroškov naknadne obdelave, poškodba ali celo lom izdelka.

DOBRO ORODJE = DOBRA KONSTRUKCIJA + USTREZNO JEKLO + DOBRA TOPLOTNA OBDELAVA

4.3 KALJENJE JEKEL

Kaljenje je toplotna obdelava, ki se izvaja z namenom, da izdelkom povečamo trdoto.

V literaturi poiščite vse o kaljenju.



Slika 116: Diagram faz kaljenja
Vir: Prirejeno po: Grum, Ferlan, 1987, 65

Strukture, ki se pojavijo:

1. perlit (+ ferit ali sekundarni cementit),
2. avstenit,
3. martenzit z notranjimi napetostmi,
4. martenzit brez notranjih napetosti (4').

*Kaj želimo preprečiti z gibanjem obdelovanca v hladilnem sredstvu?
Poiščite podatke o kritični hitrosti ohlajanja za različna jekla.*



4.3.1 Popuščanje jekla

Zakaljeno jeklo je trdo in krhko, razen tega obstaja nevarnost pokanja. Da bi te napetosti odstranili, zakaljene predmete še popuščamo tj. segrevamo do temperature pod $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ponavadi okoli $180\text{ }^{\circ}\text{C}$), kjer jih pustimo določeno dobo in potem počasi ohlajamo.

*Poiščite podatke o temperaturi popuščanja za različna jekla.
Katera jekla so primerna za popuščanje in katera ne? Utemeljite.
Poiščite podatke o trajanju popuščanja za različne vrste jekel.*

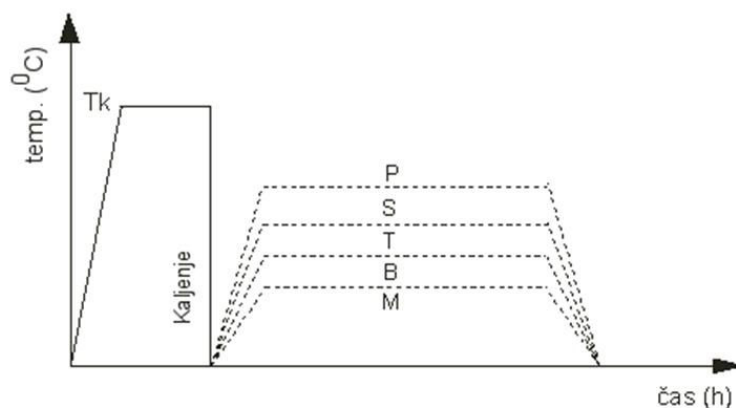


Optimalna zakaljenost nekega izdelka zahteva veliko znanja in izkušenj. Na osnovi kemične sestave jekla izberemo ustrezno temperaturo predgrevanja in kaljenja. Glede na obliko in velikost izdelka izberemo ustrezne hitrosti segrevanja ter čas zadrževanja pri T_{pl} in T_k . Glede na kemično sestavo, obliko in velikost izdelka moramo izbrati ustrezno hladilno sredstvo ter način potapljanja. Na doseženo trdoto vpliva tudi hitrost premikanja izdelka oziroma pretakanja hladilnega sredstva. Možnosti, da izdelek nima zelenih lastnosti, so velike. Pravilne kalilne parametre dosežemo po večkratnem preizkušanju. V zadnjem času se tudi na tem področju uporabljajo računalniki. Obdelava poteka v računalniško vodeni vakuumski peči. Glede na sestavo jekel in dimenzije izdelka program izbere optimalne hitrosti segrevanja in ohlajanja. Gašenje se opravi z inertnimi plini, ki imajo zelo nizko temperaturo, npr. z

vbrizgavanjem tekočega dušika, ki v trenutku preide v plinasto fazo in s tem odvajata toploto. Njihova hitrost gibanja in temperatura se lahko programirano spreminjata.

4.4 POBOLJŠANJE

Toplotno obdelavo, pri kateri izdelke poleg kaljenja po kaljenju še popuščajo pri temperaturah nad 100 °C, imenujemo poboljšanje. Namen poboljšanja je dobiti dobro trdnost in istočasno dobro žilavost izdelkov.



Slika 117: Poboljšanje jekla
Vir: Prirejeno po: Leskovar, 1978, 215



*Poiščite razlago poboljšanja jekla.
Katera jekla je potrebno poboljšati? Utemeljite.*

4.5 POVRŠINSKO UTRJEVANJE

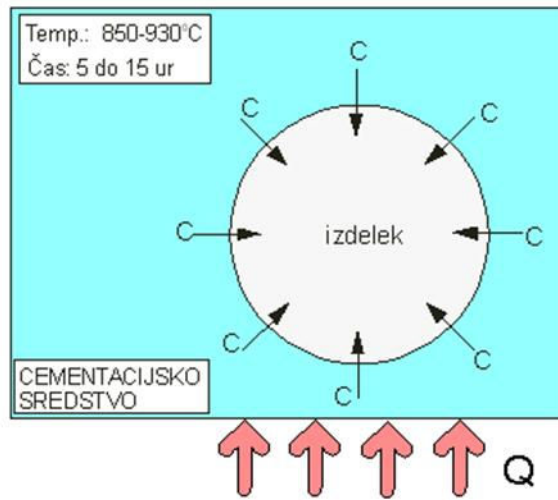
Pri izdelkih se velikokrat zahteva dobra obrabna odpornost, trdnost in žilavost. Materiali, ki so trdi in trdni, so manj žilavi in krhki. Izdelek je lahko zelo trd in žilav, če je zgrajen iz dveh ali več materialov. Eden od njih mora biti trd in trden, drugi pa mehak in žilav. V takem primeru je izdelek narejen s sintranjem ali iz med seboj trdno povezanih plasti. Tako narejenih izdelkov je čedalje več in se imenujejo kompoziti. Postopkov, s katerimi utrdimo površinsko jeklene izdelke, pri čem ostane jedro mehko in žilavo, je več. Nekateri so znani že dolgo, nekateri pa se pojavljajo v zadnjem času.



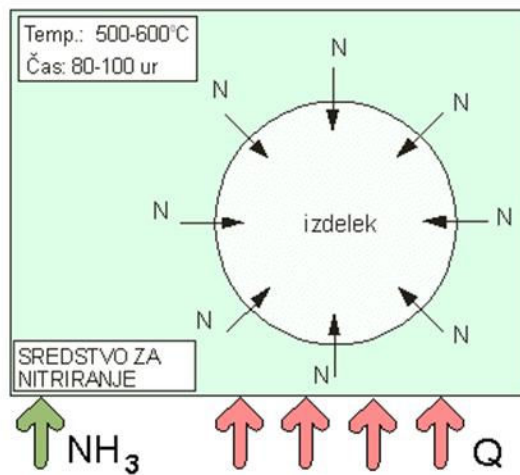
*Poiščite opise površinskega kaljenja, cementiranja, nitriranja in karbonitriranja jekel.
Ugotovite, kakšno trdoto dosežemo s posameznim postopkom in kakšne prednosti ima posamezni postopek.*



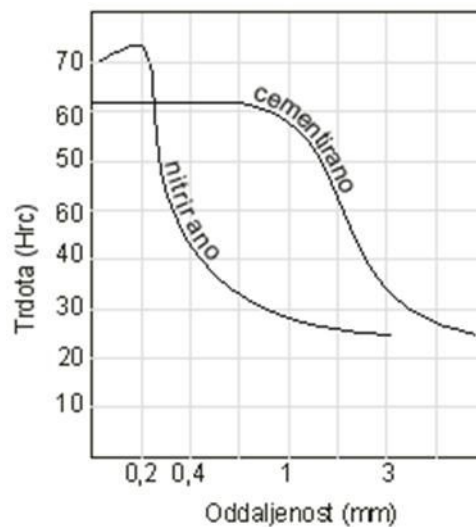
Slika 118: Zakaljena globina pri površinskem kaljenju
Vir: Prirejeno po: Leskovar, 1978, 222



Slika 119: Ogljičenje



Slika 120: Nitriranje



Slika 121: Dosežena trdota po nitriranju in cementiranju
Vir: Prirejeno po: Leskovar, 1978, 220

4.6 BORIRANJE

Pri tem postopku se podobno kot pri cementiranju in nitriranju izdelki segrevajo v sredstvih, ki oddajajo bor. Temperature segrevanja so nad 850 °C. Na površini izdelkov nastajajo tanke plasti spojin železa z borom, ki se imenujejo boridi. Boridi so trši od nitridov, zato je dosežena trdota izdelkov po boriranju od 1500 do 2000 HV.

4.7 TRDO KROMANJE

Trdo kromanje je difuzijski način utrjevanja izdelkov. V posebnih komorah, v katerih so kromove soli (kromov klorid), izdelke segrevajo od 5 do 6 ur pri temperaturah okrog 1000 °C. Zaradi večje afinitete se železo veže s klorom in tvori železov klorid. Železov klorid ostaja na površini, prosti Cr pa pronica proti notranjosti izdelka. Delež kroma na površini naraste do 35 %. Debelina utrjene plasti je do 0,02 mm. Kromanje se večinoma uporablja kot postopek korozijsko kemične zaščite izdelkov.



4.8 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE

Dopolnite povedi:

Namen toplotne obdelave je pridobiti _____ jekel, ki so za določeno področje uporabe _____.

Toplotna obdelava imenujemo _____ postopke, pri katerih material _____ ter ga nato po določenem času ponovno _____.

Kalijo se izdelki, ki morajo imeti večjo _____ ali _____ odpornost. S poboljšanjem dosežemo večjo _____ ter zelo dobro _____.

Nizko ogljikova jekla so primerna za _____.

Nitriranje je toplotno-kemični postopek _____ površine.

Odgovorite na vprašanja:

Razložite strukture, ki nastanejo v diagramu za jekla.

Kako vpliva hitrost ohlajanja na obliko diagrama Fe-Fe₃C'?

Kateri so osnovni postopki pri vsaki toplotni obdelavi?

Kaj je avstenitizacija in zakaj je pomembna pri toplotni obdelavi?

Kateri parametri vplivajo na proces avstenitizacije?

Kaj veste o transformaciji avstenita, zakaj je pomemben TTT diagram?

Katere so lastnosti struktur, ki nastanejo po transformaciji avstenita?

Kaj veste o kaljenju jekel, kako poteka postopek, kateri so pomembni parametri pri kaljenju?

V čem se poboljšanje jekel razlikuje od kaljenja jekel?

Opišite razlike med cementiranjem in nitriranjem.

Teme za razpravljanje:

Kot večina postopkov v strojništvu je tudi toplotna obdelava zelo kompleksna in na njeno kvaliteto vpliva več dejavnikov, kot so kvaliteta materiala, oblika obdelovanca, temperatura, lega obdelovanca med toplotno obdelavo. Določite optimalne pogoje za toplotno obdelavo za strojni del iz jekla C45 izdelan s struženjem. Obliko določite sami, ali v sodelovanju z mentorjem. Poiščite ustrezno literaturo. Poiščite podjetja, ki se ukvarjajo s toplotno obdelavo in se dogovorite, da vam dajo ustrezno ponudbo za toplotno obdelavo.


5 POSTOPKI PREOBLIKOVANJA

Obliko izdelka iz izbranega materiala lahko dobimo na več načinov. Poglejmo, naprimer, glavno gred motorja z notranjim zgorevanjem. Obliko lahko dobimo na več načinov, in sicer:

- A. da jo vlijemo iz taline orodnega jekla, jo obdelamo z odrezavanjem, toplotno obdelamo in z brušenjem dokončno oblikujemo;
- B. da material vlijemo s kontinuiranim litjem v palico, iz katere bomo z odrezavanjem oblikovali izdelek, ga toplotno obdelamo in z brušenjem dokončno oblikujemo;
- C. da material vlijemo s kontinuiranim litjem v palico, iz katere bomo s preoblikovanjem izdelali obliko, ga toplotno obdelamo in z brušenjem dokončno oblikujemo.


Podobno je tudi s kardanskim križem, ročnim orodjem (ključi, natičnimi ključi), ...

Razlika v lastnostih izdelkov po omenjenih treh načinih izdelave bi bila velika. Najboljše mehanske lastnosti bi lahko pričakovali od izdelka C, saj bi dobili najboljše mehanske lastnosti zaradi utrditve materiala s preoblikovanjem. Z brušenjem bi zagotovili le še natančno geometrijo.

Zanimivo je, da lahko razlikujemo ulitke od kovanih izdelkov že po zvoku; poskusite razložiti, zakaj 



Drugi primer: samurajskemu meču dajo končno obliko s kovanjem in toplotno obdelavo.

Izdelavo si lahko pogledate na spletu 



Izbira načina izdelave določenega izdelka je močno pogojena z velikostjo serije, razpoložljivo tehnologijo ter zahtevami izdelka.

Primer izdelkov, narejenih s preoblikovanjem, so deli, vgrajeni v avtomobile, npr. homokinetični zgibi. Tudi v kardanskem zgibu srečamo zanimive elemente, ležajne čašice, ki morajo prenašati visoke dinamične utripne obremenitve. Izdelane so s **protismernim iztiskavanjem**.

Prikaz razlike v delovanju homokinetičnega zgloba in kardana poiščite na spletu 



5.1 ZNAČILNOSTI PREOBLIKOVANJA IN VPLIVI NA PROCES

5.1.1 Razdelitev postopkov

Poiščite definicije masivnega preoblikovanja in preoblikovanja pločevine ter ločevanja. Ugotovite, kakšne so značilnosti sprememb materiala pri preoblikovanju v hladnem ali v toplem stanju.



5.1.2 Vpliv lastnosti materiala in pogojev preoblikovanja

Zlasti pri preoblikovanju pločevine v hladnem je potrebno upoštevati **anizotropijo pločevine**, ki je lastnost, pridobljena s plastično deformacijo pri valjanju pločevine. Zaradi zelo velike razlike med deformacijami v eni in drugi smeri pride do strukturne spremembe – kristalna zrna dobijo podolgovato in usmerjeno orientacijo. To pogojuje v različnih smereh različne fizikalne in preoblikovalne lastnosti materiala. To lastnost moramo upoštevati pri načrtovanju postopkov izdelave izdelkov npr. z globokim vlekem in upogibanjem.

Pri preoblikovanju je potrebno zagotoviti intenzivno in učinkovito **mazanje** na drsnih površinah v odvisnosti od postopka. Preoblikovanje lahko poteka celo v oljni kopeli.

Pomembna je izbira maziva in priprava površine, saj za učinkovit vnos maziva in zadrževanje le-tega med procesom preoblikovanja ob prisotnosti velikih tlačnih obremenitev gladka površina ni najbolj primerna. Maziva se ne sme iztisniti, da ne pride do stika med grebeni profila orodja in preoblikovanca, kar bi privedlo do hladnega zvarjanja.

Naloge maziva so:

- ločiti mora stično površino orodja in preoblikovanca z enakomerno debelim nepretrganim slojem;
- ustvarjati mora nadzorovano trenje; za večino postopkov je zaželeno čim manjše trenje, le v nekaterih primerih večje trenje izboljša sposobnost preoblikovanja (hrapava površina valja pri valjanju, hrapava površina pestičev pri stanjševalnem in globokem vleku);
- preprečuje hladno zvarjenje;
- vpliva na kvaliteto površine preoblikovanca s kakovostjo maziva;
- za toplo preoblikovanje mora imeti ustrezno toplotno izolativnost;
- za hladno preoblikovanje zagotavlja dober odvod nastale toplote;
- zagotavlja veliko hitrost reakcije maziva s površino (kloridi, sulfidi); če je preoblikovanec neaktiven, je zaželeno, da z mazivom reagira površina orodja;
- ščiti preoblikovance, orodje in ostalo opremo pred nastankom korozije;
- ne sme spreminjati kakovosti maziva med skladiščenjem in uporabo;
- zagotavlja preprosto nanašanje in odstranjevanje s površin v stiku;
- zdravju in okolju mora biti neškodljivo, hkrati pa mora biti cenovno sprejemljivo.

Ustrezna **hrapavost** preoblikovanca ujame mazivo v neravnine, da se pri velikih tlakih ne iztisne. Pri daljšem drsenju lahko samo z ustreznim nosilnim slojem za mazivo zagotovimo zadostne količine maziva med orodjem in preoblikovancem in tako preprečimo njun neposreden stik. V ta namen površino preoblikovanca pripravimo oziroma uporabimo za mazivo nosilni material:

- cinkov fosfat za hladno preoblikovanje jekla (iztiskavanje, vlečenje) pri velikih tlakih (segrevanje 80–90 °C, fosfatiranje 10–15 minut pri 75 °C in izpiranje s hladno vodo),
- za največje tlake se za mazivo uporablja molibdenov disulfid,
- za manj zahtevne postopke pa nanosi apna, boraksa, železovega trioksida in natrijeve soli.

Kot mazivo lahko uporabimo:

a) maziva na oljni osnovi:

- osnova so mineralna olja iz surove nafte in sintetična olja,
- viskoznost omogoča dobro hidrodinamično nosilnost,
- določena olja se pri visokih temperaturah strdijo in imajo podobne mazalne lastnosti kot polimeri,
- pri hladnem preoblikovanju se pojavlja mešano trenje; aditivi (dodatki) morajo preprečevati neposreden kovinski stik orodja in preoblikovanca,
- mazivom za hladno preoblikovanje jekla dodajamo žveplo in klor, za nerjaveče jeklo pa klor.

b) maziva na osnovi vode:

- voda je dobro hladilno sredstvo,
- sama za mazanje ni primerna zaradi nizke viskoznosti in korozije, z antikorozijskimi dodatki se uporablja za hlajenje pri valjanju jekla v toplem, kjer prevzame vlogo maziva železov oksid; emulzije so lahko nadomestek maziv na podlagi olja.

c) mila in masti:

- mila nastanejo pri reakciji kovinskih hidroksidov z maščobnimi kislinami,
- viskoznost s temperaturo pada, zato mila niso primerna za višje temperature,
- masti so zmesi mila in mineralnega olja,
- masti z dodatki (za velike tlake, za nepopolno mazanje) se uporabljajo, kjer je potreben debelejši mazalni sloj.

d) trdna maziva:

- grafit in molibdenov disulfid (MoS_2) se uporabljata za preoblikovanje v toplem,
- MoS_2 se uporablja do temperature $400\text{ }^\circ\text{C}$, grafit pa do $800\text{ }^\circ\text{C}$,
- teflon (PTFE) ima nizek koeficient trenja – uporaben do temperature $250\text{ }^\circ\text{C}$,
- apno se uporablja pri majhnih deformacijah za vlečenje žice in palic,
- železov hidroksid se uporablja za vlečenje patentirane žice,
- za mazanje Al se uporablja cinkov stearat; za lažji nanos je prah lahko zmešan s hitro hlapljivo tekočino,
- za ločevanje izkovkov iz utopov se uporablja tudi žaganje,
- staljeno steklo se uporablja pri kovanju in pri toplem iztiskavanju titana ter nikljevih zlitin,
- polimerni filmi (PE, PTFE, PMMA) kot trdni vmesni sloj se uporabljajo pri preoblikovanju pločevine.

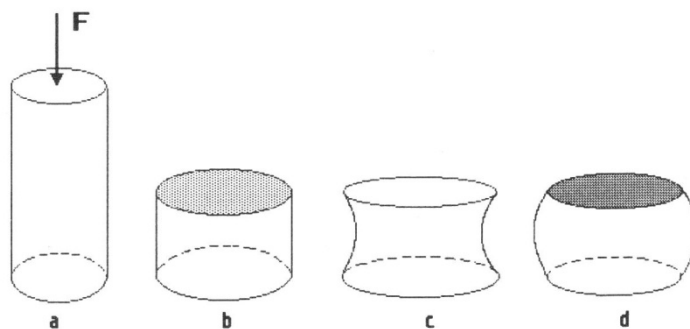
e) trdni vmesni sloj:

- se uporablja za ločevanje stičnih površin orodja in preoblikovanca,
- strižna trdnost vmesne plasti mora biti manjša od strižne trdnosti tečenja preoblikovanca.

Primeri učinkovitega mazanja:

- baker, med in aluminij valjamo samo z mazanjem,
- pri preoblikovanju poliranega nerjavečega jekla in barvane pocinkane pločevine uporabljamo kot vmesni sloj nalepljeno polimerno folijo.

Pri prostem nakrčevanju (tlačnem preoblikovanju) je končna oblika izdelka močno odvisna od učinkovitosti mazanja:



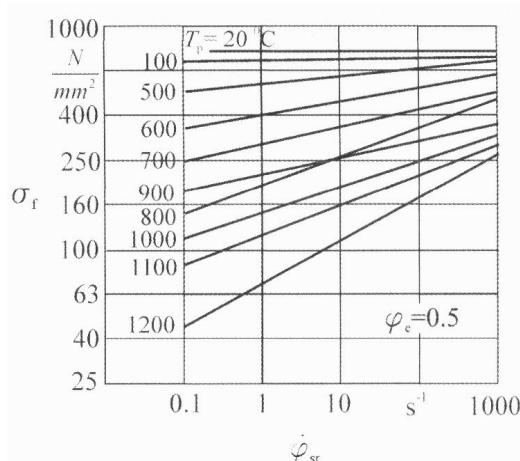
- a - pred nakrčenjem : $1 < h/d < 2$
 b - optimalno mazano, preizkušanec ohrani valjasto obliko
 c - preveč mazano, preizkušanec se konkavno vboči
 d - slabo mazano, preizkušanec se konveksno izboči

Slika 122: Vpliv mazanja tlačnih ploskev pri nakrčevanju

Vir: Gologranc, 1991, 119

Vpliv **hitrosti** postopka značilno vpliva na globino preoblikovanja: pri nizkih hitrostih deformacije se material prenete v globino, pri visokih hitrostih pa se material deformira (in utrdi) le na površini. To lahko izkoristimo za **utrjevanje površin** s hladno deformacijo.

Poznati moramo tudi pogoje tečenja materiala, to je **mejo tečenja**. Zavedati se moramo, da je meja tečenja po prvi stopnji deformacije višja od tiste pred preoblikovanjem in je enaka napetosti, ki smo jo dosegli pri predhodnem preoblikovanju. Pogoj za plastično tečenje je izpolnjen, ko glavna normalna napetost doseže vrednost napetosti tečenja (velja pri enoosnem napetostnem stanju). Poznati moramo torej **krivuljo tečenja**, to je odvisnost napetosti tečenja σ_f od ekvivalentne deformacije φ_e . Ta lastnost je odvisna od hitrosti deformacije in temperaturnih pogojev.



Slika 123: Vpliv hitrosti deformacije φ_{sr} na napetost tečenja σ_f pri različnih temperaturah T_p , materialu C15E4, $\varphi_e = 0,5$
Vir: Kuzman, 2010, 280

Predvsem pri preoblikovanju v hladnem se mehanske, tehnološke in druge lastnosti materiala izboljšajo. Zaradi trenja med stičnimi ploskvami preoblikovanca in orodja ter trenja znotraj kristalnih struktur, ki je posledica procesa, torej preoblikovalnega dela, se material segreva. Prekomerno segrevanje ni zaželeno, zato je potrebno tudi (intenzivno) hlajenje, ki je lahko združeno z mazanjem.

Če (zlasti pri hladnem preoblikovanju) prekoračimo dovoljeno stopnjo preoblikovalnosti – največjo plastično deformacijo φ_{maks} , se v materialu pojavijo razpoke: pride do pretrga vezi med kristali ali znotraj kristalov in posledično do porušitve materiala, lahko do gubanja pri globokem vleku ali do nezaželenih sprememb površine. Temu se izognemo s pravočasnim **žarjenjem na mehko** ali celo **rekristalizacijskim žarjenjem**, s katerim materialu povrnemo izhodiščne preoblikovalne sposobnosti.

Preoblikovalnost je odvisna od materialnih lastnosti (sestava, stanja) in preoblikovalnega sistema, torej tudi od napetostnega stanja. Značilna materialna karakteristika je razmerje med mejo plastičnosti in natezno trdnostjo. Manjše kot je to razmerje, večja je plastičnost materiala. Boljšo preoblikovalnost jasno nakazuje tudi majhna vrednost trdote HB.

Pri preoblikovanju se v materialu pojavijo različna napetostna stanja:

Tabela 7: Različna napetostna stanja, ki se pojavijo pri preoblikovanju materiala

PREOBLIKOVANJE														
TLAK					NATEG			TLAK / NATEG		UPOGIB			STRIG	
VALJANJE	PROSTO KOVANJE	KOVANJE V UTOPIH	VTISKAVANJE	IZTISKAVANJE	DALJŠANJE	ŠIRJENJE	IZBOČENJE	VLEČENJE ŽICE	GLOBOKO VLEČENJE	UPOGIBANJE	ZAPOGIBANJE	VIHANJE	STRIŽENJE (LOČEVANJE)	VZVOJ (TORZIJA)

Vir: Prirejeno po: Gologranc, 1981, 6

5.2 ZNAČILNOSTI POSAMEZNIH POSTOPKOV


Med masivno preoblikovanje prištevamo:

- nakrčevanje: prosto, vodoravno kovanje,
- hladno iztiskavanje: istosmerno in protismerno,
- stanjševalni vlek,
- vlečenje,
- valjanje, valjanje navojev, gladilno ter potisno valjanje,
- kovanje: prosto in utopno, gravirno kovanje in hladno vtiskanje gravur, kalibriranje.

Preoblikovanje pločevine in tankostenskih elementov pa omogoča:

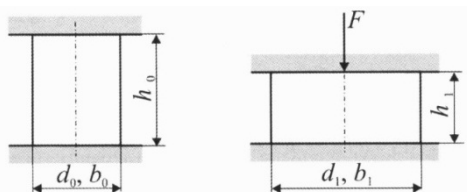
- globoki vlek, z ali brez držala pločevine, posebne oblike vlečenja,
- upogibanje ter upogibanje z orodji s krožnim gibanjem,
- preoblikovanje z visokimi tlaki.

Med postopke preoblikovanja spada tudi ločevanje ali rezanje, pri katerem načrtno prekoračimo mejo natezne trdnosti.

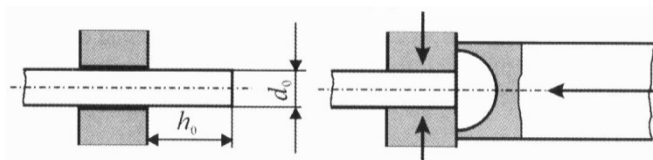
Najpogosteje so vhodni polizdelki (gredice ali brame) izdelani s postopkom kontinuiranega litja .



5.2.1 Nakrčevanje




Slika 124: Prosto nakrčevanje
Vir: Kuzman, 2010, 299



Slika 125: Omejeno nakrčevanje – vodoravno kovanje
Vir: Kuzman, 2010, 300

Med vzporednima ploskvama pri prostem nakrčevanju nakrčimo preoblikovanec do končne višine tako, da širjenje ni omejeno z obliko orodja. Volumen se ohrani, poveča se prečni presek.

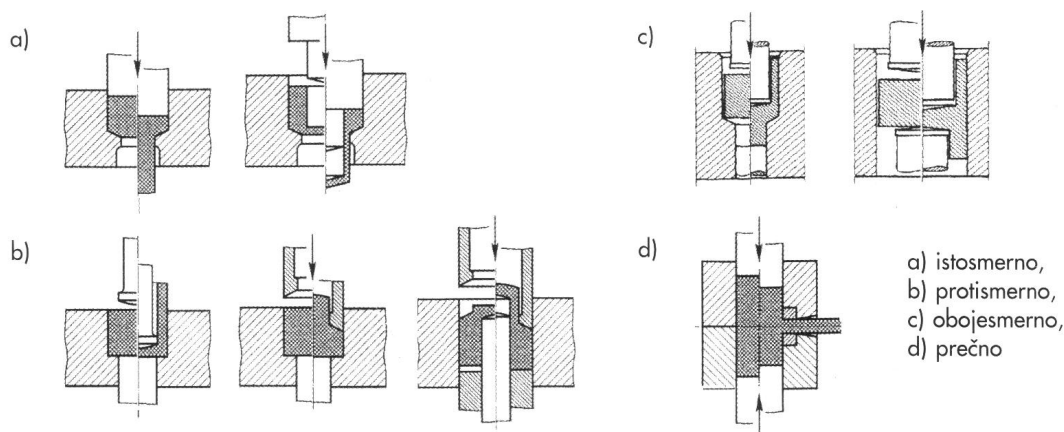
Z omejenim nakrčevanjem – vodoravnim kovanjem izdelujemo različne oblike glav vijakov, žbljev/žičnikov, kovic ipd. Smer nakrčevanja je običajno v vzdolžni osi, poteka v hladnem in v vodoravni smeri. Pri večjih dolžinah v izogib uklona nakrčujemo v več stopnjah. Merilo za določitev števila stopenj je nakrčno razmerje ($s = h_0/d_0$). Pri $s \leq 2,4$ lahko izvajamo v eni stopnji, sicer je potrebno več stopenj.

Izdelava ležajnih kroglic  je zanimiv primer izdelave z nakrčevanjem.

Radialno širjenje izdelkov je možno tudi z nakrčevanjem v toplem stanju, s toplotnim preoblikovanjem, kjer (poln ali cevast) predmet segrejemo in v razžarjenem stanju v matrici dvosmerno nakrčimo.

Postopek (heatforming) spominja na izdelavo cevnih priključkov (hidroforming) .

5.2.2 Hladno iztiskavanje



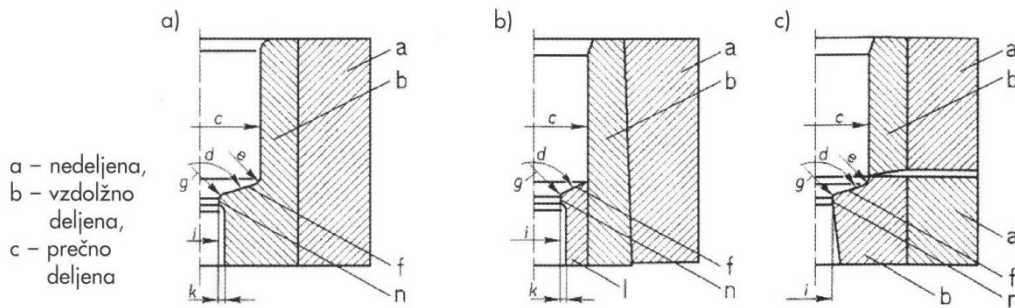
Slika 126: Hladno iztiskavanje
Vir: Kuzman, 2010, 301

To premočrtno preoblikovanje se izvaja v hladnem ali poltoplem stanju – blizu temperature rekristalizacije. Postopek je primeren za velike serije manjših osnosimetričnih izdelkov iz različnih kovin. Dobimo gladko površino in natančne mere. Dosegamo lahko tolerančni razred IT6 za premer. Orodja so močno tlačno obremenjena.

