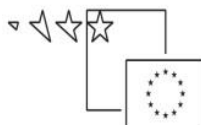




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



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

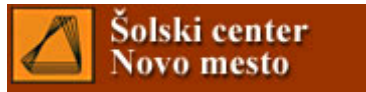
TEHNOLOGIJA

MARIJA KISIN

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

Avtorica:

dr. mag. Marija Kisin, univ. dipl. inž.
ŠOLSKI CENTER NOVO MESTO
Višja strokovna šola



Strokovni recenzent:

prof. dr. Ladislav Kosec, univ. dipl. inž..

Lektorica:

Tatjana Hren Dizdarević, prof. slo.

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

621.7+621.9(075.8) (0.034.2)

KISIN, Marija

Tehnologija [Elektronski vir] : gradivo za 2. letnik / Marija Kisin. - El. knjiga. - Ljubljana : Zavod IRC, 2011. - (Višješolski strokovni program Strojništvo / Zavod IRC)

Način dostopa (URL): http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Tehnologija-Kisin.pdf. - Projekt Impletum

ISBN 978-961-6857-77-2

258197504

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 132. seji dne 23.9.2011 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.01301-5/2011/11-2 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' in 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 DELITEV IN DEFINICIJA IZDELOVALNIH POSTOPKOV	5
2 POSTOPKI SPREMINJANJA LASTNOSTI MATERIALA.....	8
2.1 POSTOPKI SPREMINJANJA LASTNOSTI JEKLA	8
3 POSTOPKI OBLIKOVANJA.....	19
3.1 POSTOPKI LITJA IN MATERIALI ZA LITJE.....	19
3.1.1 Kontinuirno (neprekinjeno) litje.....	25
3.2 POSTOPKI OBLIKOVANJA UMETNIH MAS.....	27
3.3 METALURGIJA PRAHOV (PM)	30
4 POSTOPKI PREOBLIKOVANJA.....	37
4.1 TEORETIČNE OSNOVE PREOBLIKOVANJA.....	37
4.2 DELITEV POSTOPKOV PREOBLIKOVANJA	40
5 POSTOPKI SPAJANJA	48
5.1 VARJENJE.....	48
5.1.1 Plamensko varjenje.....	51
5.1.2 Obločno varjenje.....	53
5.1.3 Varjenje z laserjem	57
5.1.4 Uporovno varjenje	59
5.1.5 Nepravilnosti in napake pri talilnem varjenju	60
5.1.6 Varjenje z ultrazvokom	61
5.1.7 Varivost kovinskih materialov	62
5.1.8 Varjenje termoplastov.....	63
5.2 SPAJKANJE.....	64
5.4 KOVIČENJE	67
5.5 SPAJANJE ELEMENTOV S PREOBLIKOVANJEM	68
6 POSTOPKI LOČEVANJA.....	71
6.1 ODREZOVANJE	72
6.1.1 Struženje	81
6.1.2 Režkanje	83
6.1.3 Vrtanje	86
6.1.4 Brušenje.....	87
6.2 ODNAŠANJE MATERIALA	91
6.2.1 Elektroerozijska obdelava.....	91
6.2.2 Rezanje z abrazivnim vodnim curkom-AVC	93
6.2.3 Toplotno kemična obdelava.....	96
6.2.4 Elektrokemična obdelava	97
6.2.5 Obdelava z žarki	97
7 POVRŠINSKE PREVLEKE	100
7.1 TRDE ZAŠČITNE PREVLEKE.....	102
8 LITERATURA	107

PREDGOVOR

Kovinski in nekovinski materiali so namenjeni izdelavi najrazličnejših predmetov, sestavnih komponent strojev, vozil, aparatov ipd. Končni izdelek je vedno rezultat določenih izdelovalnih postopkov, ki si sledijo v vnaprej predpisanem zaporedju, glede na zahtevano obliko, dimenzijo in uporabne lastnosti izdelka.

Čeprav nam računalniško integrirana proizvodnja omogoča modeliranje, simulacijo in celovito analizo proizvodnih tehnoloških procesov že v fazi načrtovanja izdelka, je pri odločanju in izbiri ustrezne izdelovalne tehnologije pomembna sposobnost kritične presoje, glede na zahtevano kakovost izdelkov v povezavi z ekonomskimi učinki. To pomeni, da so za obvladovanje, nadzor in vodenje izdelovalnih procesov, navkljub računalniški podpori in avtomatizaciji, potrebna osnovna znanja o materialu obdelovanca in o zakonitosti tehnoloških procesov, vključno z vplivnimi pogoji obdelave.

Učno gradivo Tehnologija je vsebinsko usklajeno s katalogom znanj za predmet Tehnologija in je razdeljeno na sedem poglavij.

Prvo poglavje obravnava *delitev* in osnovne definicije *postopkov izdelave*. Ker izdelovalne tehnologije kovinskih izdelkov vedno vključujejo tudi postopke za optimiranje lastnosti obdelovancev, polizdelkov oziroma izdelkov, so v drugem poglavju učnega gradiva obravnavani primeri *postopkov za spremembo lastnosti*.

Nato sledi poglavje o postopkih *oblikovanja* kovinskih in nekovinskih materialov. To so postopki litja, brizganja umetnih mas in metalurgija prahov. Četrto poglavje obravnava *postopke preoblikovanja*, pri katerih materialu s preoblikovanjem spremenimo obliko, dimenzijo in lastnosti. Peto poglavje obravnava postopke *spajanja* kovinskih in nekovinskih delov. Šesto poglavje je poglavje o *postopkih ločevanja*, pri katerih od obdelovanca odvzamemo del materiala v obliki odrezkov in mu na ta način spremenimo obliko, dimenzijo, kakovost površine ter zmanjšamo maso. Pri tem razlikujemo med postopki odrezovanja in postopki odnašanja materiala.

Številne izdelke je pred uporabo potrebno tudi površinsko zaščititi. Z izbiro ustrezne zaščitne prevleke izdelku izboljšamo funkcionalnost, obrabno ter korozijsko odpornost. Ker ima sodobna vakuumska tehnologija površinskih prevlek preoblikovalnih in rezalnih orodij, med drugim tudi veliki gospodarski pomen, so *trde površinske prevleke* vključene v sedmo, zaključno poglavje. Posamezna poglavja sestavljajo trije vsebinski sklopi, in sicer: uvod, osrednji vsebinski del ter povzetek. Poglavja se zaključujejo z vprašanji, nalogami in s praktičnimi primeri za preverjanje ter utrjevanje snovi. Iz podobnih vprašanj in primerov, kot so navedena v učnem gradivu, so oblikovana tudi izpitna vprašanja.

Na tem mestu naj spomnim, da nam osnovna znanja omogočajo razumevanje tudi novejših, nenehno razvijajočih se procesov in opreme na področju izdelovalnih tehnologij. Zato so za spremljanje razvoja in novosti stroke, v posamezna poglavja učnega gradiva vključeni tudi elektronski viri in dodatni viri strokovne literature.

Iskreno se zahvaljujem prof. dr. Ladislavu Koscu za strokovno recenzijo in Tatjani Hren Dizdarević, prof. slo., za lektoriranje učnega gradiva.

Marija Kisin

Opomba



Za nekatere osnovne definicije, ki si jih je potrebno zapomniti, je v učnem gradivu dodana zgornja oznaka.



V posameznih poglavjih so za ogled in uporabo dodatnih strokovnih elektronskih virov navedene spletne strani.