Surovce lomimo, režemo, žagamo, odrezano površino pa lahko pred iztiskavanjem tudi nakrčimo in s tem poravnamo. Za razbremenitev orodja je priporočeno žarjenje na mehko. Kot nosilni sloj za mazivo, ki bi ga sicer visoki tlaki med postopkom iztislili iz stičnih površin, izdelamo fosfatni sloj (navadna jekla) ali oksalatni sloj (nerjavna jekla). S tem preprečimo neposreden stik preoblikovanca in orodja. Primerna maziva so natrijeva ali

kalijeva mila, MoS_2 za višje tlake ali pa cinkov stearat za aluminij. Pri večjih potrebnih deformacijah je potrebno vmesno rekristalizacijsko žarjenje.

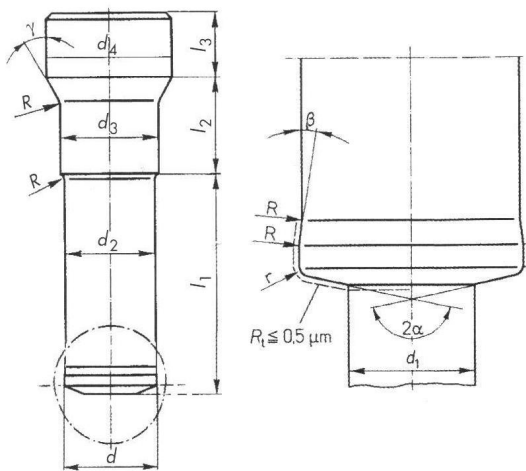
Pestič je močno tlačno obremenjen, matrica pa natezno, kar je neugodno. Konstruktivsko rešimo problem nateznih obremenitev matrice s prednapetimi nakršnimi obroči, za visoke tlake pa izdelamo deljive matrice.



Slika 127: Matrice za istosmerno iztiskavanje

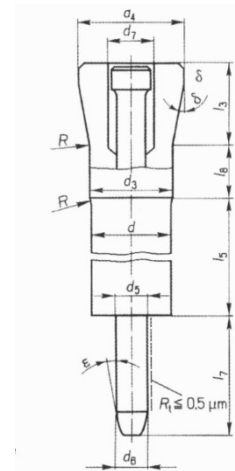
Vir: Kuzman, 2010, 309

- Pri istosmernem iztiskavanju s pestičem potiskamo polni ali votli surovec skozi votlo oblikovano matrico v isti smeri, kot pomikamo pestič. Zaradi narave postopka je potrebno izdelati plavajoči trn, ki se prilagodi gibanju preoblikovanca.
- Pri protismernem iztiskavanju material teče v smeri nasproti gibanju pestiča med pestičem in matrico. Zaradi narave postopka je potrebno izdelati vodenje orodja, zelo pomembno pa je tudi oblikovanje glave pestiča, ki je zelo izpostavljen obrabi, tudi pri snemanju izdelka.




Slika 128: Pestič za protismerno iztiskavanje

Vir: Kuzman, 2010, 309

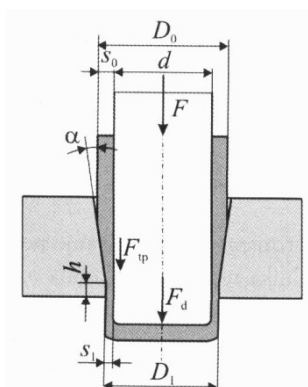


Slika 129: Pestič za istosmerno iztiskavanje

Vir: Kuzman, 2010, 308

Izdelava tube za kreme  je zanimiv primer tehnologije s protismernim iztiskavanjem.



5.2.3 Stanjševalni vlek






Slika 130: Stanjševalni vlek

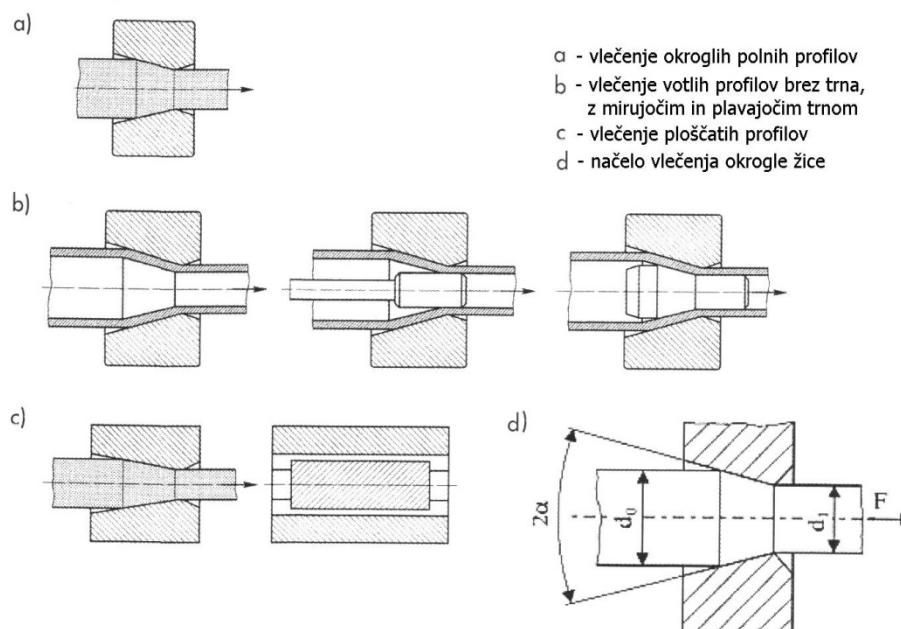
Vir: Kuzman, 2010, 310

Izdelkom okroglega prereza s tem postopkom stanjšamo steno. S tem postopkom lahko tudi poravnamo in poenotimo debelino stene po globokem vleku, ki je na robu izdelka odebeljena in dosegamo tolerance v razredih IT6–IT8. Potrebno je intenzivno in učinkovito mazanje, običajno pa tudi predhodno fosfatiranje.

Značilni izdelki so tulci za naboje, pločevinke, valji blažilnikov, posoda, cevi ,  ipd.

5.2.4 Vlečenje

Najznačilnejše je vlečenje žice in profilov, polnih in votlih , , . Po varjenju šivnih cevi običajno profil vlečemo skozi votlico, ki daje izdelku točno mero in obliko.



Slika 131: Vlečenje

Vir: Kuzman, 2010, 312

Surovce, običajno narejene s toplim preoblikovanjem, je potrebno pripraviti: lužiti, izpirati, sušiti, peskati in med postopkom ustrezno mazati. Z vlečenjem skozi vlečno matrico – votlico z enostavnim postopkom dosežemo mersko natančnost, izboljšamo mehanske lastnosti, kakovost površine in sposobnost odrezavanja. Izdelamo lahko zelo tanko žico (za žično

erozijo) pa tudi votle izdelke zahtevnih oblik. V enem prehodu ni mogoče narediti velikih deformacij, zato je potrebno več vlekov in tudi vmesno žarjenje.



Orodja – vlečne matrice so iz jekla ali karbidnih trdin. Vlečemo lahko jekla, bakrove in aluminijeve zlitine, pri tem pa je potrebno mazanje z mili, strojnim ali repičnim oljem.

Vlečna matrica je lahko enodelna ali sestavljena. Pri slednji je vložek – delovno telo iz karbidne trdine, okvir pa iz jekla.

Pri vlečenju v več zaporednih stopnjah je potrebno zagotoviti hitrosti vrtenja navijalnih bobnov tako, da sledijo raztezanju žice zaradi zmanjševanja preseka. Največje hitrosti dosegamo pri vlečenju aluminija in aluminijevih zlitin, celo do 25 m/s.




Pogosto vlečene izdelke uporabimo kot polizdelke, npr. za izdelavo zlate verižice, pri čemer za izdelavo le-te uporabljamo vlečenje in pletenje .

5.2.5 Valjanje


Valjanje ,  je postopek, pri katerem med valji spreminjamo razporeditev materiala tako, da dobimo bodisi ploščato bodisi profilno obliko; to je odvisno od profila valjev. Z valjanjem v vročem ali hladnem izdelujemo najbolj množične, polne ali votle polizdelke (pločevino, profile, cevi); dodelujemo izdelke (valjanje navojev, utornih gredi, ozobja); izboljšujemo stanja površin (zmanjšamo hrapavost v notranjosti cevi za hidravlične cilindre); povečujemo dinamično trdnost, utrdimo površino.

Valjanje je lahko vzdolžno, prečno ali poševno. Material se krči v smeri debeline in se razteguje v smeri dolžine. Deformacija pri pločevini, ki ima širino veliko večjo od debeline, je majhna.

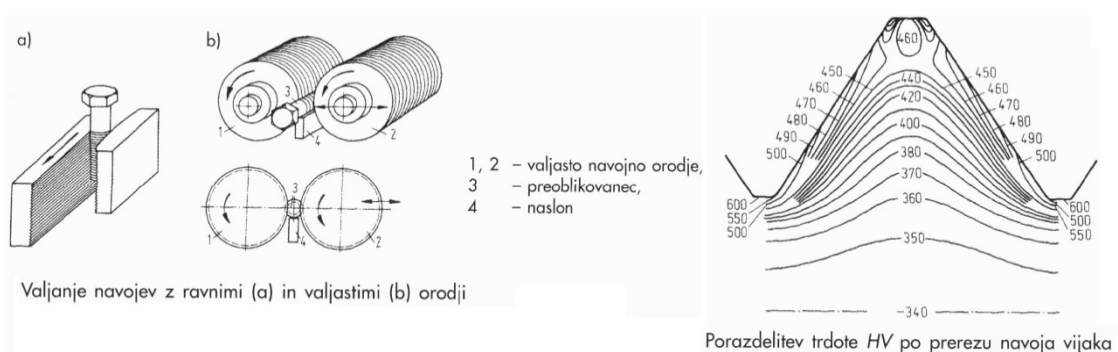
Poznamo več podzvrsti valjanja:

- a) Valjanje pločevine in drugih izdelkov, kjer je dolžina nesorazmerno večja od dimenzij preseka , , .

Pri **valjanju** je pomembno zagotoviti dovolj veliko trenje med valji in materialom, ki zagotavlja vlek med valji. Torni koeficient je odvisen od hrapavosti ter materiala valjev in valjanca, temperature in hitrosti valjanja. Zmanjšuje se z večanjem hitrosti in temperature valjanja.

- b) Izdelava vijakov z nakrčevanjem glave in valjanjem navojev .

Z **valjanjem navojev** (v hladnem) dosežemo kvalitetno površino z majhno hrapavostjo, natančne mere in oblike, neprekinjena vlakna in utrjen navoj, kar poveča nosilnost vijaka.

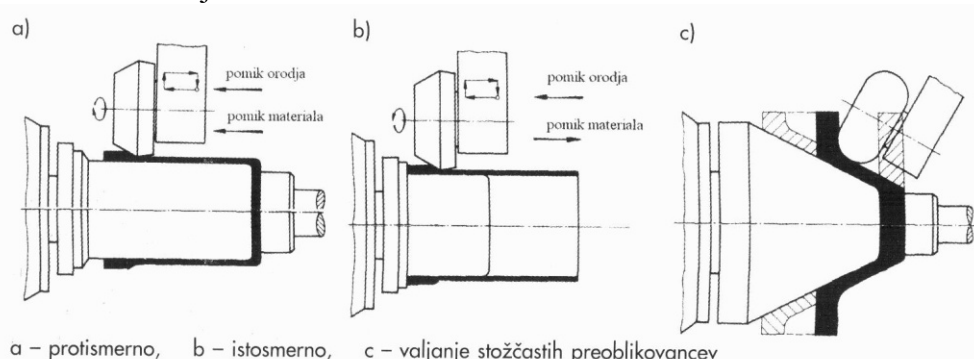


Slika 132: Valjanje navojev

Vir: Kuzman, 2010, 312

- c) Potisno valjanje; izdelava aluminijaste posode »litih« kolesnih obročev in podobnih izdelkov.

Lokalno preoblikovanje na rotacijskem stroju s **potisnim valjanjem** omogoča izdelavo rotacijskih teles ob modelu. Pri tem poleg oblike spremenimo tudi debelino stene. Surovci so lahko ploščate rondele, votle cevi, polizdelki, narejeni z globokim vlekrom ali odrezavanjem.



Slika 133: Potisno valjanje

Vir: Kuzman, 2010, 320

- d) Kombinirano preoblikovanje s kovanjem ali nakrčevanjem in valjanjem; npr. izdelava koles tirničnih vozil.

V tem primeru s **prečnim valjanjem** dosežemo ustrezne merske in oblikovne značilnosti izdelka, z **gladilnim valjanjem** pa še dobro dinamično nosilnost in majhen koeficient trenja, ko izboljšamo kakovost površine, mersko natančnost in mehanske lastnosti. Najmanjša hrapavost, ki jo lahko dosežemo, je $R_{maks} = 0,1$ do $0,2 \mu m$. Zaradi visokih tlakov se material pod površino tudi utrdi, poveča se odpornost proti zareznemu učinku in zviša dinamična trdnost. Postopke uporabljajo tudi pri izdelavi ležajnih obročev.

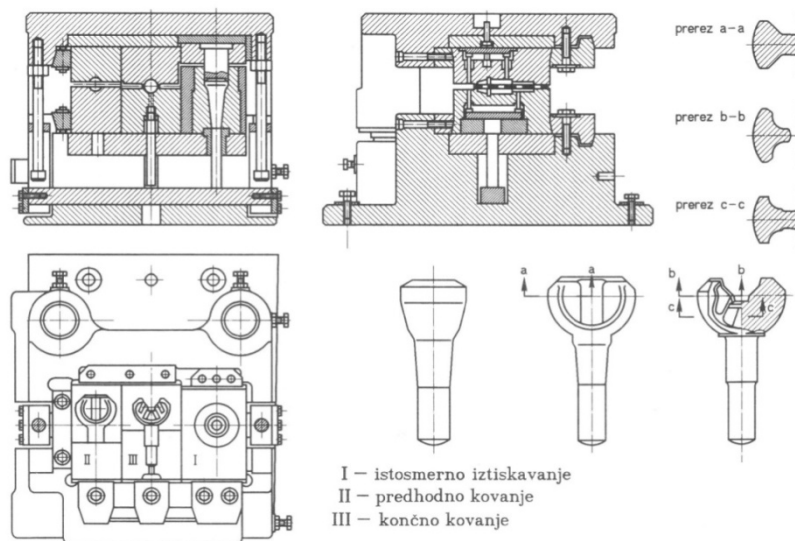
5.2.6 Kovanje, gravirno kovanje, hladno vtiskanje gravur in kalibriranje

Kakovostne strojne dele kompliciranih oblik, z velikimi spremembami prerezov, v velikih serijah in z velikimi zahtevami glede dinamične trdnosti je smiselno izdelovati s kovanjem. Pogosto sledi še odrezavanje, ki da izdelku končno obliko in mere.

Kovanje pri temperaturah nad mejo rekristalizacije zmanjša obremenitve med kovanjem, omogoča pa tudi večje deformacije.

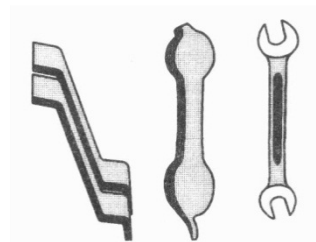
Primer kovanih izdelkov so motorne gredi, ojnice, homokinetični zglobovi, kardanski elementi, ročno orodje idr. Pri teh je s kovanjem valjanega polizdelka dosežen tudi ugoden potek vlaken, kar daje izdelku izrazite dinamične trdnostne lastnosti.

- Prosto kovanje je namenjeno za individualno proizvodnjo ter za izdelavo zelo velikih izkrovkov. Pogosto je potrebno vmesno dogrevanje, traja zelo dolgo, dosežena merska natančnost je majhna, zato sledi še druga mehanska obdelava.
- Utopno kovanje daje natančnejšo obliko, smiselno je za izdelke do nekaj deset kg in v velikih serijah. Zaradi ohlajanja po kovanju je potrebno izdelati gravuro z nadmero. Pri utopnem kovanju okrog izkovka dobimo brado, ki jo je potrebno obsekati. Utopno kovanje je običajno večstopenjsko. Pri izkovkih z neuravnoteženo porazdelitvijo materiala je potrebno z nakrčevanjem ali iztiskavanjem razporediti material na prava mesta, da bo v gravuri možna dokončna razporeditev in oblikovanje končne oblike. Brada po obodu izkovka kot posledica viška materiala zagotavlja, da smo zapolnili celotno gravuro in da so znotraj gravure napetosti izenačene.




Slika 134: Kovanje na kovaški stiskalnici
Vir: Muren, 1998, 205

Pri ploščatih izdelkih je potrebno zagotoviti pravilno obliko surovcev, saj v utopu ni možno poljubno prerazporejati materiala v vseh smereh. Če razporeditev vlaken ni posebej zahtevana, lahko surovce ustreznih oblik tudi nasekamo, kasneje pa z najmanjšim potrebnim številom udarcev dosežemo končno obliko. Na ta način je poraba materiala optimalna.



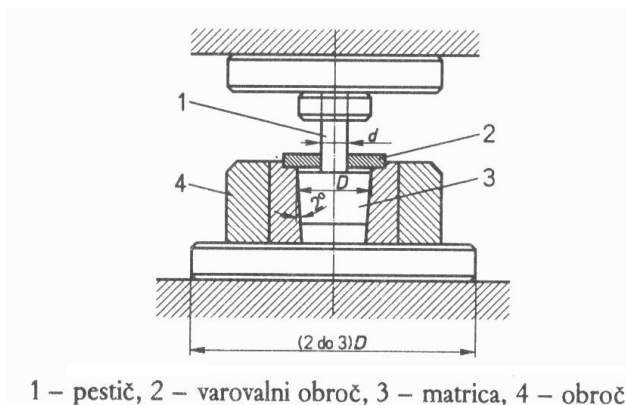
Slika 135: Kovanje iz posebno narezanega surovca
Vir: Muren, 1998, 207

Po končanem utopnem kovanju obrežemo brado ter prebijemo luknje. Poseben postopek (utopnega kovanja) pa je **kovaško valjanje**, pri katerem je gravura utopa izdelana na obodih dveh valjev v paru. Z valjanjem se surovec samo tanjša, zato mora biti presek vhodne palice enak največjemu prerezu na izhodu. Omogoča rentabilno izdelavo v velikih serijah in zagotavlja veliko produktivnost. S kovaškim valjanjem lahko oblikujemo le del izdelka, preostali del pa izdelamo z utopnim kovanjem. S tem povečamo storilnost in poenostavimo postopek utopnega kovanja.

- c) Gravirno kovanje je namenjeno izdelavi kovancev , jedilnega pribora, napisnih tablic in različnih ploščatih izdelkov.

Pri tem postopku so orodja močno obremenjena. Če material pravilno doziramo, lahko delamo z zaprtimi gravurami, sicer pa delamo s polzaprtimi gravurami in kasneje brado obrežemo.

Tudi pri hladnem vtiskavanju gravur se prenaša negativ pestiča na surovec, le da je ta postopek uporaben predvsem za oblikovanje gravure v matrico, ko potrebujemo veliko število enakih matric (npr. orodij za vlečenje). Zaradi nevarnosti spremembe oblike matrice med toplotno obdelavo, običajno na ta način izdelujemo le matrice oziroma gravure v orodjih, ki jih kasneje toplotno več ne obdelujemo.



1 – pestič, 2 – varovalni obroč, 3 – matrica, 4 – obroč


Slika 136: Hladno vtiskavanje gravur

Vir: Muren, 1998, 234

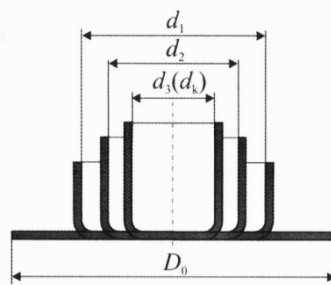
- d) Kalibriranje uporabljamo za naknadno obdelavo izkovkov, ki jim je potrebno zagotoviti večjo mersko natančnost. Take izkovke med prvotnim utopnim kovanjem izdelamo z določeno nadmero.

Običajno kalibriramo v odprtih utopih. Zaradi elastičnih deformacij je potrebno uporabiti rahlo konveksno orodje, ki pa ga lahko natančno določimo le s poskusi.

5.2.7 Globoki vlek in sorodni postopki

Globoki vlek  je eden najpomembnejših postopkov preoblikovanja pločevine, s katerim iz kovinske plošče, okrogle – (rondele) ali poljubne oblike (platine), izdelamo votlo telo z dnom. Najznačilnejši izdelek je kuhinjski lonec, verjetno pa so najpogostejši avtomobilski karoserijski deli.

Zaradi velikih nateznih napetosti v steni vlečenca je največja dopustna deformacija v enem vleku omejena z največjim vlečnim razmerjem β , ki je za prvi vlek $\beta_1 = D_0/d_1$ in predstavlja razmerje premerov med vhodno in izhodno obliko materiala.

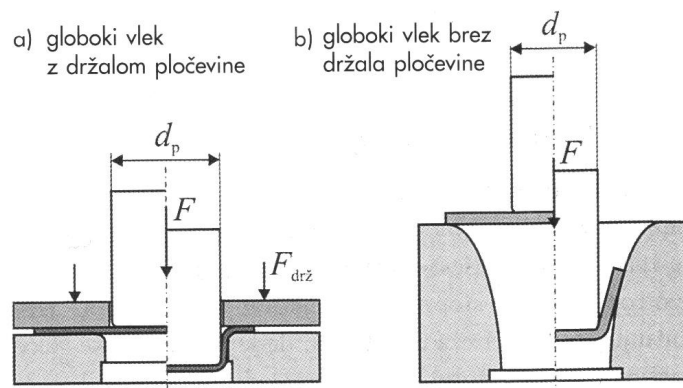


Slika 137: Načelo globokega vleka

Vir: Kuzman, 2010, 322

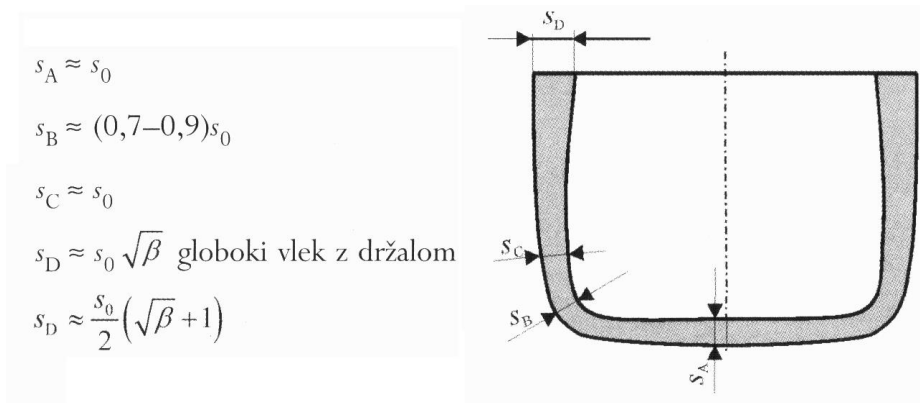
Običajno vlečemo valjaste izdelke s togim pestičem, stožčaste in bolj zahtevne izdelke pa s posrednim medijem, lahko elastomerom (z gumo ali vulkolanom plitke izdelke), s tekočino, magnetno, električno ali celo oblikujemo pločevino s pomočjo eksploziva.

V vencu surovca nastajajo radialne natezne in obodno tlačne napetosti, ki lahko privedejo do uklona in gubanja pločevine. Temu se lahko izognemo s pločevinskim držalom. Pri debelejših pločevinah togost same pločevine običajno preprečuje gubanje.



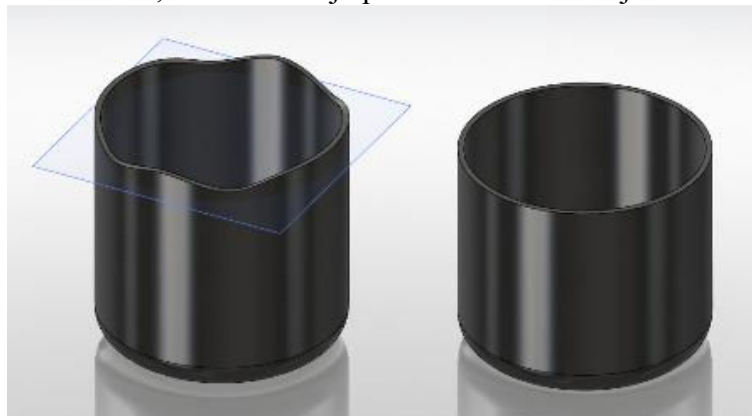
Slika 138: Globoki vlek s pestičem
Vir: Kuzman, 2010, 321

Po vlečenju ima izdelek na sredini dna približno enako debelino kot surovec, na vogalu in steni je tanjši, na vrhu, ob robu, pa je stena odebeljena. Praviloma govorimo o tem, da se pri globokem vleku debelina stene ne spreminja, zato je ob upoštevanju nespremenjene debeline stene osnova izračun velikosti surovca enakost površin pločevine pred globokim vlekom in površine izdelka.



Slika 139: Debelina stene po višini
Vir: Kuzman, 2010, 326

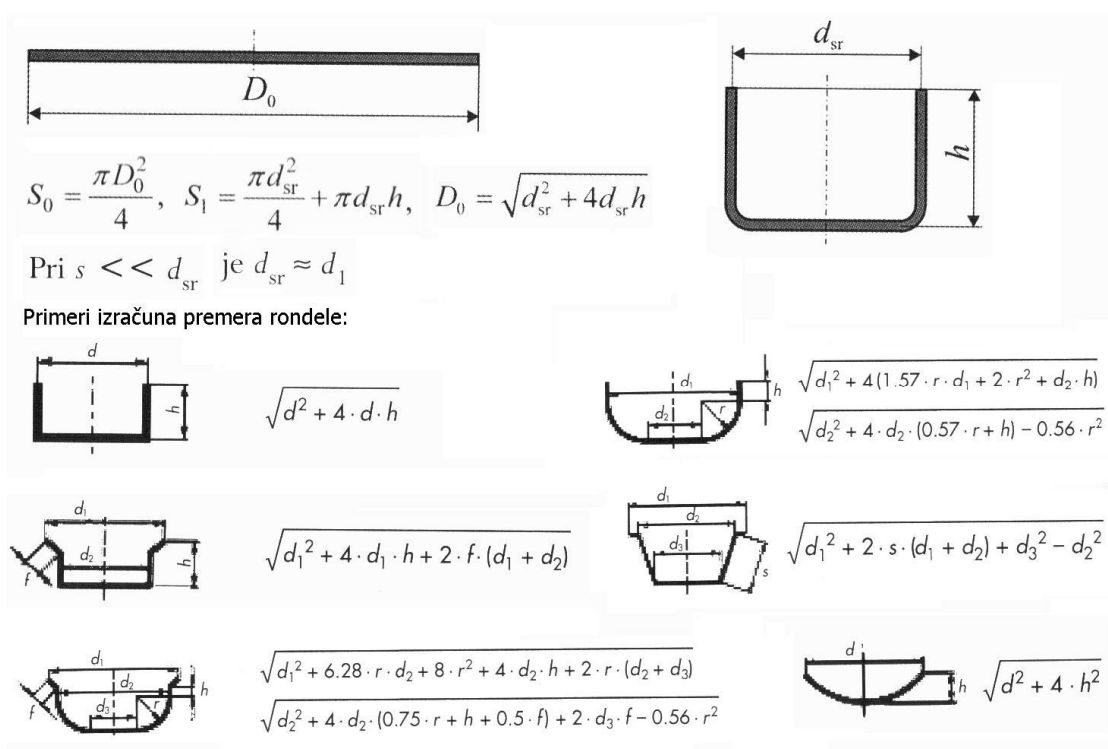
Pri določitvi oblike je potrebno upoštevati tudi ravninsko anizotropijo pločevine. Posledica le-te je nastanek ušes na izdelku, zaradi česar je potrebno izvleči večji lonček in ga obrezati.



Slika 140: Lonček z ušesi – pred obrezom in brez ušes

Če je za okrogle in osno simetrične izdelke možno določiti obliko in velikost rončele z uporabo enostavnih formul, pa je za nerotacijske oblike potrebno konfiguracijo telesa razdeliti na ravne ploskve in dele valjastih teles ter iz tega določiti velikost platine. Izhodišče je enakost volumnov pločevine pred in po globokem vleku. Upoštevati moramo še dodatke za

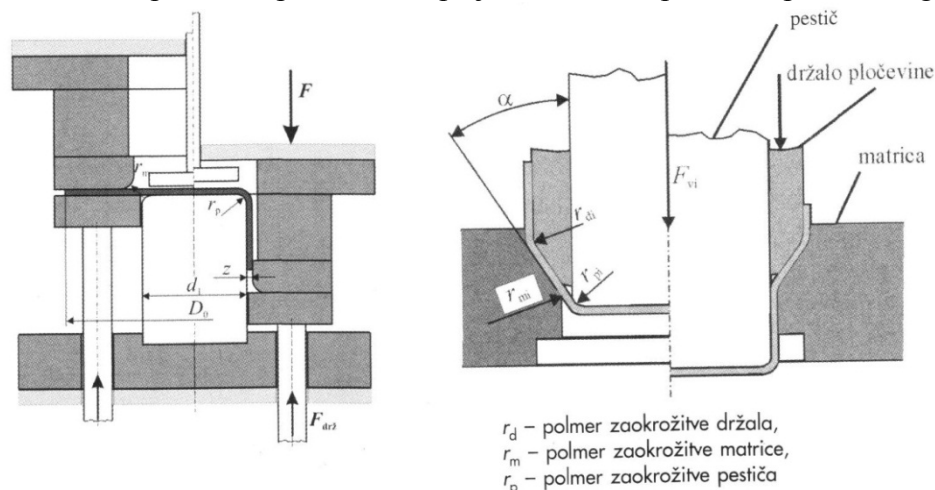
pločevinsko držalo in obrez, kar lahko privede do le 50 % izkoristka materiala, npr. pri nekaterih karoserijskih delih.



Slika 141: Določanje velikosti rondev
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 324–326

Z globokim vlekem z držalom pločevine običajno izdelujemo izdelke iz tanke pločevine. Uporaba pločevinskega držala zmanjša tudi vlečno silo in porabo energije. Upoštevati moramo omejitve pri določanju velikosti sile ter izvesti ustrezno konstrukcijsko rešitev na orodju. Optimalno bi bilo, če bi silo držala lahko med vlekem spreminjali, kar pa ni enostavno.

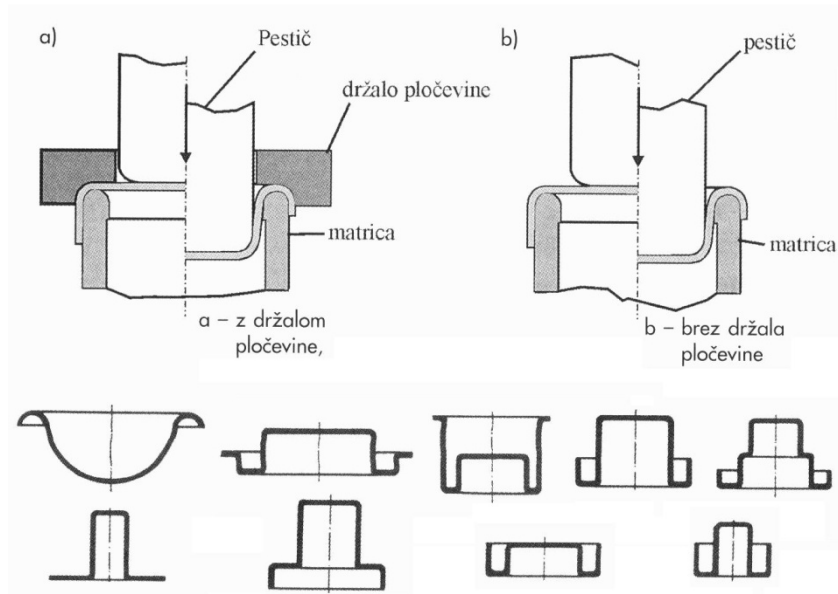
Držalo je lahko ravna plošča za prvi vlek ali pa je oblikovano po obliki predhodnega vleka.



Slika 142: Oblike pločevinskih držal
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 329, 331

Globoki vlek brez pločevinskega držala je možen pri razmerju med premerom pestiča in debelino pločevine med 30 in 80. Ta način omogoča višja vlečna razmerja (do 2,8 ali celo več), uporabo enostavnih orodij in strojev, preoblikovalna sila in energija pa sta manjši.

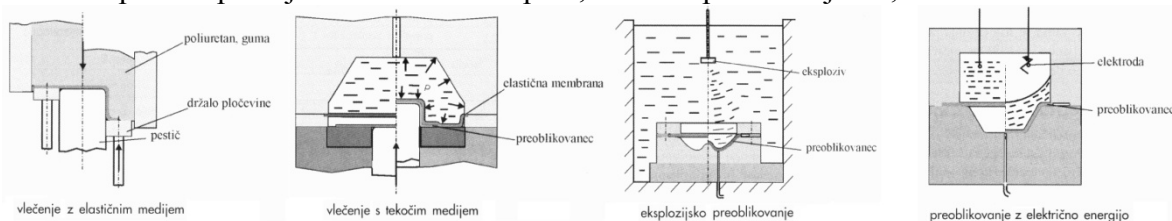
V določenih primerih je smiselno uporabiti obrnjeni vlek, pri katerem se material temeljito pregnete. Uporaben je za izdelke s prirobnico, zelo visoke, konične, polkrožne ali cilindrične izdelke.



Slika 143: Obrnjeni vlek
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 334

Manj pogosti načini globokega vlečenja so:

- vlečenje z elastičnim medijem za plitke izdelke v manjših serijah
- hidroforming ali vlečenje s fluidom za globoke izdelke, zlasti kompliciranih oblik - stožčaste, parabolične ali zavate gravurne oblike
- eksplozijsko preoblikovanje, ki izkorišča energijo eksplozijskega udara, s katerim lahko preoblikujemo tudi materiale z visoko trdnostjo, ki jih z običajnimi postopki ne moremo; poteka le na prostem;
- oblikovanje s podvodnim razelektrenjem kondenzatorja, ki povzroči uparitev vode in hipno ekspanzijo ter visoke tlake pare, s katero preoblikujemo;



Slika 144: Posebni postopki globokega vlečenja
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 338–339


- Oblikovanje po ravninah ali inkrementalno preoblikovanje pločevine

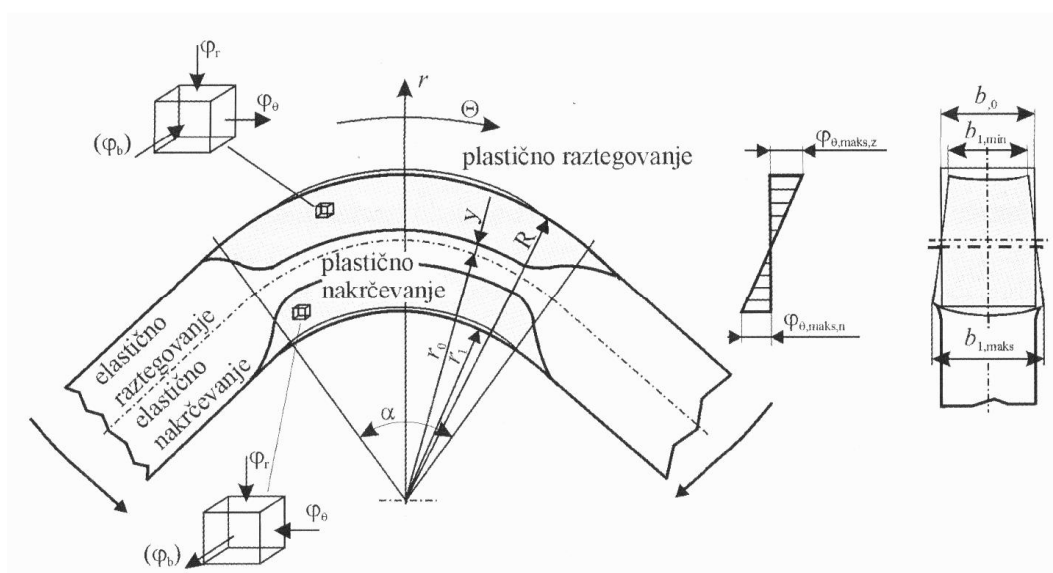
5.2.8 Upogibanje in oblikovanje z orodji s krožnim tekom

Upogibanje je značilen postopek preoblikovanja pločevine in profilov (tudi cevi), pri katerem spremenimo smer osi izdelka z natezno-tlačnimi obremenitvami: na eni strani stene ali plašča izdelka se pojavijo natezne, na drugi pa tlačne

napetosti in posledično deformacije. Del teh je elastične narave, del pa plastične. V zunanjih vlaknih moramo doseči obremenitev, ki je večja od meje plastičnosti. Elastične napetosti in deformacije povzročijo določen delež vračanja materiala proti prvotni legi, zato pa moramo pri ustvarjanju deformacije izvesti nekoliko večji premik materiala, da po relaksaciji dosežemo predviden učinek.

Upogibanje, npr. pri izdelavi »kovanih« elementov, kombiniramo tudi z drugimi postopki

(npr. zvijanjem) .



Slika 145: Deformacije pri upogibanju

Vir: Kuzman, 2010, 341

Pri upogibanju se na natezni strani profil zoži, na tlačni pa razširi. V višini nevtralnega vlakna se material ne deformira niti vzdolžno niti prečno. Pri izrazito tankih upogibancih upoštevamo le ravninsko deformacijo in zanemarjamo širjenje na tlačni strani in ožjenje na natezni. Pri preveliki deformaciji se na natezni strani pojavijo razpoke.

V materialu ostanejo po upogibanju zaostale notranje napetosti, ki jih lahko odpravimo z žarjenjem.

Z upogibanjem lahko izdelujemo unikatne izdelke, lahko pa ga uporabljamo tudi v množinski proizvodnji, kjer uporabljamo specialna orodja.

Upogibamo z orodji s premočrtnim ali krožnim gibanjem, običajno v hladnem stanju. Izjema so upogibanci z velikimi prerezi, ki jih je smiselno segrevati.

Merilo za preoblikovalnost je najmanjši upogibni polmer $r_{l, min}$, kot upogibanja α ali upogibni faktor c_u , s katerim izračunamo najmanjši upogibni polmer $r_{l, min} = c_u * S_0$.

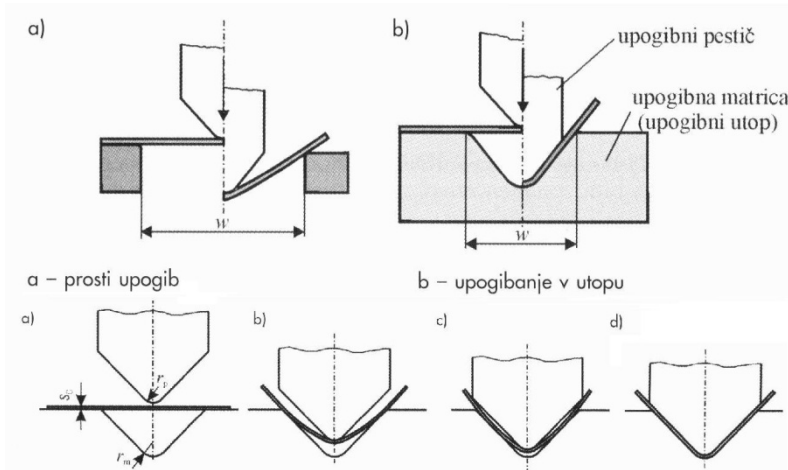
Upogibni faktor je odvisen od materiala in smeri valjanja – v smeri valjanja je preoblikovalnost večja.

Material	Upogibni faktor c_u
S205GT	1,5
S235JRG1	1,8
S275JR	2,0
C8C	0,5
CuZn60	0,4
Ms63	0,4

Slika 146: Upogibni faktor za nekatere materiale

Vir: Kuzman, 2010, 343

Upogibanje pločevine je lahko prosto, med dvema podporama, lahko pa v utopu (matrici, »prizmi«). Tudi v utopu je začetno upogibanje v načelu prosto upogibanje, pri katerem je upogibni polmer odvisen le od materialnih lastnosti – utrjevanja materiala, debeline pločevine S_0 in razdalje med podporama w , šele proti koncu pride do kalibriranja v utopu. To poteka pri višjih obremenitvah, kar zagotovi zravnanje stranic, zmanjšanje upogibnega radija in minimalno relaksacijo – sprostitvev elastičnih deformacij in vračanje proti izhodiščni legi.

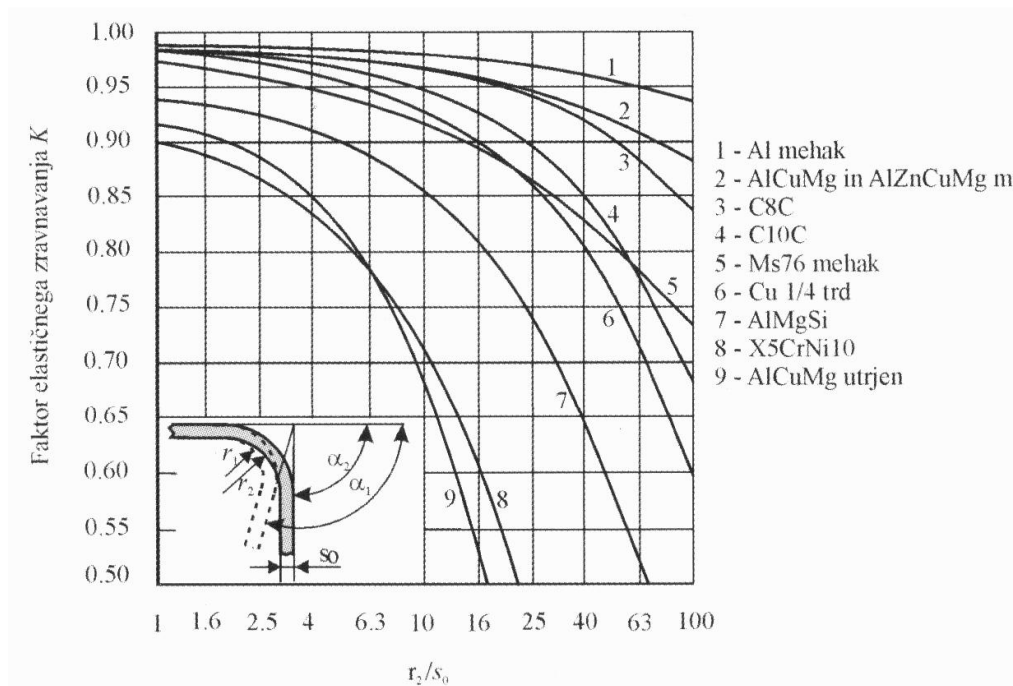


Slika 147: Upogibni faktor za nekatere materiale

Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 344

Kot elastičnega zravnanja $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$, pri čemer je α_1 kot upogibanja (orodja), α_2 pa kot upogibanca po razbremenitvi, izračunamo s pomočjo faktorja elastičnega zravnanja K , ki je enak razmerju kotov α_1 in α_2 .

Orientacijske vrednosti za K , ki je odvisen od razmerja radija upogibanja in debeline pločevine, dobimo v diagramu:



Slika 148: Faktor elastičnega zravnanja

Vir: Kuzman, 2010, 345

Drugi izziv pri upogibanju je določanje razvite dolžine surovca. Načeloma je to seštevek vseh odsekov dolžin po konturi, kjer za ravne odseke upoštevamo njihovo dejansko dolžino, v zakrivljenem delu pa upoštevamo dolžino nevtralnega vlakna.

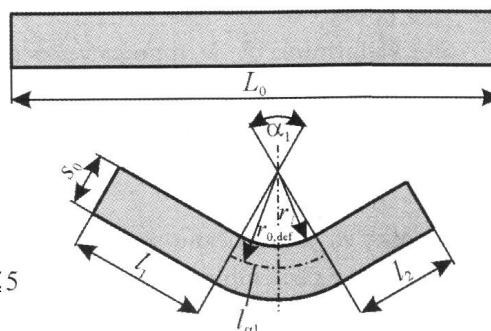
$$L_0 = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{aj=1}^m l_{aj}$$

$$r_{0,def} = r_1 + \frac{s_0}{2} k$$

pri tem je korekcijski faktor k :

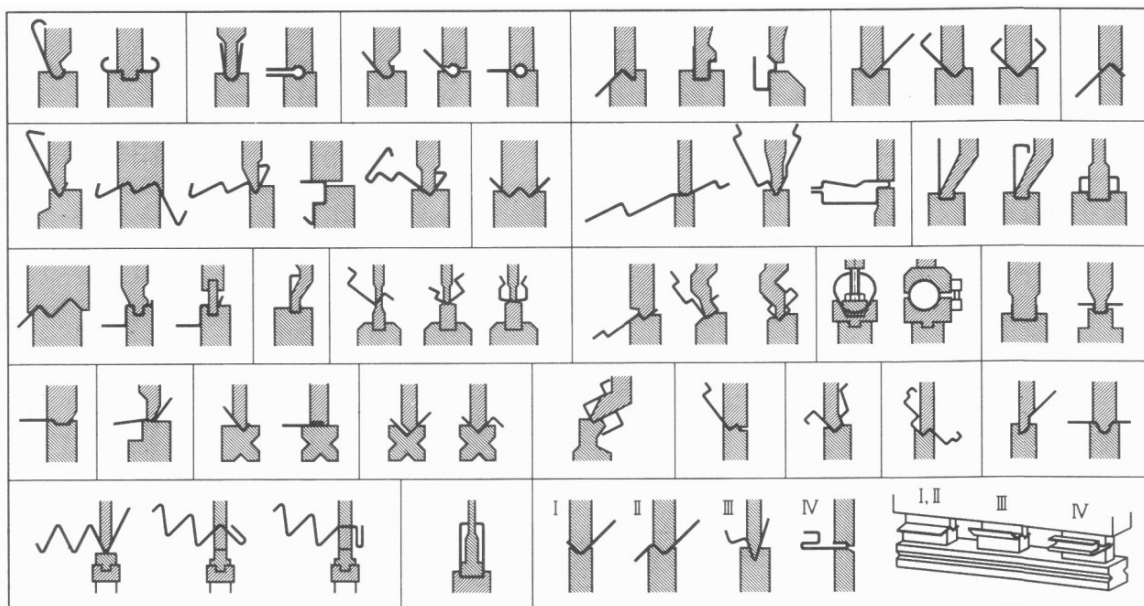
$$k = 0,65 + \frac{1}{2} \log \frac{r_1}{s_0} \quad \text{pri } r_1/s_0 \leq 5$$

$$k = 1 \quad \text{pri } r_1/s_0 > 5$$



Slika 149: Izračun razvite dolžine
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 345–346

Pestro izbiro možnih načinov upogibanja prikazuje naslednja slika:



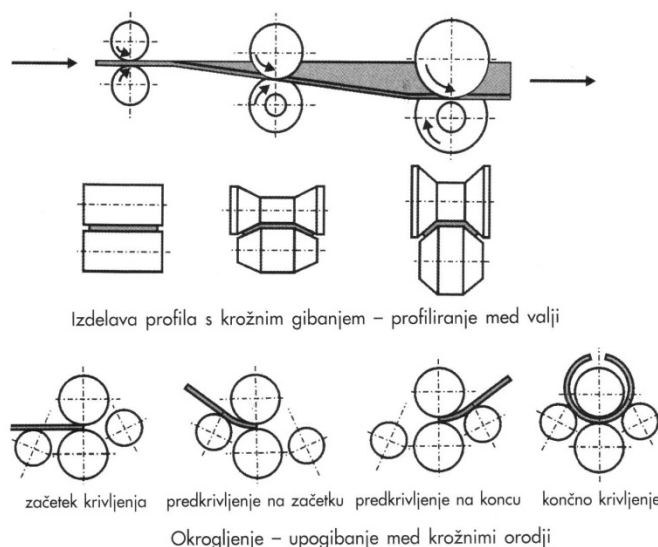
Slika 150: Oblike hladnega upogibanja profilov

Vir: Muren, 1998, 255

Upogibanje z orodji z rotacijskim gibanjem je namenjeno izdelavi ravnih ali ukrivljenih profilov iz formatiranega ali neskončnega traku.


S tem postopkom izdelujejo v kombinaciji z varjenjem šivne pohištvne profile in cevi. Izdelovati je možno tudi polzaprte ali odprte profile, kot so profili za kovinske vratne podboje, tekalne profile za drsna vrata ter gibke cevi iz traku.

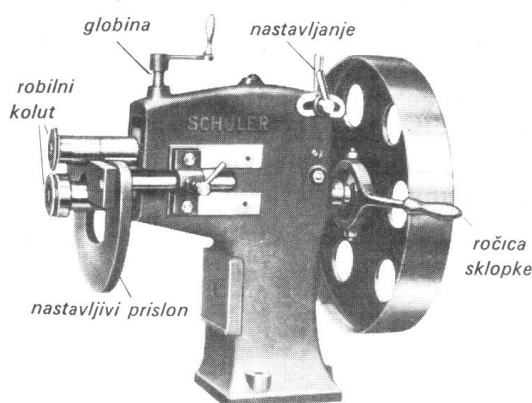
Upogibanje na valjih (»rolanje« ali okroglenje pločevine) je uporabno za izdelavo cevastih izdelkov velikih premerov.



Slika 151: Upogibanje z orodji z rotacijskim gibanjem

Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 347

Z žlebljenjem  in robljenjem oblikujemo tudi zaključke pločevinastih izdelkov za krovsko kleparska dela. Pri tem uporabljamo stroj z rotacijskimi orodji, kot ga kaže Slika 152.




Slika 152: Stroj za žlebljenje pločevine

Vir: Jereb, 1981, 76

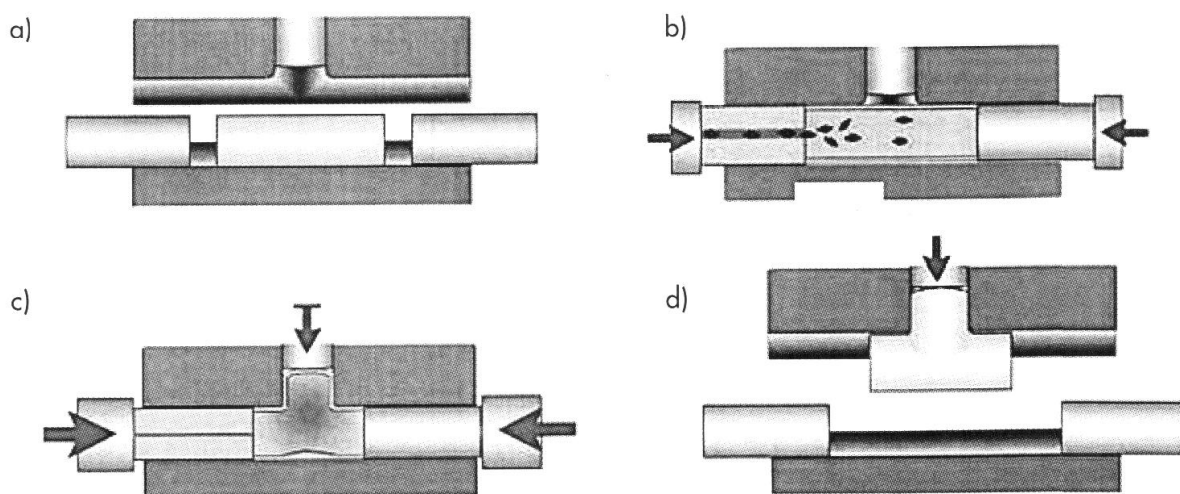
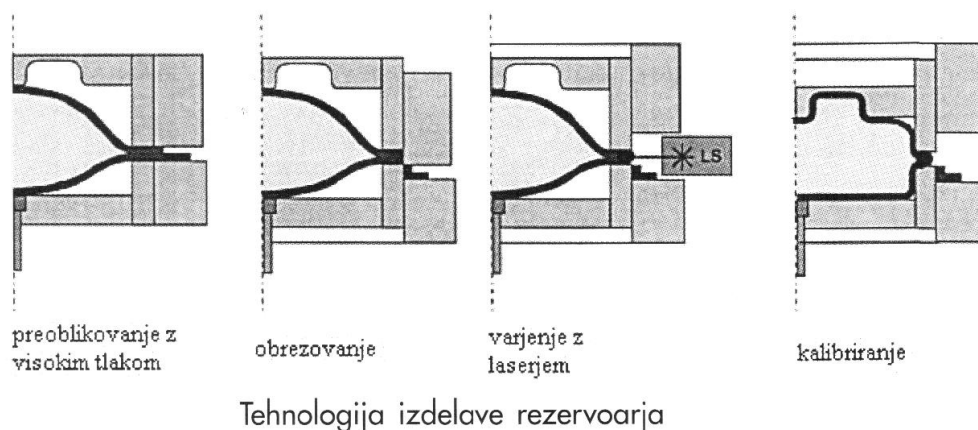
5.2.9 Preoblikovanje z visokimi tlaki

V to kategorijo spadajo postopki, s katerimi s pomočjo medija pod visokim tlakom preoblikujemo material ploščate ali cevaste oblike. Končni izdelki so lahki, pa kljub temu natančni in dosegajo visoko trdnost.

Že pri globokem vleku omenjeni *hidroforming* je postopek, pri katerem uporabljamo visok tlak hidravličnega medija. Oblikovanje rezervoarjev za gorivo in podobnih oblik posod ter cevnih odcepov za razne instalacije (fitingi) , izpušnih cevi nosilcev, ojačitev delov obes pri kolesu in podobnih izdelkov v avtomobilski, motociklistični in kolesarki branži so že uveljavljeni, razvija pa se tudi postopek za postopno oblikovanje s preoblikovanjem z vodnim curkom.

V materialu pride do tečenja materiala, krčenja in/ali globokega vlečenja ter do raztezanja s tanjšanjem stene. Izogibati se je potrebno ostrim radialnim prehodom, zagotovljeno pa mora biti dobro mazanje, da se delež tanjšanja zmanjša.

Pri izdelavi pločevinastega rezervoarja je v tehnološki postopek vključenih več operacij: preoblikovanje pločevine, obrez, varjenje in kalibriranje.

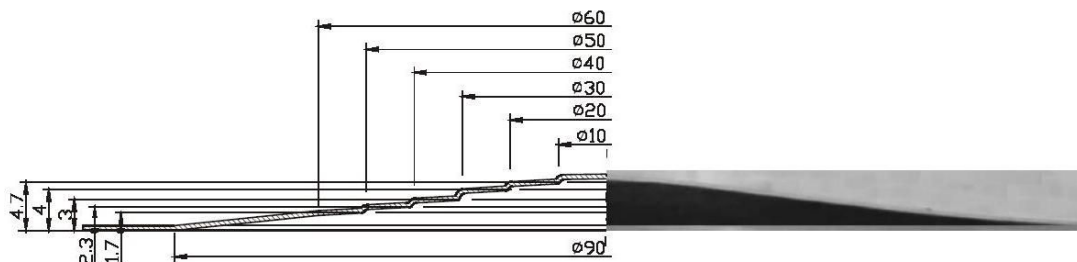
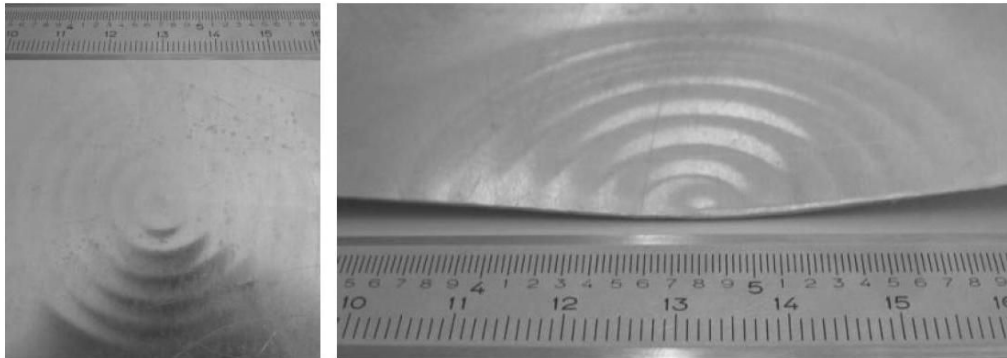
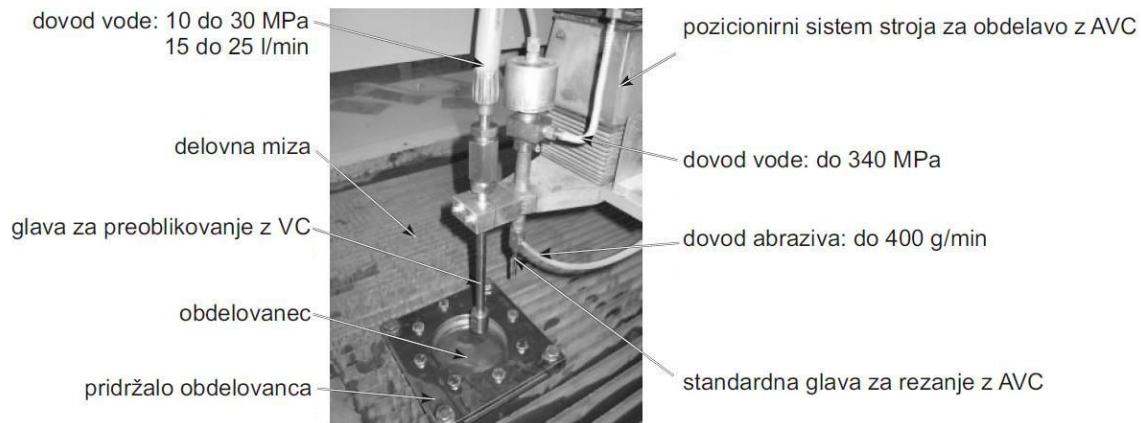


Načelo preoblikovanja cevastih surovcev z visokimi tlaki medija

Slika 153: Preoblikovanje z visokimi tlaki

Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 349


Oblikovanje unikatnih izdelkov, prototipov in replik iz pločevine je možno na več načinov. Postopki z uporabo orodij z negativom izdelka so zelo dragi, zato razvijajo tudi postopke z vodnim curkom (na že znanem rezalniku z vodnim curkom), kjer z ustrežno obliko šobe in prilagoditvijo parametrov dosežemo preoblikovanje namesto rezanja. Podobno je postopkom, opisanih v poglavju o globokem vleku – *Oblikovanje po ravninah ali inkrementalno preoblikovanje pločevine*.



Slika 154: Princip postopnega preoblikovanja z vodnim curkom

Vir: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/WJISMF/Publications/SV2004.pdf/> (4. 2. 2011)


Drugi postopki širjenja cevi

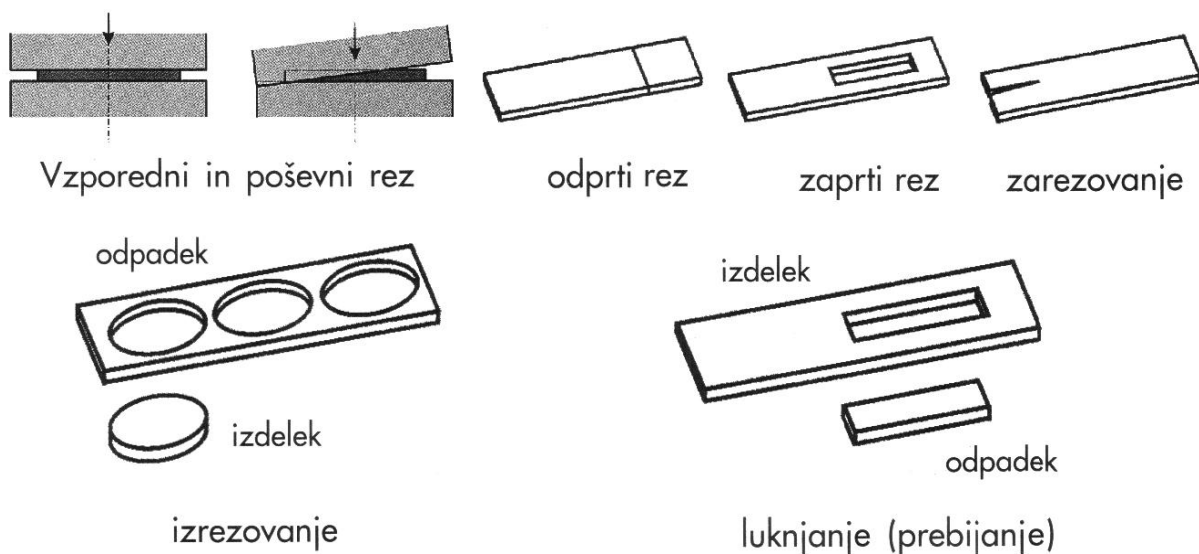
Cevi in tankostenske profile lahko razširjamo tudi mehansko . Namesto hidravličnega medija uporabimo oblikovne elemente, s katerimi razširjamo cev na določenem mestu. Postopek je procesno zelo specifičen, zato ne moremo govoriti niti o globokem vleku niti o nakrčevanju niti o upogibanju. Po karakteristikah je najbližje preoblikovanju z visokimi tlaki, le da imamo namesto medija oblikovni element, ki točkovno preoblikuje po programsko določeni poti.

5.3 LOČEVANJE ALI REZANJE – STRIŽNO PREOBLIKOVANJE

Eden izmed najpogostejših postopkov predelave pločevine in profilov je rezanje. Pogosta je kombinacija s preoblikovanjem, zlasti v večstopenjskih orodnih sestavih – postopno preoblikovanje, kjer predelujemo samonosni pločevinasti trak z avtomatsko izdelovalno tehnologijo.

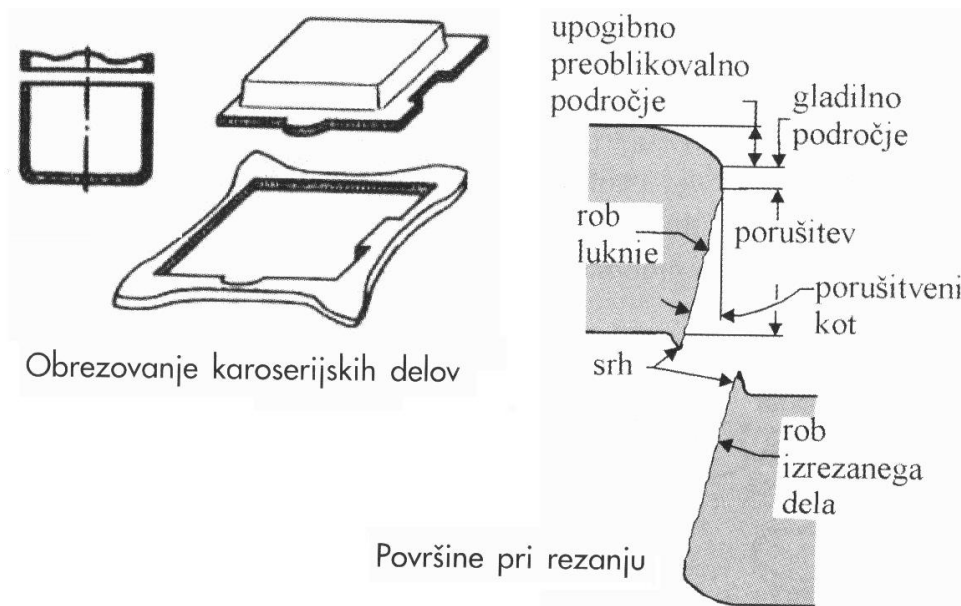
Režemo na stiskalnicah in škarjah z ustreznimi orodji. Gibanje je lahko premočrtno ali krožno, s poševnim ali vzporednim približevanjem orodnih robov.

Rez je lahko odprt ali zaprt (prebijanje ). Pri odprtem nastopajo poleg rezalnih še odrivne sile, rezalne pa so manjše, ker je območje rezanja razporejeno na daljši hod pehala. Pri zarezovanju odrežemo do določene točke in rez prekinemo.



Slika 155: Osnovni pojmi rezanja
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 351

Kakovost izdelave ni enakovredna tisti pri odrezavanju (vrtanju, frezanju, ...), zato pa je produktivnost veliko večja. Rob prebite luknje je delno gladek in delno raztrgan, deloma stožčaste oblike in ni geometrijsko enak obliki rezalnega/prebijalnega orodja.

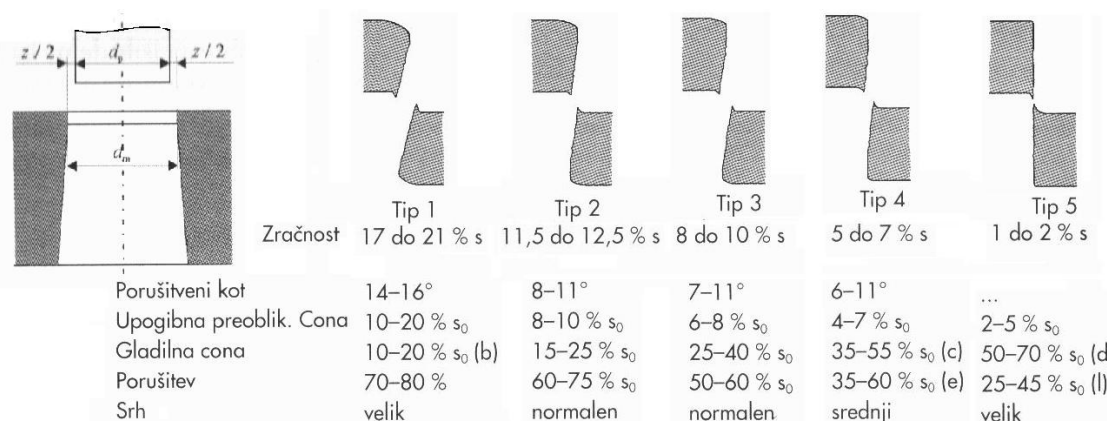


Slika 156: Oblike in površine pri rezanju
Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 352

Višina upogibne plastične deformacije, ki jo opazimo kot vtisk na robu površine, je večja pri debelejših in mehkejših materialih. Natančnost rezanja je v tolerančnem območju od IT8 do IT11. Dimenzije izrezanega dela so približno enake pestiču oziroma matrici, zračnost med tema dvema rezalnima elementoma pa pogojuje obliko odrezane površine. Oblika se spreminja z debelino materiala ter duktilnostjo.

Izbrana zračnost mora biti primerna obema zahtevama:

- **tip 1** je primeren za nezahtevne izdelke,
- **tip 2** omogoča dolgo življenjsko dobo orodja,
- **tip 3** daje najmanjše zaostale plastične napetosti, zato je primeren za rezanje delov, ki bodo naknadno plastično preoblikovani,
- **tip 4** primeren je za rezanje zahtevnejših delov z zahtevo po ravnem robu, za manjše serije; značilna je krajša življenjska doba orodja,
- **tip 5** primeren za najbolj ravno odrezan rob, za rezanje mehkih materialov; zelo kratka življenjska doba orodja.



Slika 157: Vpliv reže na obliko odrezane površine

Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 353

Pri določanju zračnosti z upoštevanjem trdnosti in vplivnih parametrov zračnost izračunamo po enačbi, ali pa uporabimo tabele v odvisnosti od trdnosti materiala:

če je $s \leq 3$ mm,

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,08R_m}$$

če je $s > 3$ mm,

$$z = (1,5cs - 0,015) \sqrt{0,08R_m}$$

Koeficient c za določanje reže pri izrezovanju:

Pogoji	c
gladka rezalna ploskev	
$R_m \leq 500$ MPa	0,005
$R_m > 500$ MPa	$\geq 0,01$
orodje iz karbidne trdine	0,015–0,018
minimalna sila in energija	($\leq 0,035$)
avstenitna jekla	0,010

Priporočene relativne rezilne reže z/s

Debelina s [mm]	Natezna trdnost R_m [MPa]			
	< 250	250–400	400–600	> 600
Neodvisno od debeline	0,03	0,04	0,05	0,06
< 1	0,025	0,025	0,03	0,035
1–2	0,03	0,03	0,035	0,04
2–3	0,035	0,035	0,04	0,045
3–5	0,04	0,04	0,045	0,05
5–7	0,045	0,045	0,05	0,055
7–10	0,05	0,05	0,055	0,06

Slika 158: Določanje zračnosti pri rezanju

Vir: Prirejeno po: Kuzman, 2010, 354

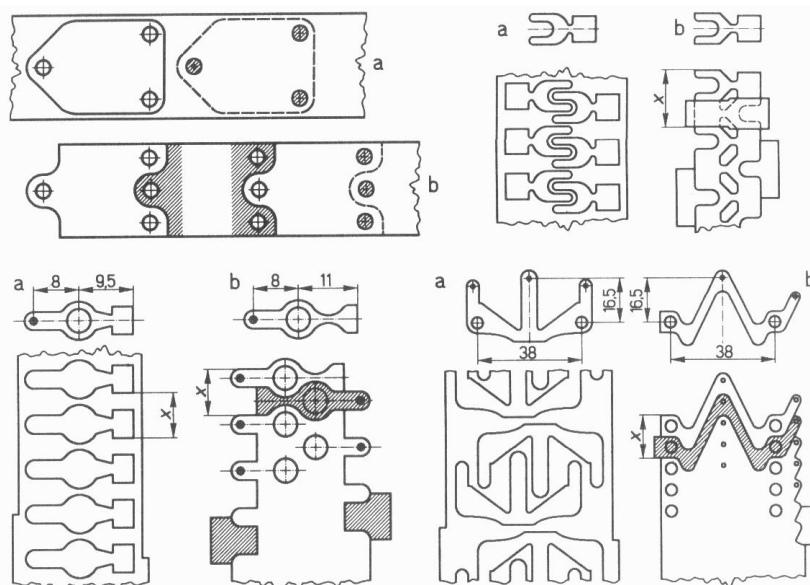
Postopek je odvisen tudi od načina rezanja in vodenja rezila. Že pri enostavnem rezanju pločevine poznamo več različnih načinov:

Način	Vrsta nožev	Skica rezanja	Podatki o rezalnih orodjih
a	vzporedni in poševni ravni noži		vzporedno rezanje $\varphi = 2 \text{ do } 6^\circ$ poševno rezanje $\varphi = 7 \text{ do } 12^\circ$ $\beta = 75 \text{ do } 85^\circ$ $\alpha = 2 \text{ do } 3^\circ$ $\gamma = 3 \text{ do } 12^\circ$ $f = 0,05 \text{ do } 0,02 \text{ mm}$ $s_{\max} = 40 \text{ mm}$
b	krožni noži z vzporednima osema		$2\varphi < 12^\circ$ $u = (0,2 \text{ do } 0,3) s$ $s_{\max} = 30 \text{ mm}$ za $s > 10 \text{ mm}$ za $s < 3 \text{ mm}$ $D = (25 \text{ do } 30) s$ $D = (35 \text{ do } 50) s$ $h = 50 \text{ do } 90 \text{ mm}$ $h = 20 \text{ do } 25 \text{ mm}$
c	krožni noži z nagnjenima osema		$\varepsilon = 30 \text{ do } 40^\circ$ $s_{\max} = 30 \text{ mm}$ za $s > 10 \text{ mm}$ za $s < 3 \text{ mm}$ $D = 20 s$ $D = 28 s$ $h = 50 \text{ do } 80 \text{ mm}$ $h = 15 \text{ do } 20 \text{ mm}$
d	krožni noži z vzporednima in nagnjenima osema		$a \geq 0,2 s$ $s_{\max} = 30 \text{ mm}$ $b \geq 0,3 s$ za $s > 10 \text{ mm}$ za $s < 5 \text{ mm}$ $D = 12 s$ $D = 20 s$ $h = 40 \text{ do } 60 \text{ mm}$ $h = 10 \text{ do } 15 \text{ mm}$
e	večkratni krožni noži z vzporednima osema		$D = (40 \text{ do } 125) s$ $h = (15 \text{ do } 30) s$ $a = (0,1 \text{ do } 0,2) s$ $s_{\max} = 10 \text{ mm}$
f	hitrorezni poševni noži		hitrost rezov $2000 \text{ do } 2500 \text{ min}^{-1}$ gib $2 \text{ do } 3 \text{ mm}$ $\beta = 6 \text{ do } 7^\circ$ $\alpha = 24 \text{ do } 30^\circ$ lahko izrezujemo kroge do $r = 15 \text{ mm}$
g	orodja za vzporedno rezanje		$\beta = 2 \text{ do } 3^\circ$ $\varphi = 0^\circ$

Slika 159: Načini rezanja pločevine

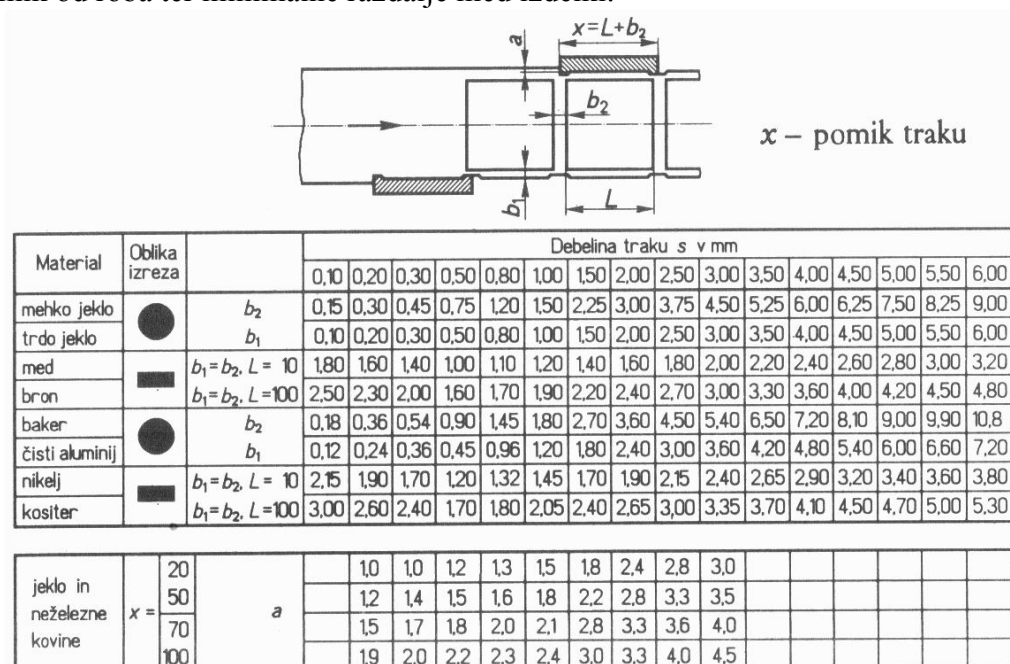
Vir: Muren, 1998, 237

Verjetno najpomembnejši del načrtovanja pri rezanju je razporeditev izdelkov po površini, saj je potrebno optimirati izkoristek materiala. Pomembno je tudi vedeti, da vsak del površine, ki je ne izkoristimo za izdelek, predstavlja strošek zaradi nakupa materiala, manipulacije na vходу in izhodu materialnega toka in da lahko v avtomobilski industriji predstavlja celo okrog 50 % delež vhodnega materiala.




Slika 160: Primeri konstrukcijskih prilagoditev zaradi izkoristka materiala
Vir: Muren, 1998, 243

Nekatere izdelke zato že pri načrtovanju oblike postavimo na trak z optimalno razporeditvijo in tudi konstrukcijo prilagodimo pogojem dela. Izkoristimo tudi možnost enega reza za preprosto ločevanje dveh izdelkov. Pri transportu skozi postopno orodje pa na traku puščamo mostičke, ki omogočajo transport med posameznimi stopnjami preoblikovanja. Pomemben je tudi odmik od roba ter minimalne razdalje med izdelki.



Slika 161: Minimalne razdalje med izdelki in odmik od roba pri rezanju iz trakov
Vir: Muren, 1998, 243

Poleg rezanja iz pločevine in profilov lahko ločujemo oziroma režemo tudi masivne materiale. Zanimiva je izdelava zvarnega roba na debeli pločevini s posebnim postopkom striženja .



5.4 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE

1. Razložite, zakaj so izdelki, narejeni s preoblikovanjem, primernejši od ulitih ali obdelanih s postopki odrezavanja za bolj obremenjene strojne dele.
2. Razložite potovanje materiala pri protismernem iztiskavanju. Zakaj je potrebno fosfatiranje površine pred izvajanjem postopka?
3. Razložite, katere značilnosti postopka globokega vleka zagotavljajo njegovo uporabnost v avtomobilski industriji.
4. Kateri parametri vplivajo na izbiro zračnosti med rezili pri rezanju pločevine? Razložite kako.
5. Za izdelek vrtnarskih vil s štirimi rogji predvidite postavitev surovca za kovanje na traku z najvišjim možnim izkoristkom materiala.

6 POSTOPKI SPAJANJA



Pri opazovanju okolice vidimo, da je večina izdelkov narejena iz več sestavnih delov. Bolj kot je izdelek kompleksen, več sestavnih delov ima. Avtomobili, naprimer, so sestavljeni iz približno 15.000 sestavnih delov. Ti sestavni deli so med sabo povezani na različne načine. Zelo veliko delov je med seboj zvarjenih. Varjenje ima zelo velik pomen, saj je nekatere proizvode nemogoče izdelati v enem kosu.

Naloga:

S katerim postopkom bi lahko izdelali konstrukcijo na spodnji sliki? Cevi so dolge 1 m, debelina stene je 1 mm, premer cevi pa je 50 mm oziroma 30 mm. Ali omogoča kateri postopek izdelavo te konstrukcije v enem kosu?



Slika 162: Zvarjene cevi iz posameznih komponent

Vir: <http://www.paoloseverin.it/techno/Welded/page13.html/> (12. 6. 2010)

Izdelava nekaterih delov je veliko enostavnejša in ekonomična, če najprej izdelamo posamezne komponente, ki jih potem spojimo na različne načine. Če tak izdelek razstavimo na osnovne komponente nam to omogoča lažje vzdrževanje. Velike izdelke, kot so npr. specialne montažne linije, je nemogoče prepeljati h končnemu kupcu v enem kosu. Kupec montažno linijo pregleda v podjetju, kjer je narejena, nato jo prodajalec razstavi in po komponentah prepelje h končnemu kupcu. Tu jo sestavijo in dajo v pogon.



Slika 163: Montažna linija

Vir: <http://www.automation.lama.si/> (22. 1. 2011)

6.1 OSNOVNI POJMI PRI VARJENJU

Varjenje je spajanje materialov v trdnem ali raztaljenem stanju v trajno zvezo ob uporabi različnih vrst energije za različne načine spajanja (Moderno proizvodno inženirstvo, 2010, 518). Pri varjenju s taljenjem se varjenca lokalno natalita na mestu stika in se nato zaradi toplotne energije spojita v nerazdružljivo celoto. Staljeni prostor in njegovo okolico imenujemo zvar. Zvar nastane zaradi difuzije, to je prehoda atomov iz enega materiala v drugi.

V zvar se dovaja bistveno več toplotne energije, kot je potrebna. To povzroča večje spremembe kemične sestave, zgradbe in s tem tudi lastnosti v zvarni coni. Širina talilne cone in cone termičnega vpliva je odvisna od načina segrevanja oziroma od moči, ki je dovedena na površinsko enoto (gostota moči kW/mm²). Toplotno energijo lahko dovedemo v kemični obliki (plamenu) ali električni obliki (obloku, upornosti). Pri varjenju običajno uporabljamo tudi dodajni material v različnih oblikah (elektrode, palice, trak). Dodajni material naj bo po kemični osnovi enak osnovnemu materialu. Pri nekaterih postopkih (uporovnih postopkih, varjenju tankih pločevin) dodajnega materiala ne potrebujemo.



Na spletu poiščite pravilen dodajni material za varjenje konstrukcijskega jekla.

Pri vsakem postopku varjenja so prisotni naslednji pojavi ali procesi:

- taljenje, kristalizacija, normalizacija, kaljenje, popušcanje,
- deformacija in nastajanje notranjih napetosti,
- legiranje, oksidacija, razogličenje in odgorevanje nekaterih legirnih elementov,
- raztapljanje plinov, oksidov in nekovinskih vključkov,
- izločanje nekaterih spojin (sulfidov, fosfidov, nitridov, ...) idr.

Našteti pojavi so pri nekaterih postopkih varjenja bolj pri drugih pa manj izraziti ali pa sploh niso prisotni.

Dober je tisti postopek varjenja, pri katerem ima nastali zvar približno enako kemično sestavo in lastnosti, kot jih ima osnovni material. Idealnega postopka ni. V praksi se uporabljajo tisti, ki so za določene izdelke najbolj primerni in ekonomsko opravičeni.

6.2 VARJENJE S PRITISKOM

Pri varjenju s pritiskom se material v zvarni coni segreje do testastega stanja. Pri tem se varjenca ne raztalita. Dodatna energija za zvarni spoj se dobi z mehanskim pritiskom. Zvarni spoj tako nastane z **adhezijo** (približevanjem atomov na atomarno razdaljo) in **difuzijo** (prehodom atomov iz enega materiala v drug pri povišani temperaturi).



Kladice, ki jih uporabljamo za merjenje, imajo lepene površine, zato se lahko atomi ene površine približajo atomom druge na zadostno razdaljo, pri tem se lahko ustvari zveza. Poiščite naslednji podatek: Koliko časa so lahko kladice skupaj v stavku, da jih lahko z lahkoto razstavimo?

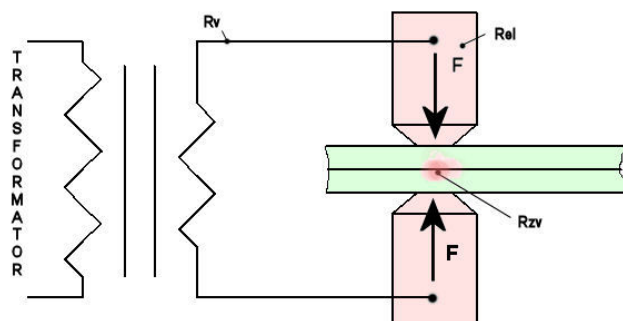
Pod vplivom ustrezno velikega pritiska se material v stični coni stali in se po ohlajanju ponovno strdi. Potreben pritisk je vzrok, da se to varjenje imenuje varjenje s pritiskom.

Za te postopke je značilno, da imajo zelo ozko talilno cono in da ni potrebna zaščita ter dodajni material. Najstarejši postopek v tej skupini je kovaško varjenje. Od vseh postopkov se danes najbolj uporablja uporovno varjenje. Vedno več pa se uveljavljajo novejši postopki, kot so varjenje s trenjem, ultrazvočno in difuzijsko varjenje. Vsi ti postopki se večinoma uporabljajo le v serijski proizvodnji. Primerni so za določene materiale in za značilne oblike varjencev.

6.2.1 Elektroporovno varjenje

Pri elektroporovnem varjenju je poudarek na segrevanju varjencev, čeprav dobimo končni zvar s stiskanjem. Dodatna temperatura, ki je manjša od temperature taljenja, poveča difuzijo in na ta način olajša spajanje materiala. To pomeni, da se več zvara doseže z difuzijo, manj pa

z adhezijo. Toplota na zvarnem mestu nastane zaradi velikega električnega upora na stiku obeh varjencev. Za preprečevanje nastajanja električnega obloka uporabljamo napetosti manjše od 6 V. Jakosti električnega toka pa so odvisne od debeline varjencev in vrste materiala. V nekaterih primerih so do 100 kA.



Slika 164: Elektroporovno varjenje

V električnem tokokrogu se najbolj segreje tisti del, ki ima največjo upornost. To pomeni, da mora biti v sekundarnem tokokrogu, ki ga tvorijo vodniki, elektrode in varjenci, upornost na stični površini varjencev daleč največja.

To se doseže tako, da je prevodnost vodnikov in elektrod zelo velika in so vsi stiki zelo dobri.

$$R_v + R_e + R_p < R_{zv}$$

R_{zv} – upornost na zvarnem mestu

R_v – upornost vodnikov

R_e – upornost elektrod

R_p – prehodna upornost

Toplota, ki jo sprosti električni tok, je podana po naslednji enačbi:

$$Q = I^2 \times R \times t$$

Iz enačbe je razvidno, da je varjenje najboljše, če poteka z največjimi možnimi tokovi in v čim krajšem času. Le v takem primeru se prepreči prenos sproščene toplote v širšo okolico zvara.

I – jakost električnega toka (A)

T – čas (s)

R – upornost (Ω)

Q – nastala toplota (j)

Poznamo pet postopkov uporovnega varjenja: točkovno, bradavično, kolutno, sočelno in sočelno obžigalno.

6.2.2 Elektroporovno točkovno varjenje

Točkovno varjenje je najbolj razširjen postopek uporovnega varjenja. Bistvo postopka je v tem, da dve bakreni elektrodi stisneta varjenca (dve pločevini), zaradi velikega električnega

toka se tam material segreje in zaradi pritiska elektrod nastane zvar. Površine pločevine morajo biti čiste, brez oksidne plati.

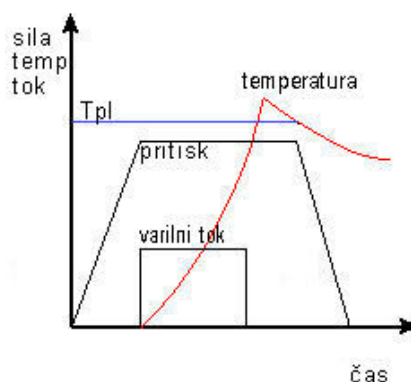
Postopek se najpogosteje uporablja v avtomobilski industriji in je v tem času eden od najbolj robotiziranih postopkov.



Slika 165: Robot za točkovno varjenje

Vir: http://www.linksic.isy.liu.se/files/spot_welding.jpg/ (2. 11. 2010)

Elektrode so vodno hlajene. Za boljši električni stik morajo imeti pravilno oblikovano konico.



Slika 166: Potek varjenja

Značilnosti točkovnega varjenja:

- je zelo hitro (do 500 točk/min),
- ozke talilne cone,
- ni izrazitega pregrevanja materiala,
- ni dodatnega materiala,
- ni potrebna zaščita,
- zvar dobi dobre mehanske lastnosti,
- enostavna avtomatizacija in robotizacija,
- ni možno izdelati tesen zvar.

Uporabnost postopka pri:

- varjenju pločevin in trakov (najbolj v avtomobilski industriji), pri izdelavi žičnih mrež.



Primer:

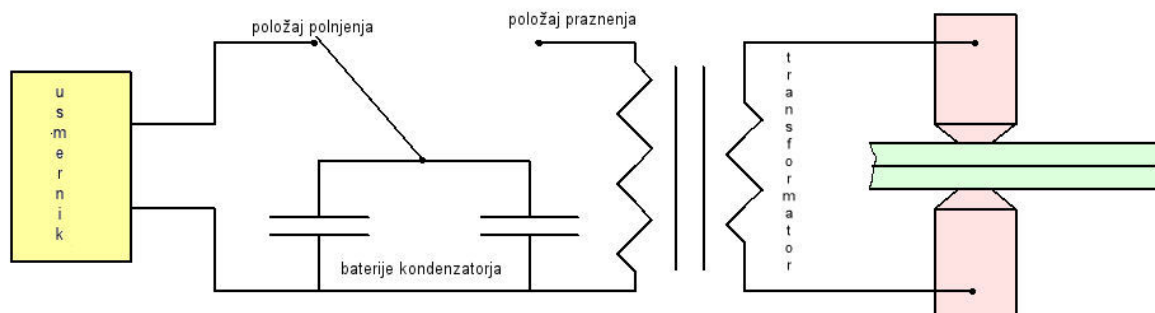
Na avtomobilu je lahko tudi do 10.000 točk narejenih s točkovnim varjenjem. Specialni roboti namenjeni za točkovno varjenje imajo računalniško regulacijo vseh parametrov. Za kontrolo zvara se uporablja kontrola pritiska elektrod. Če je ta pritisk premajhen, se smatra, da zvar ni bil uspešen.



Na spletu poiščite, kdaj je bil postopek razvit in koliko znaša približno naložba v takšno varilno mesto. Ali zahteva varilno mesto visoko usposobljen kader?

6.2.3 Kondenzatorsko točkovno varjenje

Za varjenje materialov z veliko toplotno prevodnostjo in visokim tališčem so potrebni zelo veliki varilni tokovi. Vodniki morajo biti debeli, varilni transformatorji pa veliki in dragi. Ta problem so rešili s kondenzatorskim točkovnim varjenjem.



Slika 167: Kondenzatorsko točkovno varjenje

Napolnjen kondenzator se pri sklenitvi izprazni v zelo kratkem času. Pri tem potečejo zelo veliki tokovi. Oddana električna moč kondenzatorja je zelo velika.

Primer:


Tipičen primer je fotografska bliskovka. Svetlobna moč, ki jo odda bliskovka, je nekaj tisočkrat večja od svetlobne moči avtomobilskega žarometu. Bliskovka se napaja s 3 voltno baterijo in tokom nekaj mA.



Na podoben način poteka tudi kondenzatorsko varjenje. Baterija kondenzatorjev se polni z usmernikom, ko je preklopno stikalo v položaju P, in prazni, ko je v položaju V. Pri praznjenju v nekaj tisočinkah sekunde po primarnem navitju varilnega transformatorja steče velik tok. Na sekundarni strani transformatorja se ta tok poveča še za nekaj tisočkrat. V kratkem času se sproščene toplote ne prenese v okolico zvara. Zato je dosežena temperatura v zvaru bistveno višja kot pri klasičnem točkovnem varjenju.

Uporabnost postopka pri:

- varjenju materialov z veliko toplotno prevodnostjo (Cu, Au, Ag, Al),
- varjenju materialov z visokim tališčem (W, Mo, Pt),
- elektrotehniki in elektroniki.

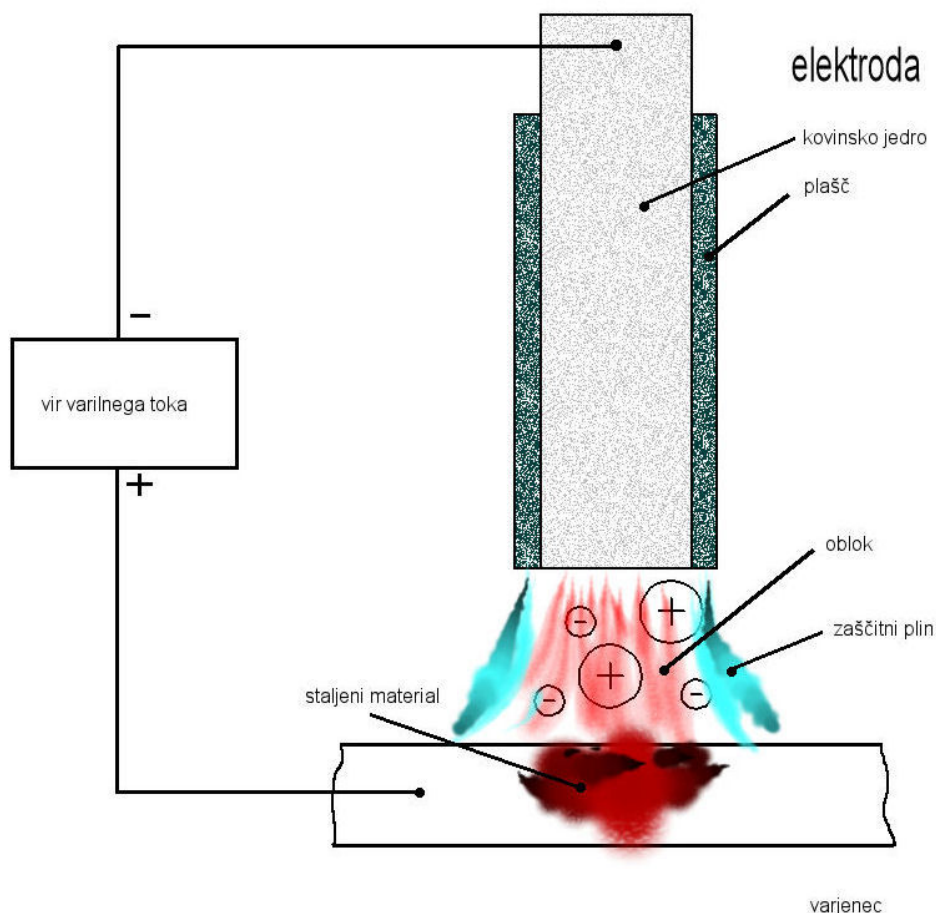
Na spletu  si oglejte predstavitev varjenja cevi. Poiščite še več podobnih postopkov. V skupini razpravljajte o postopkih uporabnega varjenja. Dodatna vprašanja, za katere ne najdete odgovorov, postavite profesorju.



Namig: Po spletu iščite tudi v ruskem jeziku, pri tem si pomagajte z orodjem Google Translate.

6.3 ELEKTRIČNO OBLOČNO VARJENJE

Postopki obločnega varjenja so v tem času najbolj uporabni. Njihov razvoj je najbolj intenziven. Razvija se nova oprema, boljša zaščita, novi dodajani materiali idr. Prvi zametki obločnega varjenja so nastali okoli leta 1850 v Rusiji. Toplota za varjenje nastane s pomočjo električne energije. Med varjencem in elektrodo se ustvari oblok, kar povzroči taljenje elektrode in varjenca. Oblok je v bistvu električni tok, ki steče po zraku. V bistvu se električni tok prevaja skozi prosti konec žice, raztaljeno kapljico in oblok.



Slika 168: Obločno varjenje


Med dvema elektrodama nastane oblok, če je med njima zelo velika električna napetost. Ta napetost bo bistveno manjša, če konice elektrod predhodno segrejemo. Iz segretyh površin izstopajo prosti elektroni. Pojav nam je znan iz fizike in se imenuje termična emisija elektronov. Proste elektrone moramo usmeriti in pospešiti do ustreznih hitrosti. Med svojim gibanjem pospešeni elektroni zadevajo nevtralne atome in iz njih izbijajo dodatno število prostih elektronov. Atomi z izbitimi elektroni (anioni) se v električnem polju premikajo v nasprotno smer. Oblok bo stabilen, če bo gostota pospešenih ionov ustrezno velika.

V električnem obloku poteka veliko pojavov, ki so nam znani iz fizike:

- termična emisija,
- fotoefekt,
- ionizacija in disociacija,
- oddajanje in sprejemanje energije,
- oddajanje elektromagnetnega valovanja (sevanje).

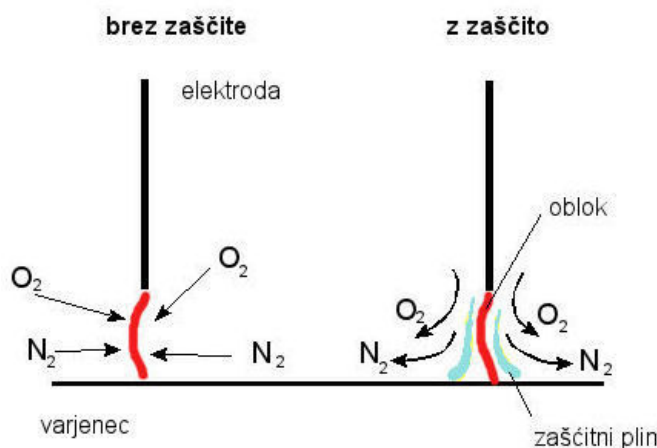


Poiščite pojma ionizacija in disociacija in ju razložite.

Zanimive informacije s tega področja so dostopne na spletni strani mednarodnega inštituta za varjenje .

6.3.1 Zaščita obloka in zvara

Pri obločnem varjenju se material v zvarni coni segreje nad njegovim tališčem. Pri teh temperaturah je vpliv okolice oziroma atmosfere zelo velik. Zvar brez zaščite lahko postane porozen. Potrebna zaščita se lahko doseže z uporabo zaščitnih plinov, praškov in žlindre. Brez zaščite imata kisik in dušik iz zraka prosto pot v oblok in bistveno poslabšata zvar.



Slika 169: Zaščita obloka


Zaščita s plini

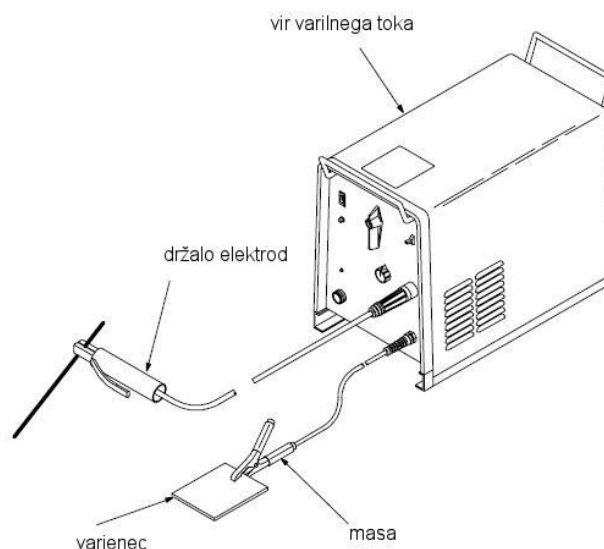
V ta namen se danes uporabljajo CO₂ in Ar oziroma mešanice CO₂ - Ar - He - O₂. Majhen odstotek kisika pospeši trganje kapljic od žice. Zaščita s plini je zelo enostavna in učinkovita. Zaščitni plin ščiti talino in prosti konec žice pred atmosfero, zoži oblok ter olajša ionizacijo. Najboljša zaščita se doseže pri varjenju v argonu. Zaradi visoke cene se uporablja največ pri varjenju barvnih kovin in njihovih zlitin ter visoko legiranih jekel. Pri varjenju z argonom je potrebno paziti, da imamo dober prezračevalni sistem, saj je argon težji od zraka, zato lahko iz prostora izrine zrak. Posledica je lahko tudi zadušitev varilca. Če pa argonu dodajamo CO₂, preprečimo nastajanje ozona in posledično povečamo moč obloka.

Zaščita s praški in žlindro

Varilni praški vsebujejo komponente, iz katerih pri izgorevanju nastajajo plini in žlindra. Plini ščitijo oblok in zvar med varjenjem. Žlindra, ki pokrije staljeni material, ščiti zvar med varjenjem in pri ohlajanju.

6.3.2 Ročno obločno varjenje (RO)

 Ročno obločno varjenje je najbolj vsestranski in preprost postopek. Uporablja se za varjenje skoraj vseh materialov in za izdelavo od najmanj do najbolj zahtevnih zvarov. Varjenje lahko poteka v obratih ali pa na prostem. Varijo lahko tudi manj izkušeni varilci. Ocenjuje se, da skoraj polovica vseh varjenj poteka na ta način. Toplota, ki jo daje oblok, topi elektrodo, njen plašč in varjenec. Elektroda je vpeta v držalo, ki je preko kabla povezan na en pol vira varilnega toka. Drugi del vira varilnega toka je povezan z varjencem.



Slika 170: Ročno obločno varjenje

Vir: Prirejeno po: http://www.millerwelds.com/pdf/guidelines_smaw.pdf/ (5. 11. 2010)

Oprema:

Vir električnega toka in priključni elementi, elektrode, pomožna in zaščitna sredstva.

Viri električnega toka so: varilni transformatorji, usmerniki ali agregati. Izbirajo se glede na vrsto materiala, varilno lego, debelino varjenecv in zahtevano kakovost zvara.

Pri ročno obločnem varjenju se uporabljajo paličaste oplaščene elektrode z dolžino od 250 do 500 mm in premeri od 1.5 do 6 mm. Sestava kovinskega dela elektrod je prilagojena sestavi materiala, ki ga varimo. Sestava oplaščenja se izbira glede na zahtevano kakovost zvara, varilno lego in vrsto električnega toka.

Značilnosti postopka in uporaba ročno obločnega varjenja z oplaščenimi elektrodami:


- univerzalnost postopka,
- je poceni,
- zvar dobi zelo dobre mehanske lastnosti,
- velika izbira dodatnih materialov,
- uporabnost na prostem in terenu,
- enostavnost.

RO varjenje je uporabno za izdelavo od najmanj zahtevnih do najbolj zahtevnih zvarov. Oprema, ki jo rabimo, je sestavljena iz varilnega aparata, kablov in držala elektrod. Skupni stroški za to opremo so lahko tudi pod 400 evrov. Pri tem ne smemo pozabiti še zaščitne opreme: zaščitne temne maske z varilnim ščitom, rokavice in zaščitne obleke. Varimo lahko skoraj vse materiale debelin od 3 do 20 mm. Varjenje lahko poteka v obratih ali na prostem. Lahko se uporablja tudi tam, ker ni električne napeljave. Varijo lahko tudi manj izkušeni varilci.



Pri nas so zelo razširjene elektrode Jadran »S«. Ugotovite, katere vrste so in kje jih lahko uporabljamo.

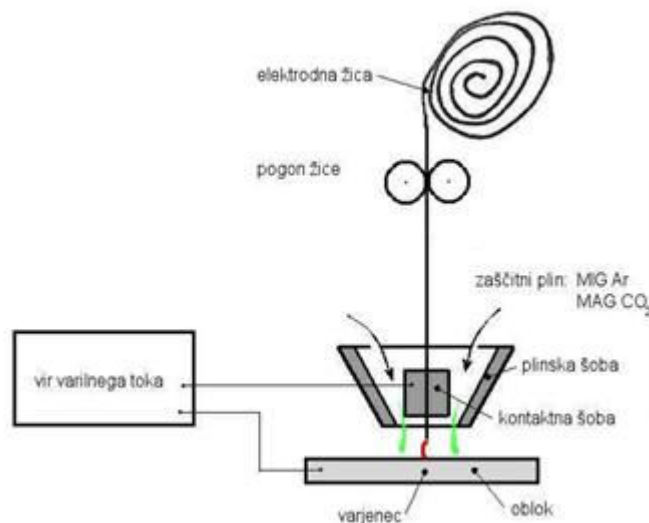
6.3.3 MIG in MAG postopka varjenja

 Pri tem načinu varjenja je zvar zaščiteno z zaščitnim plinom, ki prihaja neposredno iz jeklenke. Ta plin je lahko različen – glejte poglavje *Zaščita oblaka in zvara*.



Slika 171: MAG varjenje

Na spletu poiščite razlago kratic MIG in MAG. S kakšno elektrodo varimo pri teh postopkih?



Slika 172: Shematski prikaz MIG in MAG varjenja

Elektroda je priključena na varilni tok v kontaktni šobi, ki je na koncu pištrole. Elektroda je pobakrena, da lažje prevaja električni oblok, hkrati pa je zaščitena pred korozijo. Osnovni material elektrod mora biti po kemični sestavi enak materialu, ki ga varimo. Prosta dolžina elektrode je zelo kratka. To omogoča večjo gostoto varilnega toka in s tem hitrejšo taljenje elektrode.

Šoba, skozi katero izteka zaščitni plin, je keramična. Pri varjenju z večjimi tokovi (> 160 A) je šoba iz bakra in je hlajena z vodo.

Glede na premer žice določite toleranco kontaktne šobe, da bo žica še drsela skozi šobo, hkrati pa se bo tok prevajal. Premer žice naj bo 1,5 mm.





Slika 173: Šoba

Vir: <http://www.luvata.com/en/Products--Markets/Products/Welding-Products/MIG-Welding-Contact-Tips/> (7. 10. 2010)

Pri novejših napravah je v pištoli mehanizem za vlečenje elektrode. V takem primeru je zatikanje elektrode manj pogosto, cev pa je daljša (do 8 m).

Značilnosti obeh postopkov:

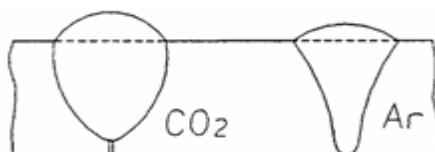
- zelo dobra zaščita,
- nastane čist in gladek zvar,
- enostavna avtomatizacija,
- primeren za navarjanje,
- ni menjave elektrod,
- priučitev varilcev je lahka,
- globok uvar,
- lahko odstranjevanje žlindre.

Pri MAG postopku uporabljamo zaščitni plin, ki je v tem primeru aktivni CO_2 . Izraz aktiven pomeni, da CO_2 delno reagira s staljenim materialom.



Slika 174: Jeklenka

Nastali kisik povzroča delno oksidacijo staljenega materiala. Pri tem se sprošča dodatna toplotna energija, ki vpliva tudi na obliko zvara. Pri varjenju lahkih kovin in njihovih zlitin oksidi bistveno poslabšajo lastnosti zvara. Zato se ta postopek pri njih ne uporablja.



Slika 175: Primerjava zvarov

Zvar narejen s CO₂ je bistveno širši, pri argonu pa ožji in globlji. Boljše oblike in lastnosti zvara se dosežejo pri uporabi mešanice plinov argona, dušika (ali CO₂) in ostalih plinov.

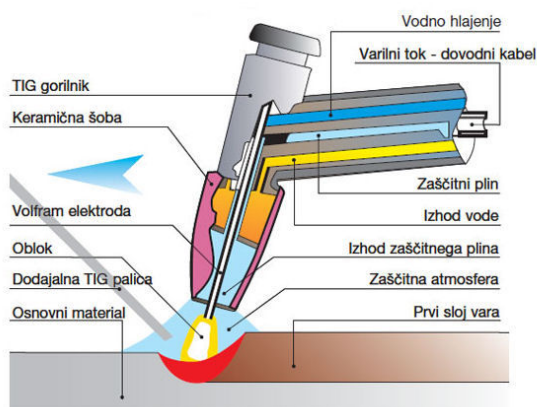
MAG postopek se uporablja za varjenje navadnih konstrukcijskih jekel in pri manj zahtevnih zvarih iz nizko legiranih jekel. Z MIG postopkom pa varimo lahke kovine in njihove zlitine, nerjaveča in legirana jekla, primeren je tudi za navarjanje izrabljenih elementov.

Oba postopka sta bistveno hitrejša kot ročno obločno varjenje. Stroški za opremo so nekoliko višji od ročno obločnega varjenja in znašajo od 1000 evrov navzgor. Na zelo lahek način se ju da robotizirati in danes je to precej uveljavljen postopek varjenja s pomočjo robotov.

Kljub temu, da se z MIG postopkom dobi bistveno boljši zvar, se ga ne uporablja za varjenje navadnih konstrukcijskih jekel. Ugotovite zakaj in odgovor utemeljite.



6.3.4 TIG (WIG) postopek varjenja



Slika 176: Varilna pištola za TIG način varjenja
Vir: <http://www.ipro.si/varjenje.html/> (6. 11. 2010)

TIG (Tungsten Inert Gas)
WIG (Wolfram Inert Gas)



Postopek uporablja netaljivo wolframovo elektrodo, ki zagotavlja potrebno toploto. Glede na do sedaj znane postopke varjenja je oblok pri TIG postopku zelo ozek, kar bistveno izboljša kakovost varjenja. Zaradi močne koncentracije energije je postopek še posebno primeren za varjenje kovin z visokim tališčem in visoko toplotno prevodnostjo. Dodajni material je gola žica, podobno kot pri plamenskem varjenju, zato skorajda ni žlindre. Je pa v primerjavi s plamenskim varjenjem bistveno hitrejši.

Oprema, ki je potrebna za TIG način varjenja

Oprema je mobilna, njena cena pa je od 2.000 do 8.000 evrov.

Vir varilnega toka s krmilnikom je najdražji del opreme. Zgrajen je tako, da omogoča varjenje z izmeničnim in enosmernim tokom. Za vzpostavljanje obloka je glavnemu viru priključen visoko frekvenčni generator. Pri vzpostavljanju obloka se vključi visoko frekvenčni tok z napetostjo od 1 do 10 kV in frekvenco od 100 kHz do 10 MHz. Ta tok se izključi takoj po vzpostavitvi obloka. Pri varjenju z izmeničnim tokom je VFG trajno vključen. To je potrebno za boljšo stabilnost obloka.

Elektroda ima paličasto obliko s premerom od 1,6 do 5 mm in dolžino 175 mm. Med varjenjem se ne tali in prenese do 70 ur varjenja. V praksi je ta čas od 30 do 40 ur. Življenjska doba je odvisna od vrste varilnega toka in polaritete ter ravnanja z elektrodo.

Elektroda je postavljena v varilno pištolo, ki je pritrjena na konec gibljive cevi. Skozi cev doteka argon (Ar), varilni in krmilni tok ter hladilna voda za hlajenje pištole.

Dodajni material je v obliki palic in ima enako sestavo kot material, ki ga varimo. V večini primerov varjenje poteka brez dodatnega materiala.

Značilnosti postopka:

- zelo ozek in stabilen oblok,
- manjše deformacije,
- višja temperatura varjenja (do 6000 °C),
- primeren za varjenje v vseh varilnih legah,
- nastane ozek, globok, gladek in čist zvar,
- postopek je bistveno dražji od ročno obločnega varjenja zaradi dragega argona.

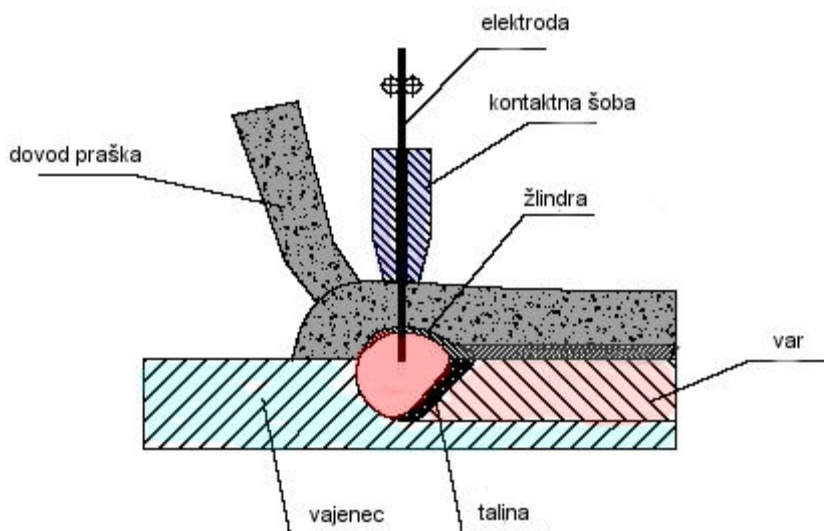
Uporabnost:

- zelo dober za varjenje lahkih kovin in njihovih zlitin,
- varjenje ostalih barvnih kovin, ki imajo visoko tališče in večjo toplotno prevodnost,
- varjenje visoko legiranih jekel,
- varjenje v kemični in prehrambeni industriji.

6.3.5 Elektro obločno varjenje pod praškom

Varilni prašek iz posode priteka skozi cev lijaka, neposredno pred elektrodo. Pri tem je oblok popolnoma zakrit s praškom. Na spodnji strani je bakrena letev, ki prevaja varilni tok in preprečuje uhajanje praška skozi špranjo, ki je med varjencema.

Podajalna naprava potiska elektrodo z izbrano hitrostjo. Pri debelejših zvarih lahko varjenje poteka z dvema elektrodama ali z varilnim trakom. Za varjenje je potrebna še oprema za pozicioniranje in premikanje. Varjenje dolgih varjencev poteka tako, da se premikajo po varilni progi. Cisterne in ostali večji okrogli izdelki se pri varjenju vrtijo na prilagojenih pripravah. Pri tem je varilna naprava na konzolnem nosilcu. Pri varjenju širokih in dolgih pločevin je celotna naprava postavljena na posebnem vozičku.



Slika 177: Varjenje pod praškom

Po končanem varjenju se najprej pobere neizrabljeni prašek (~ 30 %), nato se odstrani še žlindra.

Elektro obločno varjenje pod praškom spada med najzmogljivejše postopke obločnega varjenja, saj dosežemo najvišji talilni učinek.

Značilnosti postopka:

- dobra produktivnost,
- zelo dobra zaščita zvara,
- varjenje poteka avtomatizirano,
- nastane zelo čist, enakomeren in gladek zvar,
- z enim varkom se izdelajo zelo veliki zvari,
- je zelo primeren za navarjanje izrabljenih površin.


Uporabnost postopka:

Slika 178: Prikaz varjenja pod praškom

Vir: <http://technoman.org/welding.htm/> (5. 11. 2010)

- za izdelavo debelih in ravnih zvarov,
- pri ladjedelnstvu in vagonih,
- za cisterne in posode pod visokim tlakom,
- za debelo stenske cevi z večjim premerom,
- izdelava sestavljenih profilov,
- za kontejnerje in podobno.

6.4 PLAMENSKO VARJENJE

 Plamensko varjenje je eden od najstarejših postopkov varjenja, saj ga uporabljamo že od leta 1900 dalje. Danes se še vedno uporablja in to predvsem zaradi njegove vsestranskosti in energetske neodvisnosti (avtogenost).



Slika 179: Oprema za plamensko varjenje

Toplota za varjenje nastane z izgorevanjem plinov. Plamen vedno dobimo s kemično reakcijo med gorljivim plinom in kisikom. Najvišje temperature se dosežejo pri izgorevanju acetilena s kisikom. Acetilen je še danes nezamenljiv kljub nevarnostim, ki so prisotne pri njegovem pridobivanju, transportu in uporabi. Plamen nato uporabimo za segrevanje oziroma taljenje osnovnega in dodajnega materiala.

Acetilen se transportira raztopljen v acetonu. Pri normalnem tlaku se v enem litru acetona raztopi 25 litrov acetilena. Topnost enakomerno narašča z naraščanjem tlaka. V 40 litrski jeklenki je 13 litrov acetona pri tlaku 18 barov. Tak plin imenujemo dissous plin.

Raziščite od kod ime dissous plin. Namig: plin so izumili v Franciji. Izračunajte, koliko plina dobimo iz 40 l velike jeklenke.



Zanimivost:

Acetilen je edini gorljivi plin, ki ga lahko pridobivamo doma. V preteklosti, ko še ni bilo toliko petard, so mnogi fantje, med njimi tudi avtor učbenika, pokali s karbidom. Bilo je dokaj nevarno početje, kljub temu pa so bile nesreče izredno redke.



Slika 180: Eksplozija jeklenke

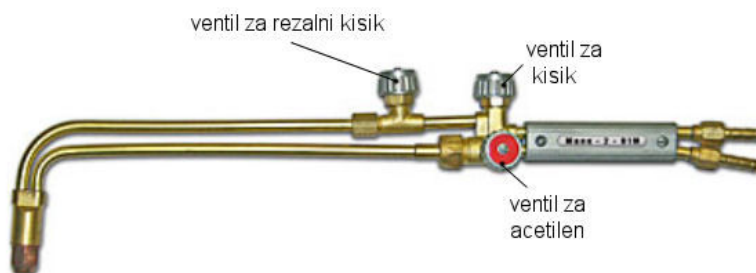
Vir: http://karachioobserver.blogspot.com/2009_08_01_archive.html/ (4. 11. 2010)

Nekateri delavci menijo, da je varnostni predpis privezovanja jeklenk nepotreben. Izračunajte velikost reakcijske sile jeklenke, če le-ta pade na tla in se zlomi ventil. Kolikšna bi bila hitrost jeklenke, če je tlak v jeklenki 100 barov. Kaj to pomeni za varnost delavcev?



Plamensko rezanje

Pri plamenskem rezanju jekla se uporablja zelo podobna tehnologija kot pri plamenskem varjenju. Vendar toplota, ki bi jo dal gorilnik, ne bi zadostovala za rezanje jekla. Pri plamenskem rezanju jekla se jeklo naprej segreva s kisik-acetilenskim plamenom, nato pa se skozi osrednjo šobo dovaja rezalni kisik, ki omogoča dodatno izgorevanje (Pogačnik, 1999, 152). Dodatni kisik poveča potrebno energijo za rezanje. Če ima jeklo preveč ogljika (nad 2 %), ga plamensko ne moremo več rezati, saj bi potrebovali večje predgrevanje. Plamen pušča grobo površino, zato dobimo zelo grobo površino. Namesto plamenskega rezanja se v zadnjem času uporablja *plazemsko rezanje*. Ta način rezanja je primeren za materiale, ki jih plamensko ne moremo rezati, naprimer za aluminij. Plamensko rezanje se uporablja za rezanje konstrukcijskih jekel do debeline 500 mm. Takšnih debelin jekla ne moremo rezati z nobenim drugim postopkom (Varstroj, 2010, 11).



Slika 181: Plamenski rezalnik

Vir: http://www.midasot.ru/catalog/c1/g4/majak_2_01m/ (27. 11. 2010)**Varnost pri plamenskem varjenju:**

- Jeklenke morajo med varjenjem stati pokonci in morajo biti zavarovane proti padcem.
- Med premikanjem se moramo izogibati sunkovitim udarcem.
- Izogibati se moramo zelo nizkim ali zelo visokim temperaturam.
- Med varjenjem iz varilnice odstranimo gorljive snovi oziroma pospeševalce gorenja.
- Barvna oznaka za jeklenke je po standardih SIST EN 1089-3.
- Navoji za vnetljive pline so levi, za kisik pa desni.
- Cevi morajo biti brez vozlišč.
- Če plamen gori prosto, ni nevaren.
- Izogibati se moramo rdečemu območju v manometru, saj to pomeni kritičen tlak.

Značilnosti postopka:

- uporaben je za vse materiale,
- uporaben je povsod tam, kjer ni električne energije,
- zelo primeren je za varjenje tankih pločevin,
- primeren je za vse varilne lege,
- zelo primeren je za varjenje cevi,
- energetsko je neodvisen,
- uporablja se za lotanje, rezanje jekla,
- uporablja se pri montažnih delih (ceveh).

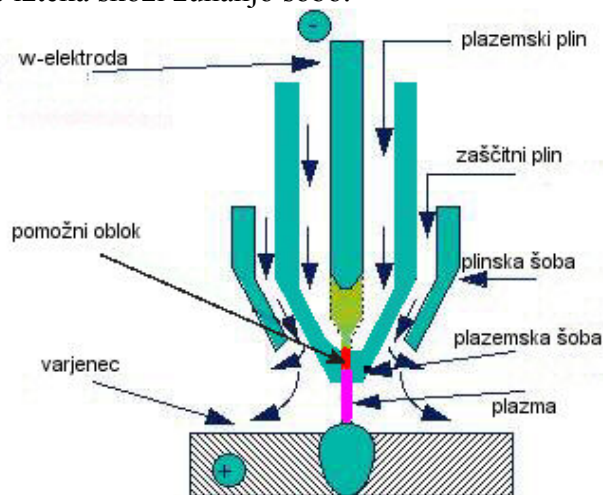
Postopek je resnično univerzalen in avtonomen, vendar zaradi manjše produktivnosti ni primeren za množično proizvodnjo. Od varilca zahteva veliko več znanja in izkušenj. Kakovost zvara v večini primerov zaostaja za kakovostjo, ki jo dosejajo sodobnejši postopki, zato se njegova uporaba zmanjšuje.

6.5 VARJENJE IN REZANJA S PLAZMO

Ena preprostejših razlag, kaj to plazma je, je, da je to četrto agregatno stanje snovi. Običajno pravimo, da se vsaka snov lahko nahaja v treh različnih agregatnih stanjih: trdnem, tekočem in plinskem. Razlika med njimi je odvisna od dodane energije. Za primer vzemimo vodo, ki se v trdnem stanju nahaja kot led, če ledu dodajamo energijo v obliki toplote, se pretvori v tekoče stanje – vodo. Če vodi še naprej dodajamo toploto, ta izpari in se loči v dva plina – vodik in kisik, v obliki pare. Če takšnemu plinu dodajamo še več energije, lahko opazimo, da se bistveno spremenijo njene termične in električne karakteristike. Ta proces imenujemo ionizacija, kjer se med plinskimi atomi sprostijo prosti elektroni in ioni. Ko se to zgodi, postane plin električno prevoden in je sposoben prevajati električni tok. Zakonitosti, ki

veljajo za prenos električnega toka skozi kovinske vodnike (žice), veljajo tudi za plazmo. Če žici, ki prevaja električni tok, zmanjšamo presek, naraste upornost in sorazmerno višja napetost, ki je potrebna, da isto količino elektronov prevedemo skozi manjši presek žice. Pri tem se vodnik segreje. Isto velja za plazmo, bolj ko ožamo presek šobe, skozi katero teče plazma, bolj vroča postaja.

Pri varjenju sta potrebna dva plina. Eden za plazmo, ki se izteka skozi notranjo šobo, in drugi, za zaščito zvara, ki se izteka skozi zunanjo šobo.



Slika 182: Varjenje s plazmo

S pomočjo visoko frekvenčnega toka se med elektrodo in notranjo vodno hlajeno šobo vzpostavi pomožni električni oblok. Skozi notranjo šobo doteka plin za plazmo, ki se v območju obloka spremeni v plazmo. V področju, ker so temperature zelo visoke, plin disocira in ionizira. Nastanejo novi ioni, ki pod vplivom pospeševalne napetosti in tlakov dobijo zelo velike kinetične energije. Plini, ki jih uporabljamo, so običajno argon, vodik ali mešanica z dušikom in zrakom. Torej, plazma je curek delcev, ki ima zelo visoko energijo. Če hočemo, da ima veliko hitrost (takrat bo energija večja), moramo doseči, da bo ta curek čim ožji. Tak curek (čim ožji) plazme nam da temperaturo do 25.000 °C.

Značilnosti postopka:

Energija je zelo skoncentrirana, saj je plazma zelo ozka (6⁰). Zato lahko delamo globlje in ožje zveze z večjo hitrostjo varjenja. Plazma je zelo stabilna. Z njo lahko varimo vse kovine. Zelo je primerna za varjenje tankih pločevin. Postopek se imenuje mikro plazma, saj so tokovi do 15 A. Z normalno plazmo lahko varimo varjenice z debelino 20 mm brez varilnega žleba. Zaradi drage opreme (tudi več kot 10.000 evrov) in stroškov se postopek uporablja le tam, kjer želimo imeti res dober kvaliteten zvar. Postopek zahteva tudi precej izkušenega varilca. Precejšnja pomanjkljivost pa je tudi velik hrup.

Rezanje s plazmo

Nerjavna jekla je plamensko nemogoče rezati prav zaradi odpornosti proti oksidaciji. Zato so okoli leta 1950 razvili način rezanja s plazmo. Varstroj (2010, 9) navaja, da so najpogosteje uporabljeni plini za plazemsko rezanje naslednji:

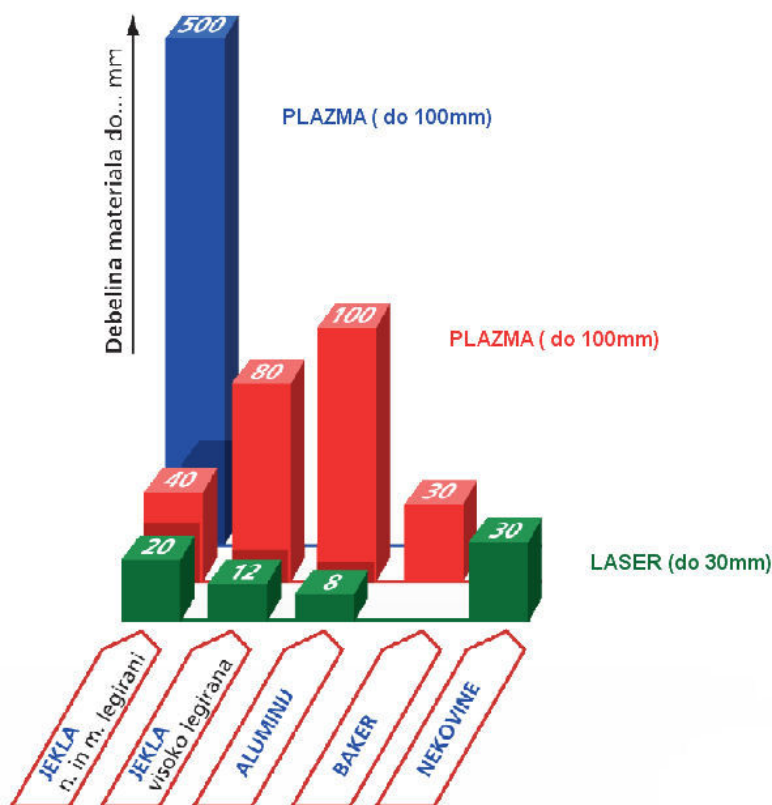
- Ar/H₂ (za visokolegirana jekla), industrijska uporaba od leta 1958 do 1960,
- zrak (za konstrukcijska jekla), industrijska uporaba od leta 1970,
- kisik (za konstrukcijska jekla), industrijska uporaba od leta 1985.



Slika 183: Rezanje s plazmo

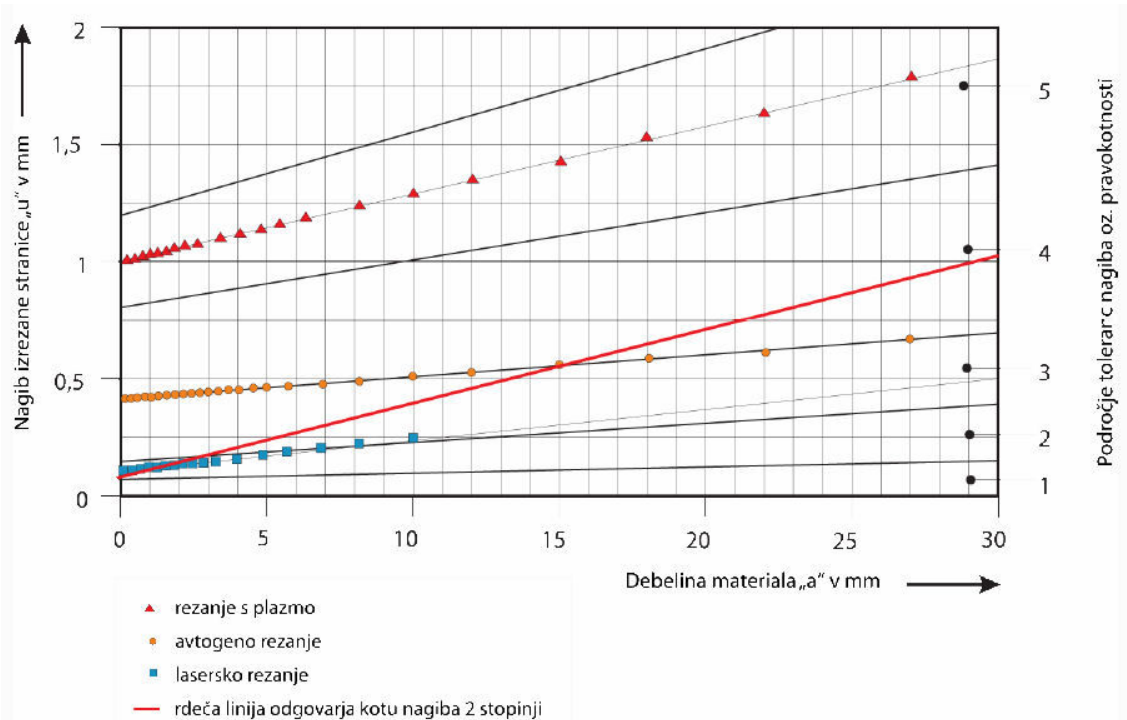
Vir: <http://www.ipro.si/rezanje.html/> (7. 11. 2010)

Največja prednost plazme je, da lahko z njo režemo vse materiale, ki prevajajo električni tok in jih je nemogoče rezati z običajnim plamenskimi rezanjem. To so nerjavna jekla z visoko vsebnostjo kroma in niklja, visokokvalitetna orodna jekla, aluminij, baker, ... Za rezanje podobnih materialov je danes razvitih že več novejših postopkov, naprimer, rezanje z laserskim žarkom, visokotlačnim vodnim curkom, abrazivi ..., vendar je za robustno industrijsko rezanje še vedno najprimernejša plazma.



Slika 184: Področje uporabe termičnega rezanja v praksi

Vir: Prirejeno po: <http://www.linde-gas.com/> (20. 9. 2009)



Slika 185: Grafični prikaz splošno dosegljivih tolerance pravokotnosti oziroma nagiba pri pločevinah debeline do 30 mm, po EN ISO 9013

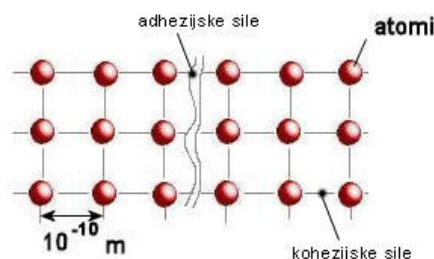
Vir: Prirejeno po: Varstroj, 2010, 17

Slabi lastnosti plazemskega rezanja, glede delovnega mesta, sta v glavnem hrup, ki pri rezanju plošč debeline, naprimer, 100 mm preseže 120 dB, hkrati pa se pojavi močno svetlobno sevanje, ki lahko trajno poškoduje oči. Zato je obvezna uporaba podobne zaščitne opreme kot pri elektro varjenju. Potrebna pa je tudi previdnost pri delu s plazemskim rezalnikom, saj so prisotne vrednosti in napetosti toka zelo visoke in življenjsko nevarne.

6.6 ADHEZIVNO SPAJANJE

Pri teh postopkih atomi lota ali atomi lepila pridejo na zelo majhno razdaljo do obdelovanca, da začnejo med njimi delovati atomarne sile. Temu se reče tudi adhezijske vezi.

Begeš (1989, 5) navaja, da bi dosegli neločljivo vez med dvem kovinama takrat, ko bi se atomi v stičnih površinah približali na razdaljo, ki je običajna med atomi v kovinah, to je 10^{-10} m.



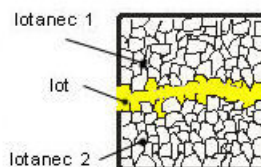
Slika 186: Razdalja med atomi v
Vir: Prirejeno po: Begeš, 1989, 6

Pri teh postopkih so pomembne tudi kohezijske sile, to so sile, ki delujejo med molekulami lota oziroma lepila.

6.6.1 Lotanje (spajkanje)



Glavna razlika med spajkanjem in varjenjem je v tem, da se pri varjenju osnovni material raztali, medtem ko pri lotanju ostane osnovni material neraztaljen. Razstali se samo dodajni material lot, ki ima znatno nižjo temperaturo od osnovnega materiala in se od njega vedno razlikuje. Lot mora imeti takšne lastnosti, da se površinsko sprime z osnovnim materialom. Pri varjenju prehajajo atomi iz enega materiala v drugi (difuzija), pri lotanju pa so važne površinske sile, to so vezi med lotom in osnovnim materialom.



Slika 187: Lotanje

Vir: Prirejeno po: Vučko, 2002, 84

Ali bo lotani spoj dober, je odvisno od naslednjih faktorjev:

- Špranja med lotanci naj bi bila čim ožja (manj od 0,5mm). Čim ožja je špranja, večji je kapilarni tlak, ki vsrka lot. Pri debelejši špranji je kapilarni tlak manjši, zalivanje je slabše in trdnost lotane zveze je slabša.
- Lot naj ima čim manjšo površinsko napetost. Če je površinska napetost velika, bo omočljivost slabša in lot slabše steče.



Slika 188: Omočljivost

- Lot naj ima čim manjšo viskoznost, da lažje zalije špranjo.
- Temperatura lotanja ne sme biti prenizka, saj pri prenizki temperaturi lot ne zalije šranji, ker se prehitro strdi.
- Spoj omogoča lot, ki ga izberemo glede na material lotancev. Pri tem moramo paziti na elektrokemijski potencial med lotom in lotancem. Če je ta potencial velik, se lahko pojavi korozija.
- Lotanca morata biti popolnoma čista. Pred lotanjem moramo odstraniti oksidno plast. Za ta namen uporabljamo talila, ki jih pred lotanjem naneseemo na mesto lotanja. Njihova naloga je razkroj oksidov in ostalih nečistoč, zaščititi površino pred oksidacijo in izboljšati oprijem med lotom in lotancem, saj talilo zmanjšuje površinsko napetost.



Podobno kot poznamo različne načine varjenja, poznamo tudi različne načine lotanja. V literaturi poiščite različne načine lotanja in njihovo uporabo v praksi.

6.6.2 Lepljenje

Zaradi enostavnosti postopka vrsto materialov lepimo. Vsekakor je lepljenje eden izmed najstarejših postopkov spajanja, saj je iz grške mitologije znan Ikar, ki je ušel iz labirinta Krete s pomočjo kril, zlepljenih z voskom. Lepljenje se uporablja za spajanje kovinskih in nekovinskih materialov. Tipičen primer je lepljen les, ki je znan pod imenom vezan les in je bil izumljen na začetku preteklega stoletja. Vezan les naredimo z lepljenjem večjih plasti lesa. Postopek se uveljavlja v avtomobilski industriji, obutveni industriji, pri izdelavi embalaže idr. Za trdnost spoja so pri lepljenih spojih bistvene adhezijske sile. Lepilo pa mora imeti tudi dobre kohezijske sposobnosti, da ni preveč krhko. Stroški lepljenja so manjši kot pri lotanju ali varjenju. V nekaterih primerih je lepljenje edini primeren način spajanja. Kljub temu pa imamo pri lepljenju nekatere omejitve:

- staranje lepila zmanjšuje trdnost lepljenega spoja,
- zelo skrbna priprava lepljenega spoja,
- občutljivost na temperaturo in vlago,
- nizka natezna in strižna trdnost spoja v primerjavi z lotanjem ali varjenjem,
- relativno velik čas, v katerem lepilo doseže uporabno trdnost zlepk.

Na tržišču je več vrst lepil za različno uporabo v strojništvu. Na spletu poiščite vrste lepil, ki jih uporabljamo, in jih opišite.

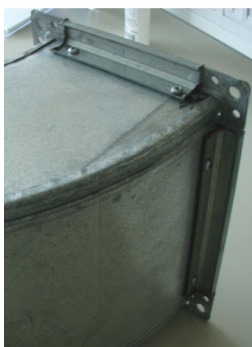
Kakšna je vaša izkušnja z lepljenjem?

Katere faktorje je potrebno upoštevati pri lepljenju?



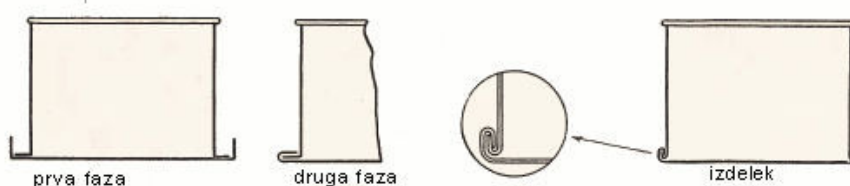
6.7 SPAJANJE Z OBLIKOVANJEM

Spajanje dveh ali več pločevinastih delov v kleparstvu največkrat opravimo z zgibanjem. Uporabimo lahko tudi kombinacijo lotanja, kovičenja in zgibanja. Z zgibanjem dosežemo nerazstavljivo zvezo. Uporabljamo ga za spajanje tankih pločevin.



Slika 189: Izdelek narejen s kombinacijo zgibanja in kovičenja

Zgibamo lahko strojno ali ročno. Za strojno zgibanje uporabljamo robilne stroje.



Slika 190: Postopek zgibanja

Z robilnim strojem lahko oblikujemo različne oblike, ki jih nato stisnemo v končni izdelek.



Slika 191: Robilni stroj

Vir: www.bernardo.at/ (20. 1. 2011)

6.8 MEHANSKO STISKANJE

Za ta postopek potrebujemo le posebno orodje, ki je podobno kleščam. Z orodjem stisnemo zgornji del izdelka na spodnji del. S stiskanjem komponenti plastično deformiramo in spojimo. Postopek se uporablja pri zapiranju steklenic, kjer kovinski zamašek mehansko stisnemo.

6.9 KOVIČENJE



Kovičenje spada med postopke spajanja komponent v neraztavljivo zvezo. V komponenti, ki ju želimo kovičiti, predhodno izdelamo luknjo, kovico vstavimo v luknjo in deformiramo steblo na nasprotni strani. Kovičimo lahko pri sobni temperaturi ali pri povišani. Včasih so uporabljali kovičenje za velike jeklene konstrukcije, ki jih danes varijo. Najbolj znana kovičena konstrukcija je Eifflov stolp v Parizu. Danes se predvsem koviči kovane ograje.



Slika 192: Kovana ograja, narejena s kovičenjem

Vir: www.mdm2000.si/ (22. 1. 2011)



6.10 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE

Obkrožite:

Zakaj nastane toplota na zvarnem mestu pri elektro uporovnem varjenju?

Zaradi večjega električnega upora.

Zaradi manjšega električnega upora.

V električnem tokokrogu se najbolj segreje tisti del, ki ima največjo upornost?

DA

NE

Kakšni tokovi so potrebni za točkovno uporovno varjenje materialov z visoki tališčem?

čim večji

čim manjši

Kakšne elektrode uporabljamo za bradavično uporovno varjenje?

ploščate

z oblikovano konico

Pri katerem postopku dobi zvar boljše mehanske lastnosti?

Elektro uporovno obžigalno soležno varjenje

Elektro uporovno soležno varjenje

Najpomembnejši pojav v obloku, ki povzroča taljenje varjencev, je?

oddajanje elektromagnetnih valov

termična emisija

Rutilna elektroda je najslabša za izmenični tok.

DA

NE

Pri plamenskem varjenju v desno je plamen usmerjen v zvar.

DA

NE

Dopolnite stavek:

Varjenje je spajanje materialov v _____ ali _____ stanju v _____ zvezo ob uporabi različnih vrst _____ za različne načine spajanja.

Elektro uporovno varjenje je najboljše, če poteka z _____ možnimi tokovi in v čim _____ času.

Pri točkovnem varjenju se lahko naredi zvar v _____ točki, pri bradavičnem varjenju pa se uporablja v primerih, ko hočemo z enim stiskom narediti _____ zvarov.

Varilni oblok je del električnega tokokroga, v katerem se _____ energija pretvarja v _____ energijo, ki je potreben za _____ dodajnega in osnovnega materiala.

Inverterski viri varilnega toka so lahke prenosne naprave za varjenje z _____ varilnim tokom.

Zaščitni plin pri MAG postopku je _____, pri MIG _____ in pri TIG _____.

Za plamensko varjenje uporabljamo plina _____ in _____.

Najpogosteje uporabljeni plini za plazemsko rezanje so sledeči:

_____, _____ in _____.

Odgovorite na vprašanja:

Na kašni osnovi nastane zvar pri elektrouporovnem varjenju?

Zvariti je potrebo skupaj dve cevi. Na kašnen način bi to naredili?

Od kod energija pri obločnem varjenju in od kod energija pri plamenskem varjenju.

Kaj je oblok in kako nastane?

Kaj je plazma in kako nastane?

Ali je oprema za plazmo dražja od opreme za TIG? V čem so prednosti in slabosti obeh postopkov?

Kakšna je razlika med MIG in MAG postopkom varjenja?

Zakaj nastane galvanska korozija, če z jekleno kovico spojimo dve plasti bakra?

Teme za razpravljanje:

Odpad za predelavo jekla na leto predela 100.000 ton jekla. S katerim postopkom bi se lotili rezanja jekla? Analizirajte posamezne postopke in se odločite za najoptimalnejšega. Odgovor utemeljite.

Doma občasno varite manjše dele. Kakšen varilni aparat bi si kupili? Na osnovi katerega faktorja bi se odločili? Analizirajte posamezne varilne aparate in njihove karakteristike.

V ladjedelnici so dobili naročilo za izdelavo nove ladje. Kot tehnolog se morate odločiti za nakup potrebne opreme za varjenje in razrez pločevine. Kako bi se odločili? Kako bi zagovarjali vašo odločitev pred direktorjem?

V votlo plastično cev bi radi vtisnil čep enakega materiala, tako da bi bil sestav nerazdružljiv. Spoj bi moral biti izveden brez vijakov in biti tlačno obremenjen približno 3 bare. Poiščite rešitve problema.

7 POVRŠINSKE PREVLEKE

Končni cilj vsakega podjetja je uspešna prodaja, ki prinaša preživetje, dobiček in razvoj. Če želimo uspeti s prodajo izdelkov na nekem trgu, moramo biti drugačni in boljši od drugih. Zato moramo pri izdelku paziti tudi na image (imidž), obliko (design), barvo, ipd. Izdelku, naprimer avtomobilu, ki bi imel že ob nakupu na površini lise (kot posledico slabe priprave površine), hrapavo površino (kot posledico prašnega okolja, v katerem bi karoserijo lakirali), poleg tega pa bi se v dveh ali treh letih pojavila rja, ki bi ustvarjala mehurje, bi se kupci dosledno izognili. Površinska prevleka je tista, ki daje prvi vtis o izdelku in ta je zelo pomemben. Površinske prevleke pa nimajo samo estetske vrednosti. Nekateri izdelki brez površinske prevleke enostavno ne bi obstajali, ker jim površinska prevleka omogoča določeno funkcijo: teflonska ponev za palačinke, ogledalo, emajlirana kuhinjska posoda, plošča za tiskano vezje, oplemenitena rezalna orodja idr.

Za izdelavo površinskih prevlek, ki zagotavljajo zaščito površine pred korozijo, agresivnimi mediji in atmosfero, ustrezen estetski videz in dolgo življenjsko dobo z obstojnostjo v neugodnih razmerah, poznamo kar nekaj vrst postopkov.

7.1 PRIPRAVA POVRŠIN

Dele, ki jih želimo zaščititi pred korozijo ali na njihovo površino nanesti površinsko prevleko, moramo najprej očistiti, da dosežemo čim boljši oprijem nanešene plasti z osnovnim materialom.

Običajno odstranimo s površine prah, maščobe in okside, če pa obnavljamo predmete, odstranimo staro propadajočo površinsko plast. Poznamo več postopkov:


1. Mehansko čiščenje
 - Brušenje: brusni papir, brusne plošče, lamelni brusilniki.
 - Poliranje: razne polirne paste; ročno ali strojno.
 - Strganje: žične ščetke, razna strgala.
 - Peskanje: kremenčev pesek ali jeklene kroglice.
2. Kemijsko razmaščevanje
 - Uporabljamo za odstranjevanje maščob s površine predmetov.
 - To opravimo z različnimi organskimi tekočimi sredstvi: petrolejem, trikloretilenom, čistilnim bencinom, alkoholom, alkalnimi raztopinami, ...
3. Elektrokemijsko razmaščevanje
 - Uporabno za odstranjevanje maščob.
 - Obdelovance obesimo v kad, ki je napolnjena z raztopinami natrijevega fosfata, hidroksida ali karbonata.
 - Raztopina je segreti na določeno temperaturo.
 - Stena kadi je iz nikljevega jekla, ki je obstojno v bazičnih raztopinah in služi kot anoda (+).
 - Predmeti so vezani na katodi (-); med elektrodama teče električni tok.
 - Po razmaščevanju predmete izpiramo z vodo.
4. Kemijsko in elektrokemijsko luženje
 - Namenjeno je odstranjevanju oksidov in ogorine s površine predmetov.
 - Kemijsko lužimo v raztopinah soli, kislinah ali lugih (žveplena kislina, solna kislina, kuhinjska sol, ...).
 - Temperatura kopeli je okrog 80 °C.
 - Pri kemijskem luženju predmete samo potapljam v kemijsko sredstvo, pri elektrokemijskem postopku pa predmete potopimo v elektrolit in jih vezemo kot katodo (-).

7.2 POSTOPKI NANAŠANJA POVRŠINSKIH PREVLEK

Najpogosteje srečamo v tehnologiji izdelave izdelkov široke potrošnje avtomatizirane postopke, ki zagotavljajo enako kvaliteto prevlek na vseh izdelkih in ponovljivost izdelave. Za nanos površinskih prevlek so možni naslednji postopki :

- potapljanje v talino raztaljene kovine (Zn, Sn, Pb, Al);
- emajliranje (steklo);
- barvanje in lakiranje (organske in anorganske snovi);
- nanašanje prašnih prevlek (umetne snovi);
- termično brizganje (kovinske, keramične, organske in povezovalne obloge);
- izdelava prevlek z varjenjem in lotanjem (kovine);
- PVD in CVD postopek (TiN, CrN, TiAlN, ...);
- Galvanizacija (Cr, Zn, Cu, Ni, Au, Sn, ...);

7.2.1 Potapljanje v talino


Predmet potopimo v kopel iz raztaljene kovine, pred tem pa je potrebno izdelke dobro očistiti z luženjem . Uporabljamo kovine, ki imajo nizko tališče: Sn, Zn, Pb, lahko pa tudi Al.

Kositrenje

- Uporabljamo ga v glavnem za jekleno pločevino. Pokositrano pločevino imenujemo bela pločevina in jo uporabljamo za pločevinke/konzerve v prehrabeni industriji.
- Kositer je nestrupen in zelo odporen proti organskim kislinam.
- Jekleno pločevino z luženjem in izpiranjem v vodi dobro očistimo ter jo potopimo v kopeli iz raztaljenega kositra.
- Temperatura kopeli je 250 °C–280 °C.
- Uporabimo dve zaporedni kopeli; v prvi je nečist, v drugi pa čist kositer. S tem prihranimo pri stroških in znižamo ceno.
- Namesto izdelane s potapljanjem se v sedanjem času uporablja belo pločevino, ki je elektrolitsko kositrana.

Cinkanje

- Ker je kositer predrag, uporabljamo, kjer je to mogoče, cink.
- Postopek omakanja v cink poteka pri temperaturi 430 °C–450 °C.
- Na površini jekla se pojavi naprej plast zlitine železa in cinka, nad njo pa je plast čistega cinka. Plast naj bo čim tanjša – taka je bolj elastična in pri pločevini omogoča preoblikovanje: krivljenje, robljenje, ...
- Izvajamo za zaščito jeklene pločevine, raznih profilov in delov konstrukcij proti vodi in atmosferskim vplivom.
- Zaradi zniževanja vsebnosti SO₂ v zraku se podaljšuje obstojnost zaščitne plasti, narejene z vročim cinkanjem, zato je v trenutnih razmerah obstojnost zaščitne plasti debeline 3–6 μm celo do 100-letna.

Na spletu poiščite  natančna navodila za pripravo izdelkov za vroče cinkanje – potapljanje v raztaljeni cink.



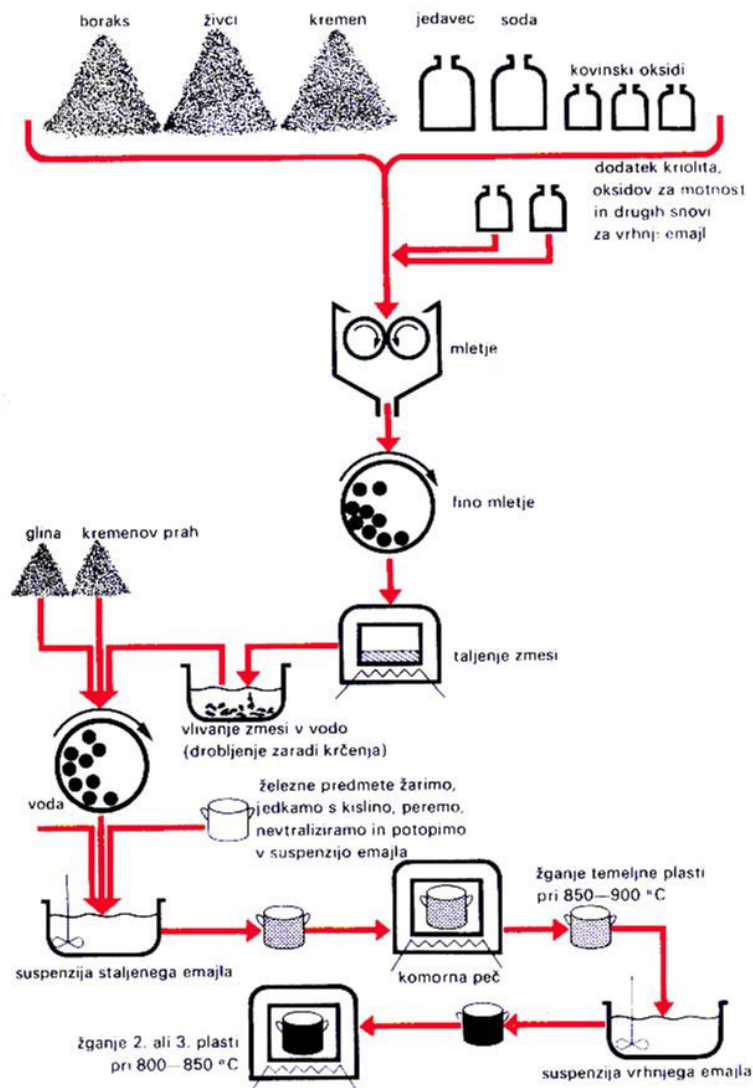
Svinčenje

- Uporaba za dele, ki naj bodo odporni proti žveplu, žveplenim spojinam in param: kotli za kisline, odtočne cevi,
- Svinčena kopel ima temperaturo 340–360 °C.
- Zaradi boljše obstojnosti ji dodajamo nekaj kositra in antimona.

7.2.2 Emajljanje

Zaradi razmeroma zelo visoke talilne temperature so emajli uporabni samo za kovine z visokim tališčem. V glavnem poznamo emajle za lito železo in emajle za jekleno pločevino. Emajli so lahko prozorni ali neprozorni, torej brezbarvni ali barvani. Izvirajo iz mineralov (so torej anorganski).

Emajlirana snov je sestavljena iz steklenega prahu (borosilikatno steklo) in barve. Snov pomešamo z vodo, da dobimo kašo, ki jo nanesemo na kovinski predmet. Če hočemo doseči dobro kvaliteto emajla, jo moramo nanašati na očiščeno površino v več plasteh.



Slika 193: Shema emajljanja

Vir: <http://www.minet.si/gradivo/seminarske/49910Output.pdf/> (7. 2. 2011)

Na spletu poiščite predstavitev postopka , lastnosti emajliranih površin in uporabnost tovrstnih prevlek .



Pločevina, ki je primerna za emajljanje, mora zadoščati določenim pogojem oziroma mora imeti določene lastnosti. Emajliramo lahko nekatere aluminijeve zlitine, jekleno pločevino in lito železo.

Emajliramo lahko po vlažnem in suhem postopku.

Pri **vlažnem emajljanju** emajl nanašamo s posebnim razpršilnikom ali s potapljanjem predmeta. Predmet nato sušimo in žgemo nekaj minut pri visoki temperaturi 750 °C–1100 °C,

potem ga ohladimo in zopet nanašamo emajl, če je emajliranje v več slojih. Sledi ponovno žganje pri nekoliko nižji temperaturi in ohlajanje.

Suho emajliranje bi lahko imenovali tudi oprashaevanje predmetov.

Posebnost so fosforescenčni emajli, ki oddajajo svetlobo tudi v temi, zato jih uporabljamo za varnostne označevalne simbole za izhod v sili ipd.

7.2.3 Barvanje in lakiranje

Namen premazov je zaščititi kovino pred korozijo in ji dati primeren dekorativni izgled. Nanosi barv in lakov so običajno večslojni. Namen osnovnega sloja je zagotoviti dober spoj s kovino, naslednji sloj pa jo štiti in daje lep izgled. Barvni premazi so sestavljeni iz barve in veziva.

Za **barve** lahko uporabljamo cinkov oksid, cinkov kromat ali železov oksid ter druga anorganska barvila, ki jih raztopimo v vezivu. Za vezivo uporabljamo laneno olje in firnež. Take barvne premaze uporabljamo predvsem za barvanje jeklenih konstrukcij. Nanašamo jih na očiščene površine. Barvo nanašamo s čopičem, s potapljanjem predmeta v barvo ali z razprševanjem.

Lake uporabljamo za zaščito kovin. Poznamo oljne lake, ki so sestavljeni iz olja, smole in topil; uporabljamo jih za zaščito lesa in pločevinaste posode.

Nitrocelulozni laki so sestavljeni iz nitroceluloze in topil, to so acetati, toluol in alkohol.

Druga skupina nitrocelulozних lakov so smole in mehčalci, ki napravijo film prožen in odporen proti pokanju. Dobra stran takih lakov je hitro sušenje; uporabljamo jih za barvanje avtomobilov in drugih transportnih sredstev.

Poznamo tudi lake na osnovi umetnih smol. Nekateri se hitro sušijo in so po zunanem videzu podobni oljnim lakom, nekateri imajo za osnovo tudi fenolne smole in se sušijo šele pri povišani temperaturi do 120 °C. So zelo obstojni in popolnoma netopni.

Poznamo tudi posebne vrste lakov na osnovi vinilnih smol. Ti so mehki in zelo odporni proti kemikalijam.

Glede na okoljsko ozaveščenost in zakonske zahteve pa se v zadnjem času razvijajo celo avto laki na vodni osnovi.

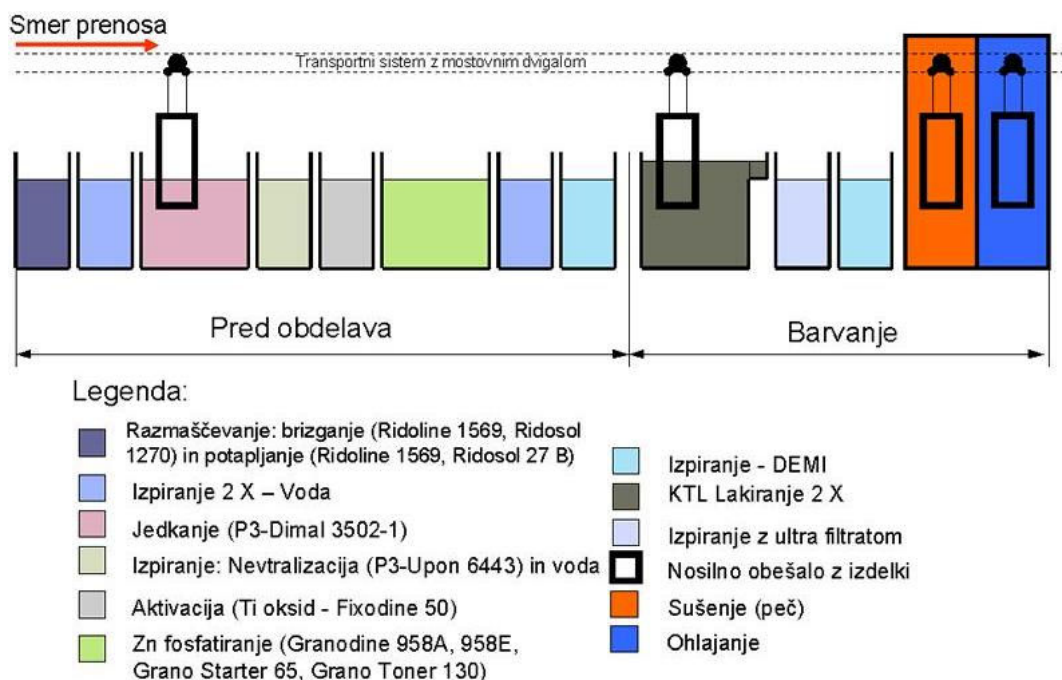
Če nanašamo barvo (ali lak) z razpršilnikom, jo ustrezno razredčimo s posebnimi razredčili. Pri nanašanju z razpršilnikom je potrebno upoštevati stroge predpise. Vse zahteve za ustrezno narejene kombinirane lakirno sušilne komore so zapisane v standardu SIST EN 13355, ki tudi predvideva določitev con eksplozijske ogroženosti, upoštevati pa je potrebno tudi uredbe o emisiji snovi v zrak iz lakirnic.



Slika 194: Lakiranje v lakirni komori

Vir: http://www.modrival.si/index.php?option=com_frontpage&Itemid=5/ (7. 2. 2011)

V avtomobilski industriji je znano potopno nanašanje zaščitnega sloja (barve, antikorozijske zaščite, ...) s pomočjo električnega toka, v črni barvi in v različnih debelinah, imenovano **kataforeza**. To je tehnološki postopek površinske zaščite kovinskih delov z elektronanosom, sestavljen iz več faz:



Slika 195: Lakiranje s kataforezo

Vir: <http://www.fico.si/Storitve/Kataforeza/tabid/126/language/en-US/Default.aspx>
(7. 2. 2011)

7.2.4 Nanašanje prašnih prevlek

Z okoljskega vidika je najprimernejši postopek **praškastega elektrostatičnega lakiranja** s polimernimi materiali, pri katerem se delci polimera pri prehodu skozi močno električno polje nabijejo, nato pa jih na podlago pritegnemo z električno napetostjo. Pri nanosu si pomagamo tudi z roboti. Sledi segrevanje na 180 °C–250 °C, pri čemer se polimeri stalijo in razlijejo po površini izdelka ter polimerizirajo. Sledi ohlajanje izdelkov. Prašno lakiranje manjših izdelkov si lahko omislite kar doma.

S **pršilnim nanašanjem prevlek brez segrevanja prahu** lahko nanašamo tudi kovinske (Al in Ti zlitine) prevleke. S posebnim postopkom z močnim curkom plina (helij, dušik) pospešimo delce do hitrosti 1200 m/s. S to hitrostjo delci priletijo ob podlago, kjer se deformirajo, sprimejo in oblikujejo površinsko plast. Hitrost lahko še povečamo s segrevanjem plina (do 500 °C). Slaba stran postopka je visoka cena in obraba šobe (tip Laval).

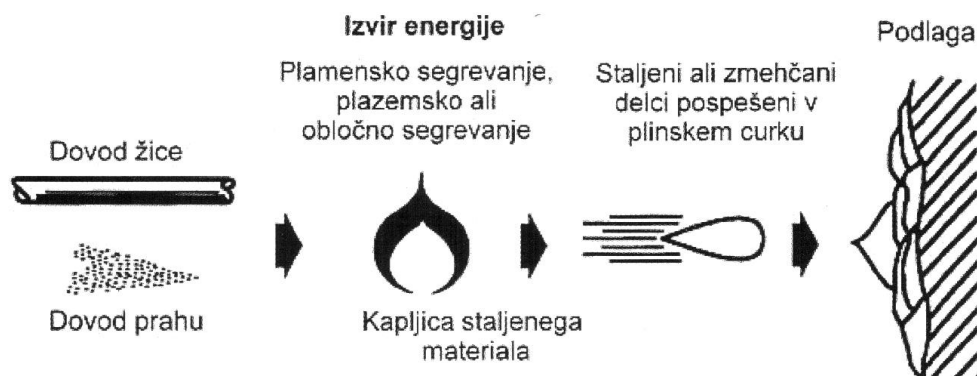
7.2.5 Termično brizganje

Termično brizganje uporabimo, ko želimo zaščititi površino proti obrabi. Uporabijo se lahko kombinacije kovin. Osnovni material zagotavlja mehanske lastnosti, medtem ko zaščitna plast ščiti pred korozijo, zagotavlja odpornost proti obrabi ali lastnosti strukture.

Uporabljajo se različne obloge:

- kovinske (W),
- keramične,
- organske,
- povezovalne obloge.

S takimi oblogami je življenjska doba proizvodne opreme bistveno podaljšana. Toplotno pršilne postopke uporabljamo tudi za popravilo poškodovanih delov.



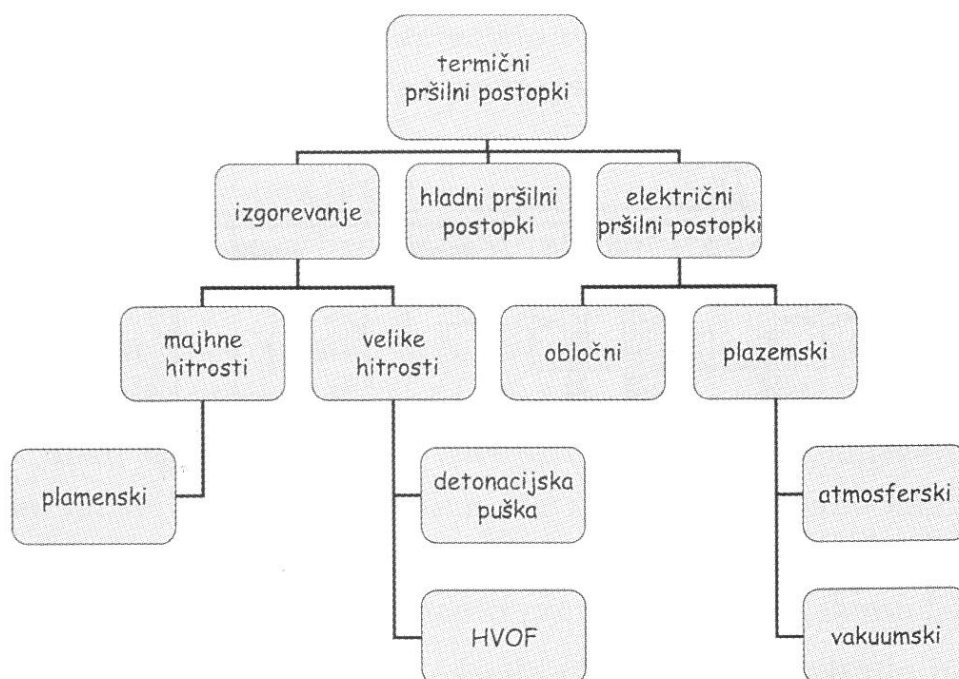
Slika 196: Postopek toplotnega brizganja prevlek
Vir: Kuzman, 2010, 887

Obremenjene površine termično brizgamo z različnimi variantami postopkov termičnega brizganja, ki zahtevajo posebne procesne pline, kot so plini za predhodno in naknadno obdelavo (taljenje in hlajenje). Potrošni material je lahko v obliki žice ali prahu, energijo pa zagotavlja plazma, oblok ali plamen.

Material, ki ga s plamenom ali plazmo segrejemo do temperature tališča, s pomočjo močnega toka inertnega plina pospešimo do podlage, na katero prileti v drobnih kapljicah. Te z veliko hitrostjo udarijo ob hladno podlago in se na njej srdijo. Ob udarcu se kapljice deformirajo in sprimejo med seboj in s podlago. Nanesena plast se dokaj hitro shladi, saj je temperatura podlage praviloma manj kot 200 °C. Zaradi različnih toplotnih raztezkov prevleke in podlage so v prevleki prisotne zaostale napetosti, ki omejujejo debelino nanosa (zlasti keramičnih nanosov). Prevleke se praviloma mehansko sidrajo na podlago, le redko pride do mikrozvarov. Pri nanosu samotekočih zlitin (NiCrBSi) se na meji vzpostavi difuzijski spoj. Oprijemljivost povečamo s predhodnim jedkanjem ali peskanjem površine, za keramične prevleke pa tudi z uporabo vmesne plasti. Ta kompenzira kemijsko neskladje podlage in plasti ter izrazito različno termično raztezanje. Na oprijemljivost vplivajo: vrsta materiala, nanosa in podlage, postopka, debeline nanosa in priprave površine podlage.

S termičnim brizganjem zaščitimo podlage iz jekla, lito železo, titan in titanove zlitine, aluminijeve zlitine, nikelj in nikljeve zlitine, materiale na osnovi bakra in kobalta, keramike, izjemoma tudi plastiko, steklo in les.

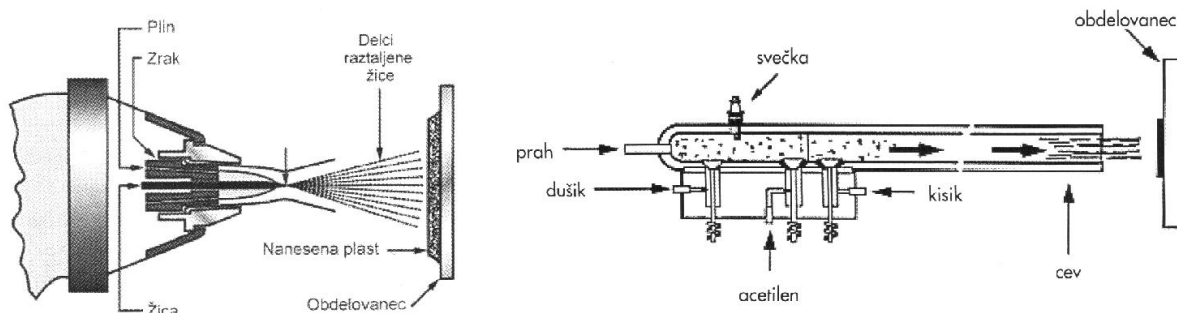
Postopke izvajamo na več načinov, delimo pa jih glede na način taljenja materiala na nižjeenergijske (plamenske, detonacijske, HVOF) in višjeenergijske (električne obločne in plazemske):



Slika 197: Razdelitev postopkov toplotnega brizganja

Vir: Kuzman, 2010, 889

Plamenski postopek izkorišča kisikov plamen, v katerem z mešanico z acetilenom dosežemo do 3000 °C. Hitrost kapljice je 30–300 m/s. Plast, ki jo dosežemo, je izrazito porozna, postopek pa enostaven in poceni. S tem postopkom nanašamo molibden na bate motorjev z notranjim zgorevanjem ali aluminij za korozijsko zaščito komponent ter obrabno in korozijsko obstojne prevleke NiCrBSi ali CoCrBSi.

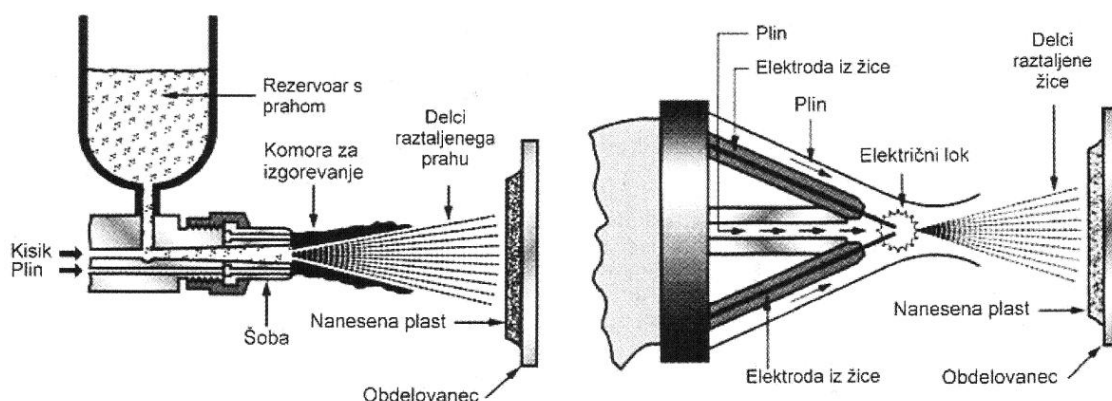


Slika 198: Plamensko nanašanje prevlek iz žice in postopek z detonacijsko puško

Vir: Kuzman, 2010, 889–890

Z **detonacijsko puško** lahko dosežemo hitrost prašnih delcev do 730 m/s, periode detonacij pa si sledijo večkrat v sekundi. Dosežena oprijemljivost in gostota plasti sta visoki.

Visokohitrostno plamensko nanašanje (HVOF) omogoča še višje hitrosti: do 800 m/s ob stiku s podlago, kar je posledica zgorevanja pri višjih tlakih in doseganje nadzvočnih hitrosti vročih izhodnih plinov. Plasti so zelo goste, oprijemljivost visoka, koncentracija kisika pa majhna. Postopek je primeren za obdelavo materialov, ki se razgradijo pri visokih temperaturah. Tako nanašamo karbidne prevleke s kovinsko fazo (WC+Co), zlitine na osnovi Ni in Co (steliti), nikljeve zlitine (hasteloy in inkonel) in jeklene zlitine (avstenitna jekla).



Slika 199: Visokohitrostno plamensko nanašanje prevlek HVOF in plazemski postopek nanašanja prevlek

Vir: Kuzman, 2010, 890–891



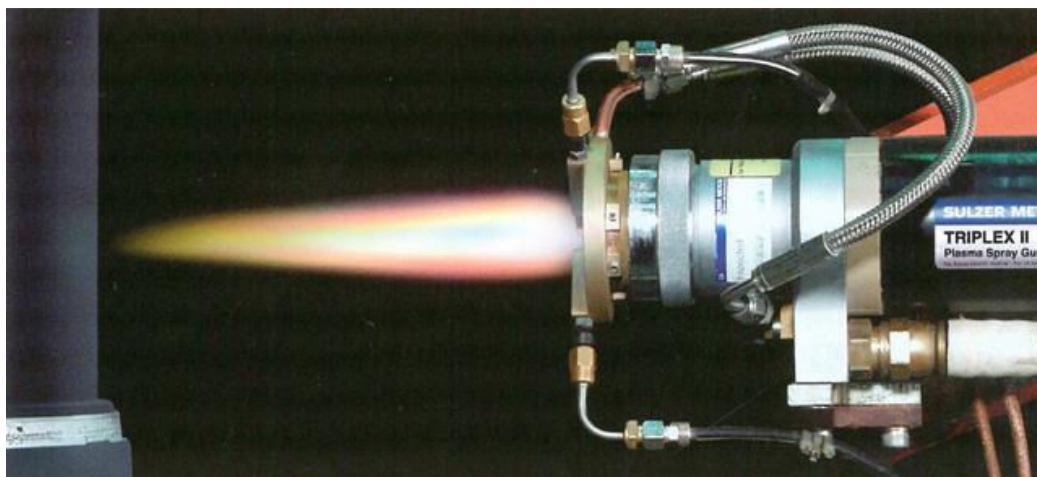
Slika 200: Visokohitrostno plamensko nanašanje prevlek

Vir: <http://www.plasmacoat.co.uk/media/6915/hvof%20coating%20datasheet.pdf>
(8. 2. 2011)

Plazemski vir energije uporabljamo pri treh načinih nanosa:

Pri **obločnem pršilnem postopku** se med konicama dveh žic, priključenih na enosmerno napetost, prižge oblok. Žici sta iz materiala, ki ga želimo nanesti na podlago. Močan tok plina atomizira talino (pri 2200–5800 °C) v kapljice in jih s hitrostjo 250–335 m/s prilepi na podlago. Prevleka je plastna, oprijemljivost odlična, poroznost pa nekoliko večja od tiste pri plamenskem nanašanju. Pri električno prevodnih materialih uporabljamo polno žico iz izbranega materiala, pri nanašanju električno neprevodnih materialov pa žico, ki imajo v sredici material oplastitve, plašč pa je elektroprevoden in zagotavlja nastanek obloka. Postopek je ekonomičen, uporaben tudi za zaščito konstrukcij pred korozijo (zaščita mostov ali ograj s prevleko cinka in aluminija).


Pri **atmosferskem plazemskem pršilnem postopku** se prižge plazma med elektrodo in šobo, ki je anoda. Temperatura plazme preseže 30.000 K. V takšni plazmi stalimo praktično vsak keramični material. Obe elektrodi sta vodno hlajeni. Dosežemo hitrost 450–700 m/s. Postopek lahko poteka na zraku (toplotna zapora ZrO_2 , kromoksidne prevleke na tiskarskih valjih ali Al_2O_3 neprevodne plasti v elektroniki), v zaščitni atmosferi (WC/Co) ali v vakuumu (titan na implantante, zaščita lopatic plinske turbine).



Slika 201: Plazemsko nanašanje prevlek




Vir: <http://www.plasmacoat.co.uk/media/6918/plasma%20coatings%20data%20sheet.pdf/>
(8. 2. 2011)

Plazemski postopek iz tekočine je manj znan, omogoča pa izjemno veliko hitrost nanašanja (45 kg/h za Al_2O_3). Plazemski lok nastane med anodo in katodo, vmes pa je običajno voda. To plazma razgradi na vodik in kisik, hkrati pa voda zagotavlja hlajenje elektrod. S tem je omogočeno dolgotrajno delovanje in izdelava večjih izdelkov, npr. nekajmetrske cevi reaktorja s premerom 35 mm in debelino stene 5 mm. Prevleko nanašamo na kovinsko cev, ki jo kasneje odstranimo.

Na spletu poiščite podrobnosti postopkov s termičnim brizganjem (možnih je preko 100 vrst oplastitev) .

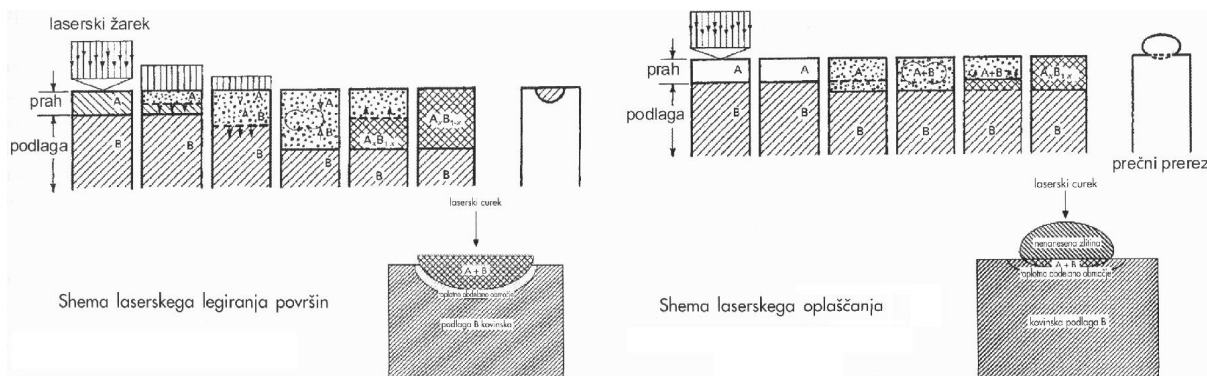


7.2.6 Izdelava prevlek z varjenjem in lotanjem

S **plamenskimi ali obločnimi navarjanjem** izdelujemo prevleke iz kovin in kovinsko-keramičnih kompozitov na različne podlage, ki morajo imeti tališče nad 1100 °C. Pri navarjanju vedno pride do taljenja in mešanja oz. medsebojnega raztapljanja materialov podlage in prevleke. Dosežemo lahko dokaj veliko debelino palsti (1,5–6 mm). Razen specifičnih primerov je običajno potrebna še površinska obdelava (brušenje, poliranje). Zaradi možnosti nanosa debelih plasti je postopek primeren tudi za obnovo obrabljenih ali poškodovanih površin in strojnih delov. Najpogosteje nanašamo abrazijsko odporne plasti s kromovimi, volframovimi ali borovimi karbidi, dispergiranimi v matrici železa, kobalta ali niklja. Pomembna je izbira ustreznega materiala za navarjanje , , . Postopki so tehnološko identični varjenju.

Postopki **pulznega mikroobločnega navarjanja** s frekvenco iskrenja 1000 Hz, ki so nasprotni potopni eroziji, omogočajo zelo plitek vpliv in skoraj ne pride do mešanja materialov. Delovna temperatura je blizu sobni, omogoča pa nanos kovinskih karbidov na podlage, ki jih težko varimo. Debelina nanosa je 3–250 μm . Pri nanašanju na rezilni rob ta otopi, zato to ni prava izbira za orodja.

V uporabi je tudi **lasersko nanašanje prevlek**, ki uporablja energijo laserja za nanos zaščite proti abraziji. Poznamo dva postopka: lasersko legiranje (obogatimo z dodajnim materialom) in lasersko oplaščanje površin (lasersko induciran nanos prevleke).




Slika 202: Lasersko navarjanje

Vir: Kuzman, 2010, 884–885

Pri **laserskem legiranju** dobimo homogeno mešanico podlage z dodanimi legirnimi elementi. Na ta način, naprimer, povečamo korozijsko obstojnost in trdoto zlitine *cirkalov*, če jo legiramo z niobijem.

Lasersko oplaščenje ustvari nanos plasti dodatnega materiala z majhnim deležem elementov podlage v plasti. CO₂ laser naredi energetski žarek, s katerim stalimo osnovni material in prašek za zaščito. Posebni koaksialni tulec skrbi za dotok praška, 4-osni CNC stroj pa skrbi za natančen zaščitni nanos tako, da zagotavlja pravilno razdaljo med laserjem in obdelovancem. Ves postopek se z lahkoto ponovi in je tako primeren tudi za serije obdelovancev. Kompletno prekritje dosežemo tako, da se sloji delno prekrivajo.




Na spletu poiščite razlago postopka in uporabnost laserskega oplaščenja .

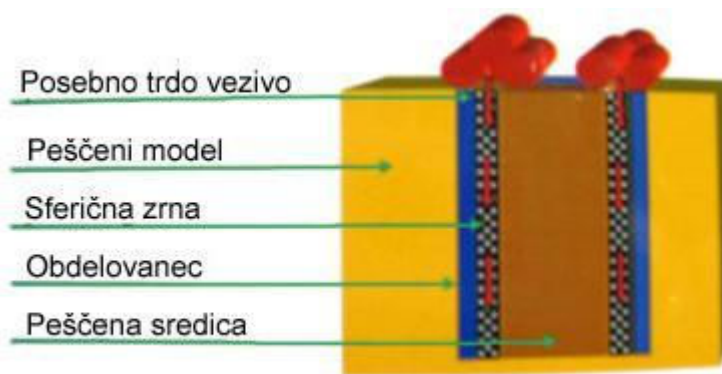
Pri laserskem oplaščenju običajno govorimo o sintezi plasti iz kompozitov kovine-matrice (*MMC – metal-matrix composites*). Poleg WC uporabimo lahko še prah (refraktorskega materiala) SiC, TiN in TiB₂, ki mu primešamo Al, Cu. Po osvetlitvi z laserskim žarkom ustrezne moči se raztali komponenta z nižjim tališčem, trdi refraktorski delci pa ostanejo v trdnem stanju. Po strditvi nastane nekaj milimetrov debela plast kovinskega kompozita s trdimi refraktorskimi delci. Poleg elementov predhodno nanese plasti se pod vplivom laserskega žarka raztali tudi vrhnji sloj podlage, kar omogoči nastanek difuzijskega spoja med podlago in plastjo in zato dobro adhezijo. Ta postopek uporabljamo za zaščito robov turbinskih lopatic, legiramo lahko nerjavno jeklo z WC, kar omogoči povečanje trdote z 200 na 1000 HV, kavitacijsko erozijo pa zmanjša za faktor 30.

Z laserskim navarjanjem lahko izvajamo tudi **reparaturno varjenje**.



Raziščite uporabnost laserskega navarjanja .

Nanašanje plasti je možno tudi na zelo zahtevne površine, tudi v notranjost izdelka. Pri takih zahtevah je navarjanje uporabno omejeno, zato se poslužujemo postopka **Technocasting**, ki je zelo podoben livarskim metodam. Z uporabo te metode se kovina v modelu prepoji z zmesjo iz volframovega karbida.



Slika 203: Princip tehnologije *Technocasting*

Vir: <http://users.triera.net/tehning/technogenia/technocasting.htm/> (8. 2. 2011)

Raziščite postopek in uporabnost livarskega oplaščanja .



Slika 204: Primeri izdelkov s tehnologijo *Technocasting*

Vir: <http://users.triera.net/tehning/technogenia/technocasting.htm/> (8. 2. 2011)

Z **lotanjem ali spajkanjem** običajno prevlečemo priključnice električnih kontaktnih elementov, ki jih kasneje vgradimo na tiskana vezja in morajo zagotoviti omočljivost spajke ter dobro električno prevodnost. Vendar pa spajkanje ni omejeno le na električne kontakte. MIG spajkanje je podobno MIG/MAG postopku varjenja, proces pa klasičnemu spajkanju. Taljiva elektroda – spajka je navita na brezkončnem kolutu, katera se od podajalno krmilne naprave transportira do kontaktne šobe oziroma varjenca. Gorilnik oziroma taljiva elektroda je pri MIG spajkanju priključena na plus pol, varjenec pa na minus pol. Bistvo MIG spajkanja je, da ima dodajni material bistveno nižje tališče kot osnovni material, ki se ne tali, kar pomeni, da imamo v sam obdelovanec vnesene bistveno manj toplote in posledično manj deformacij.

Za postopek MIG spajkanja se odločimo po potrebi pri spajanju različnih materialov, barvnih kovin (npr. bakra) in materialov, ki so prevlečeni z zaščitno antikorozijsko plastjo (npr. cink). Postopek je tudi izredno produktiven v primerjavi z ostalimi spajkalnimi postopki. Za spajanje pocinkanih pločevin se najpogosteje uporablja spajka s sestavo 97 % bakra in 3 % silicija. Prav tako se lahko omenjena spajka uporabi za spajkanje jekla z bakrom. Omenjena tehnologija je, analogno varjenju, uporabna tudi za oplasčanje površin.

7.2.7 PVD in CVD postopki

Osnovne informacije o postopkih CVD in PVD so obdelane že v poglavju 3.5.2. Na tem mestu bomo obravnavali napotke, ki so bolj uporabni za izbiro postopka.

Bistvo **kemičnega postopka nanašanja iz parne faze** (*chemical vapour deposition – CVD*) je kemijska reakcija med izbranimi plini na vroči podlagi (800–1000 °C). S tem postopkom nanašamo npr. TiN prevleke pri atmosferskem tlaku, lahko pa pri znižanem tlaku, ki omogoča bolj enakomerno in kakovostnejšo prevleko na večjih površinah. Zagotovljena je odlična adhezija med plastjo in podlago, majhne notranje napetosti v plasti (debelina plasti do 10 µm), potreben čas za nanos pa je 3–4 ure.

Debelina plasti je enakomerna tudi v režah in globokih luknjah. Zaradi visokih temperatur lahko delamo le na nekaterih podlagah (karbidne trdine). Zaradi nastajanja nevarnih snovi je postopek zahteven in okolju neprijazen; zahteva posebne varnostne ukrepe. Postopki pri nekoliko nižjih temperaturah (700–900 °C) temeljijo na dodajanju organskih spojin, kar omili negativne karakteristike klasičnega CVD postopka.

Danes s tem postopkom nanašamo keramične prevleke na stružne nože, diamantne in alumosilikatne prevleke, prav tako tudi izvajamo zaščito nekaterih orodij za preoblikovanje. V polprevodniški tehnologiji s tem postopkom izdelujemo izolacijske in zaščitne plasti. Enak postopek uporabljamo za pripravo diamantu podobnih prevlek.

Postopek CVD v plazmi PACVD, omogoča nanos keramičnih prevlek pri bistveno nižji temperaturi (pod 500 °C). Eden izmed postopkov je plazemska polimerizacija. Ob prisotnosti kisika, dušika in silicija se del ogljikovodikov izloči na površini podlage in polimerizira.

Hitrost nanašanja je 100 nm/min in več. S tem postopkom lahko pripravimo polimerne plasti iz vseh materialov, ki jih lahko uplinimo. Podlage so lahko kovinske ali polimerne. Polimeri, narejeni s plazemsko polimerizacijo, so visoko zamreženi, netopni, temperaturno stabilni ter odlična zapora za pline in tekočine.

PA-CVD postopki imajo pred PVD postopki prednost v uporabnosti za velike površine podlage s kompleksno geometrijo. Prednost pred CVD postopkom je v nižji temperaturi, vendar se v prevleke PA-CVD vgradi več nečistoč in napak ter so manj goste od CVD prevlek.

S tem postopkom izdelujemo tanke plasti amorfnega silicija Si-H za sončne celice, zaporne plasti in tanke plasti organskih polimerov iz organskih monomerov.


Fizikalnim postopkom (*physical vapor deposition – PVD*) je skupno nanašanje plasti v treh korakih:

1. v prvem koraku razgradimo masivni material na atome ali molekule,
2. v oblik atomov ali molekul jih prenesemo skozi vakuum,
3. na podlago jih kondenziramo v obliki tanke plasti.

Osnovne izvedbe niso primerne za nanos trdih zaščitnih prevlek. V ta namen uporabljamo reaktivno nanašanje, kjer TiN prevleko pripravimo iz dveh komponent: eno uparimo z naparovanjem ali naprševanjem (kovinski Ti), drugo pa dovajamo v obliki reaktivnega plina (N₂). Ker pripravimo plazmo v bližini podlage in pospešujemo ione proti podlagi z negativno prednapetostjo podlage, temu načinu pravimo ionsko prekrivanje.

Naparovanje tankih plasti lahko izvajamo tudi z laserjem (*pulsed laser deposition – PLD*).

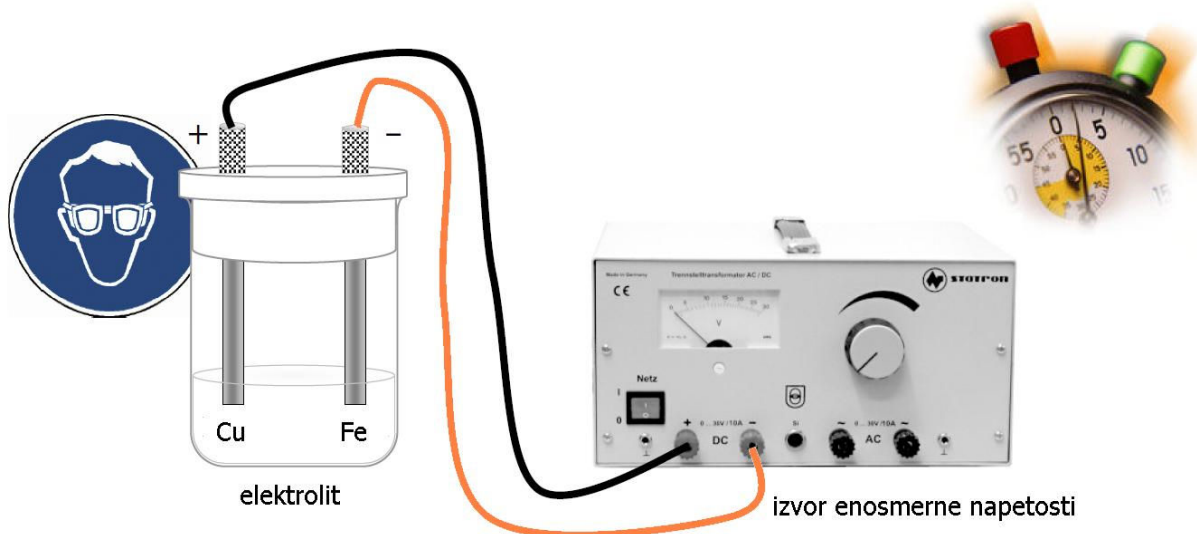
Praktično neomejen spekter prevlek pa zagotavlja pulzno magnetronsko naprševanje pri velikih močeh (*high power pulsed magnetron sputtering – HPPMS*), s katerim lahko nanašamo električno neprevodne prevleke (Al_2O_3 , ZrO_2 , $(\text{Cr,Al})_2\text{O}_3$, Si-O-N). Med njimi je za oplastitev stružnih nožev najbolj zanimiva Al_2O_3 , ki omogoča veliko toplotno obstojnost prevleke. S to metodo izvajamo nizkotemperaturne prevleke tudi za zaščito strojnih delov.

O vrstah PVD prevlek, njihovih lastnostih in primerih uporabe si pogledajte spletne strani Centra za trde prevleke (CTP) pri Inštitutu "Jožef Štefan" .



7.2.8 Galvanizacija

Zelo pogost način nanašanja zaščitnih prevlek je galvanizacija .



Slika 205: Postopek galvanske zaščite

Vir: <http://www.bs-wiki.de/mediawiki/images/Galvanisieren.pdf> (8. 2. 2011)

S to družino postopkov izvajamo oplastitev z zaščitnimi kovinami: Cr, Zn, Cu, Ni, Au, Sn in različnimi zlitinami. Bistvo elektrokemičnih postopkov je elektroliza, elektroforeza in anodna oksidacija. Postopki so zelo razširjeni in so zelo stari (postopki zlatenja in srebrenja že od 1840).

Danes se najpogosteje uporabljeno elektrolitsko kositrenje za izdelavo bele pločevine. Poleg tega uporabljamo postopke za zaščito pred korozijo in obrabo, v dekorativne namene, izdelavo tiskanega vezja ter za elektroforming.

Za izvedbo **galvanskega postopka** je potrebno obdelovanec priključiti tako na negativni pol (katodo) kot tudi na anodo (pozitivni pol) pri tem pa uporabimo zaščitno kovino, ki mora biti topna v elektrolitu, v katerega se izločajo kovinski ioni. Če je anoda netopna, mora biti električno prevodna. V tem primeru se na anodi izloča kisik, delci za oblikovanje prevleke pa morajo biti prisotni v elektrolitu.

V električnem tokokrogu imamo napetost 12 V in zelo visok tok – do 1000 A.

Postopki omogočajo natančen nadzor debeline in hitrosti oplaščanja. Nanašamo do debeline 20 μm , za večje vrednosti običajno postopki niso ekonomični, razen pri trdem kromu, ki ga nanašamo do debeline 500 μm , ter pri niklju, pri postopku elektroforminga.

Poleg osnovnih plasti lahko izdelamo tudi kompozitne plasti. V ta namen v elektrolit poleg zaščitnih kovin dodamo tudi delce polimerov (npr. teflonske delce) ali keramike (ZrO_2 ali WC).

Med elektrokemične postopke prištevamo tudi že omenjeno **elektroforezo** – kataforezo. Material, ki ga želimo nanesti (kovino, polimer, keramiko), se v obliki suspenzije nahaja v elektrolitu. Delci se naelektrijo; v elektrolitu potekajo določene reakcije, v končni fazi pa z električno napetostjo 200–500 V med katodo in anodo nabite delce potegnemo na obdelovanec. Polarizacija je odvisna od naboja delcev. Postopek zahteva majhne tokove. Tipičen primer uporabe (kataforeza) je zaščita avtomobilske karoserije, kjer s tem postopkom zagotovimo vnos osnovne barve tudi v špranje.

Med elektrolitske postopke spadata tudi elektrolitsko kromanje in eloksacija aluminija.


Pri **elektrolitskem kromanju** iz elektrolita – kromove kisline z dodatki katalizatorjev nanašamo kromovo plast.

Prevleke **trdega kroma** so kristalinične, tudi razpokane in vsebujejo vključke. Prevleka je trda, ima majhen koeficient trenja in je abrazijsko obstojna, vendar zaradi mikrorazpok manj korozijsko obstojna.

Debelina prevke je 2,5–500 μm , trdota do 900 HV. Postopek uporabljamo za zaščito ventilov, hidravličnih komponent, črpalk, vtiskovalnikov, kalupov, tiskarskih cilindrov, kirurških inštrumentov, reakcijskih posod in cevi v kemijski industriji. S tem postopkom tudi popravljamo izrabljene strojne dele.

Plast trdega kroma odbija tudi masti, kar je pomanjkljivost, če moramo drsne površine mazati, je pa ta lastnost dobra, ker odbija tudi korozijsko agresivne sovi. Trdega kroma ne moremo niti variti, niti spajkati.

Pri nanašanju trdega kroma nastajajo strupene odplake s kromovimi ioni Cr^{6+} , ki so raketovorne, zato je bolj primerno nadomestiti trdi krom s PVD prevlekami CrN.

V **svetlem kromu**, ki se uporablja v dekorativne namene , ni mikrorazpok in je zato korozijsko obstojnejši, vendar ima manjšo trdoto. Običajno ga nanašamo na predhodno nanešen baker ali nikelj, debelina plasti pa je do 1 μm .


Dekorativno kromanje ali nikljanje je izvedljivo tudi na izdelkih iz umetnih mas.

Eloksacija aluminija s postopkom **anodne oksidacije** je dokaj uveljavljen postopek pretvorbe površinske plasti aluminija v aluminijev oksid. Obdelovanec je v elektrolitski celici kot anoda. Podoben postopek bi lahko uporabili tudi za oksidacijo titana, magnezija in cinka. Obdelovanec je anoda elektrolitske celice, elektrolit pa razredčena (10–20 masnih %) žveplova (IV) kislina z dodatki ali kromova kislina, lahko pa tudi druge kisline. Nastane siva oksidna plast debeline 5–18 μm , pri trdi anodni oksidaciji pa 25–100 μm , ki je zelo porozna, zato jo je potrebno impregnirati (s smolami). Z oksidacijo zagotovimo boljšo obrabno odpornost in korozijsko obstojnost aluminijevih zlitin ter povečamo oprijemljivost barv. Z absorpcijo organskih barvil, ki se vgradijo v pore oksidne plasti, dosežemo širok spekter barv. Oksidna površina je električno neprevodna.

Poleg klasične električne poznamo še **lasersko elektrolitsko nanašanje prevlek**. Zaradi visokih napetosti so fizikalno kemični procesi na elektrodah drugačni. V osnovi nastane oksidna plast debeline 100 μm , površino pa lahko legiramo z dodajanjem izbranih elementov v elektrolit (dušik, ogljik, bor). S tem dobimo podobne pojave kot pri nitriranju, ogljičenju ali boriranju. Dodajamo lahko tudi karbidotvorne elemente (W, Mo, V).

Plazemsko elektrolizo lahko uporabimo tudi za čiščenje površin in selektivno jedkanje prevlek.

7.3 KONTROLA POVRŠINSKIH PREVLEK

Raziščite, kaj vse lahko kontroliramo z vidika učinkovitosti zaščitnih plasti .



Podobno je s kontrolo drugih lastnosti površinskih slojev – za vsako karakteristiko je (s standardom) določen način preskušanja in kontrole površinske plasti.

Poglejmo le nekaj splošnih kriterijev in področij kontrole:

- Potapljanje v talino raztaljene kovine:
kontrola debeline plasti, lahko tudi posredno s tehtanjem teže pred in po omakanju; vizuelni pregled velikosti zrn in primerjava z referenčnimi vzorci.
- Emajliranje:
kontrola korozijske zaščite, hrapavosti in debeline plasti.
- Barvanje in lakiranje:
kontrola pokritosti in debeline plasti, oprijema, hrapavosti in vizuelni pregled.
- Nanašanje prašnih prevlek:
kontrola pokritosti in debeline plasti, oprijema, hrapavosti in vizuelni pregled; kontrola funkcionalnih lastnosti pri napraševanju kovinskih plasti.
- Termično brizganje:
kontrola pokritosti in debeline plasti, drsnih in obrabnih lastnosti.
- Izdelava prevlek z varjenjem in lotanjem:
merjenje debeline plasti, enakomernosti in stanja plasti (razpoke).
- PVD in CVD postopek:
uporabne lastnosti: vzdržljivost, mikrotrdota, ...
- Galvanizacija:
kontrola debeline, hrapavosti, čistoče, korozijske odpornosti, pokritosti, enakomernosti, izgleda, ...

Pri vsaki površinski plasti je potrebno kontrolirati parametre, ki so vodili k izbiri določene prevleke. Pri tem je merilo funkcionalna in estetska ustreznost. Pred izvedbo pa je seveda potrebno preveriti, ali ponudnik lahko zagotovi določene parametre.

7.4 VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE



1. *Opišite značilnosti nanašanja trdih kovinskih prevlek v primerjavi s površinskim utrjevanjem s toplotno ali toplotnokemično obdelavo.*
2. *Kakšno površinsko plast bi priporočili za zaščito frezal iz karbidne trdine za visokohitrostno suho ali polsuho obdelavo?*
3. *Naštejte, katere površinske prevleke so primerne za korekcijo obrabljene površine.*
4. *Kakšne so primerjalno lastnosti zaščitnih plasti, narejenih z:*
 - a. *barvanjem in lakiranjem,*
 - b. *nanašanjem polimernih plasti (prašnim barvanjem),*
 - c. *vročim cinkanjem,*
 - d. *galvanskim cinkanjem.*
5. *Ali je termično brizganje uporabno za korekcijo geometrije? Utemeljite.*
6. *Obrabljeno rezilo na izkopalni žlici gradbenega stroja bi radi zaščitili pred abrazivnim učinkom. Kakšen postopek bi izbrali? Utemeljite.*
7. *Katere postopke lahko izberemo za zaščito tanke jeklene pločevine za izdelavo embalaže v prehranske namene?*

8 SKLEP

V knjigi ste spoznali postopke, ki jih potrebujemo za izdelavo enostavnega ali zahtevnega izdelka. Nekatere izdelke lahko izdelamo z litjem, za zahtevnejše izdelke uporabimo tehnologijo preoblikovanja, sintranja, če pa želimo imeti še večjo natančnost uporabimo postopke odrezovanja (struženje, frezanje, ...) oziroma postopke najfinejše obdelave (honanje, superfiniš). Na vseh izdelkih je običajno potrebno zagotoviti tudi ustrezno stanje površine, ki zagotavlja določeno uporabnost ali le estetski izgled. Posamezne komponente je potrebno včasih združiti v uporaben izdelek. Pri tem lahko uporabimo varjenje, lotanje, kovičenje ali pa samo lepljenje. Na koncu je vedno potrebno preveriti, ali smo izdelek izdelali v ustreznih tolerancah oziroma tako, kot nam predpisuje standard ali kupci. To pa je področje zagotavljanja kakovosti. Če so v preteklosti imele meritve značaj kontrole, ko je bil izdelek že narejen, je danes v veljavi sprotni nadzor. To pomeni, da mnoge meritve izvajamo že med izdelavo izdelka.

Vse večji pomen v strojništvu zavzemajo orodja za preoblikovanje ali tlačno litje. Pri izdelavi teh orodij je potrebno znanje vseh postopkov tehnologije, saj je konstruiranje in izdelava orodij pomemben strateški člen pri razvoju in vpeljavi novega izdelka na tržišče. Za proizvodnjo serijskih izdelkov je namreč potrebno izdelati orodja, ki imajo obliko negativov izdelkov. Za današnji čas je značilna naraščajoča kompleksnost orodij, ki je nastala kot posledica večje uporabnosti in vse krajše življenjske dobe izdelkov. Poleg velikega stroškovnega pritiska, ki so mu podvržena vsa proizvodna podjetja, so orodjarne podvržene še velikemu časovnemu pritisku. Pravočasno končana orodja so namreč pogoj za začetek neke proizvodnje in s tem pogoj za prihod izdelka na tržišče. Optimalna konstrukcija orodja in pravilna izbira obdelovalnih postopkov bistveno skrajšata čas izdelave orodja ter znižata proizvodne stroške. V ta namen se za prototipno proizvodnjo uporabljajo nove tehnologije, pri katerih z univerzalnim strojem izdelamo izdelek, ne da bi bilo potrebno izdelati kompletno orodje. Izvedbe tovrstnih strojev so res izvirne.

Vse to je seveda močno povezano z drugimi področji tehnike, predvsem elektrotehnike, računalništva in informatike. Razvoj sodobnih programskih orodij omogoča hiter odziv, izdelavo potrebne dokumentacije, simulacije postopkov in analizo izdelkov še pred izdelavo, kar omogoča optimizacijo načrtovanja izdelkov in postopkov. Tako ne moremo mimo ugotovitve, da je sodobno proizvodno podjetje zahtevno stičišče ne samo materialnih tokov, pač pa tudi informacijskih tokov, ki povezujejo različne funkcije znotraj podjetja in podjetje z zunanjimi partnerji. Tehnologija, kot veda, ki omogoča nastajanje novega, je v vseh teh procesih nepogrešljiva in zato tesno vpeta v razvojne trende, katerih bodoči nosilci so nove generacije strokovnjakov, katerim je ta učbenik namenjen.

9 LITERATURA

Bartenschlager, J. *Mehatronika*. Ljubljana: Založba Pasadena, 2009.

Čuš, F. *Visokohitrostno rezanje in posebni postopki obdelave*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2004.

Gologranc, F., *Preoblikovanje 1. del*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 1991.

Gologranc, F., *Uvod v preoblikovanje*. Ljubljana: Založba Fakultete za strojništvo, 1981.

Grum, J., in Ferlan, D. *Gradiva*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1987.

Gubenšek, I. *Tehnologija*. Celje: Šolski center Celje, 2004.

Gur, C. H., in Pan, J. *Handbook of Thermal Process Modeling Steels*. CRC Pr I Llc: 2008. ISBN 0849350190.

Jereb, J. *Tehnologija obdelave*. Ljubljana: DZS, 1981.

Kuzman, K., et al. *Moderno proizvodno inženirstvo*. Ljubljana: Grafis Trade, 2010.

Leskovar, P. *Gradiva, 1. del*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 1986.

Leskovar, P.: *Gradiva, 2. del*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 1986.

Muren H. *Odrezavanja in odnašanje*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 1995.

Muren, H., et al. *Strojnotehnološki priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1998.

Navodnik, J. *Plastik-orodjar (priročnik)*. Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica, 1998.

Pelhan, C. *Livarstvo*. Ljubljana: Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 1981.

Pogačnik M. *Tehnologija*. Ljubljana: CDI Univerzum, 1999.

Puhar, J., et al. *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Littera picta, 2007.

Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana: Amebis d.o.o., 2002.

Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico. Milano: Me/di svilupo, 1989.

Šostar, A. *Management kakovosti*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2000.

Zupančič, F., in Anžel, I. *Gradiva*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2007.

Program termičnega rezanja kovin. Lendava: Varstroj, 2010.

Sodobne naprave za EO varjenje. Lendava: Varstroj, 2008.

Ploščica prevlečena s TiN prevleko (online). (citirano 20. 7. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.productionmachining.com/products/wiper-insert-boosts-productivity-and-quality>.

Odnašanje z neposrednim delovanjem energij (online). (citirano 24. 8. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.njpt.com/whatis.htm>.

Prehodne izvrtine (online). (citirano 24. 8. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.wirecutcompany.com/tooling.html>.

Komplicirane oblike izdelkov (online). (citirano 24. 8. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.xactedm.com/Capabilities/Execution/index.html>.

Grafitne elektrode (online). (citirano 24. 8. 2010). Dostopno na naslovu: http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/graphit-fur-edm-elektroden-elektroden-fur-erodiermaschinen-402240.jpg.

Bakrene elektrode (online). (citirano 24. 8. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.suomenedm.fi/alihankinta/1025.jpg>.

High speed machining, Electronic Supplement, Cincinnati, OH : Gardner Publications, Inc. (online). (citirano 24. 8. 2010). Dostopno na naslovu: www.mmsonline.com/hsm.

Trdnost in trdota rezalnega materiala (online). (citirano 20. 6. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/trdnost_in_trdota_rezalnega_materiala.html.

EDM (online). (citirano 21. 6. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.engineersedge.com/edm.shtml>.

EDM (online). (citirano 25. 6. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.b2bchinasources.com/China-Manufacturers-58/EDM-Edm-Machines.html>.

HSS-orodja (online). (citirano 6. 6. 2010). Dostopno na naslovu: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/hss-milling-cutter-370581.jpg.

Rezalne ploščice (online). (citirano 6. 6. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.skrawanie.com/images/widial1-5IR6.0TR_VSX.jpg.

Ploščice iz cermeta (online). (citirano 6. 6. 2010). Dostopno na naslovu: http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/cermet-schneidplatte-36218.jpg.

Ploščice iz keramike (online). (citirano 6. 6. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.sgac-turnov.cz/media/210.jpg>.

Trdnost in trdota rezalnega materiala (online). (citirano 6. 6. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/trdnost_in_trdota_rezalnega_materiala.html.

Termično rezanje (online). (citirano 20. 9. 2009). Dostopno na naslovu: <http://www.linde-gas.com>.

Označevanje kakovosti površin (online). (citirano 28. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/iko/lsek/Gradivo/Kvaliteta%20povr%C5%A1in.pdf>.

3D merilna tehnika (online). (citirano 28. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.zeiss.de/imt>.

- Meroslovje* (online). (citirano 29. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.lotric.si/dolzina>.
- Meroslovje* (online). (citirano 29. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.mirs.si/>.
- Precizni nožasti lineali* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://specijalna-oprema.hr/precizni-nozasti-lineali>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.mb-naklo.si/ponudba_merilno-orodje_mitutoyo.php.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.mitutoyo.com/ProductTypeResultForm.aspx?type=1066>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.das-mikroskop.de/upload/506879_Produktkatalog_HITEC_2009.pdf.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.horst-benzing.de/fileadmin/media/PDF/MessgeraeteKatalog08.pdf>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.yatego.com/messmittelservice/p,45b677cff39ce,45a3b47e65e6e9_9,feinzeiger----komparator.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.ua.all-biz.info/en/buy/goods/?category=3526>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.the-crankshaft.info/2010/01/pneumatic-comparators.html>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.mb-naklo.si/ponudba_merilno-orodje_fraisa.php.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.precisium.si/?m=100400005>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.preisser.com/downloads/02-kap-d_2_web.pdf.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.leitech.dk/>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.koba.de/index.php?option=com_content&task=view&id=33&Itemid=42.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.nikoninstruments.eu/Applications/Industrial/Precision-Measurement/Automotive-Manufacturing>.
- Merilno in kontrolno orodje* (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.fraisa.com/getattachment/b65c6d7a-2bb8-4928-9031-59e14608b9a5/Lehren-06.aspx>.

Merilno in kontrolno orodje (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.tehnooptika-smolnikar.si/index.php?mod=catalog&action=view&group=75>.

Merilno in kontrolno orodje (online). (citirano 2. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.stroji.com/katalogi/05_082.pdf.

Metalurgija prahov (online). (citirano 8. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.efunda.com/processes/metal_processing/powder_metallurgy.cfm.

Tehnologija gradiv (online). (citirano 8. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/itm/lm/GRADIVA_UC/Tehnologija_gradiv/index.html.

Izdelava izdelkov iz prahov (sintranje) (online). (citirano 8. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.ssisintered.com/>.

Izdelava izdelkov iz prahov (MIM) (online). (citirano 8. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.pim-international.com/what_is_metal_injection_moulding/introduction_to_metal_injection_molding_MIM_PIM.

Izdelava izdelkov iz prahov (sintranje) (online). (citirano 8. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.pim-international.com/aboutpim/sintering>.

Lastnosti zlitin za tehnologijo MIM (online). (citirano 9. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.pim-international.com/designing_for_PIM/propertytable.

Centrifugalno litje (online). (citirano 11. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.custompartnet.com/wu/centrifugal-casting>.

Specifikacije plastičnih granulatov (online). (citirano 11. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.tera.si/>.

Specifikacije plastičnih granulatov (online). (citirano 11. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.curbellplastics.com/technical-resources/plastics-properties-table.asp?cols=&compare=&direction=desc>.

Polimerni nanokompoziti (online). (citirano 19. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.namat.si/dmdocuments/huskic.pdf>.

Raziskave nanokompozitov (online). (citirano 19. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www-k9.ijs.si/slo/raziskave/raziskave-nanokompozitov.html>.

Obdelava površin (online). (citirano 20. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/itm/lm/GRADIVA_UC/Tehnologija_gradiv/obdelava_povrin.html.

Obdelava površin (online). (citirano 20. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.engineershandbook.com/MfgMethods/coatings.htm>.

Delovanje kardana in homokinetičnega zgloba (online). (citirano 27. 1. 2011). Dostopno na naslovu:

http://www.morjeplovec.net/index.php?option=com_content&view=article&id=56:kardan-in-hk-zglob&catid=42:baza-znanja&Itemid=62.

Postopno preoblikovanje z vodnim curkom (online). (citirano 4. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/WJISMF/Publications/SV2004.pdf>.

Oprema za peskanje in emajliranje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.ferrocrtalic.com/resitve_emajliranje.php.

Priprava izdelkov za vroče cinkanje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.pocinkovalnica.si/fizicna_priprava.asp.

Oprema centra za trde prevleke (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.ijs.si/ctp/oprnanos.html-l2>.

Inženirstvo površin (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.dlib.si/v2/Details.aspx?&URN=URN%3aNBN%3aSI%3aDOC-R9KHC1IR>.

Postopki nanosa proti obrabi odpornih plasti (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://users.triera.net/tehning/technogenia/usluge.htm>.

Lasersko varjenje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.lasersko-varjenje.si/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=39.

Elektrode za navarjanje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.elektrode.si/html/slo/elektrode_k_t.html.

Elektrode za navarjanje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.elektrode.si/html/slo/elektrode_n_t.html.

Materiali za trdo navarjanje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.vautid.at/a_slo/products/welding_mat_slo.php.

Termično brizganje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.castolin.hu/wCastolin_sl/products/therm.php.

Tehnični plini za navarjanje (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.messer.si/PROIZVODI/Know_how_navigator/Navi_Varjenje_in_rezanje.pdf.

Tehnološki postopek izdelave emajlirane posode (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.emo-ett.si/izdelava.php>.

Barve (premaži) za kovino (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.minet.si/gradivo/seminarske/49910Output.pdf>.

Kombinirane lakirno sušilne komore (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.termolak.si/index.php?option=com_content&view=article&id=62.

Avtoličarstvo (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.modrival.si/index.php?option=com_frontpage&Itemid=5.

Kataforeza (online). (citirano 7. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.fico.si/Storitve/Kataforeza/tabid/126/language/en-US/Default.aspx>.

Plazemsko termično brizganje (online). (citirano 8. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.plasmacoat.co.uk/media/6915/hvof%20coating%20datasheet.pdf>.

Plazemsko termično brizganje (online). (citirano 8. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.plasmacoat.co.uk/media/6918/plasma%20coatings%20data%20sheet.pdf>.

Metalurške oplastitve (online). (citirano 8. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.bodycotemetallurgicalcoatings.com/default.aspx>.

Galvanizacija (online). (citirano 8. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.bs-wiki.de/mediawiki/images/Galvanisieren.pdf>.

Standardi za površinsko obdelavo (online). (citirano 8. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://e-konstrukcije.si/index.php?PageID=162>.

Projekt **Impletum**

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

Konzorcijski partnerji:



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.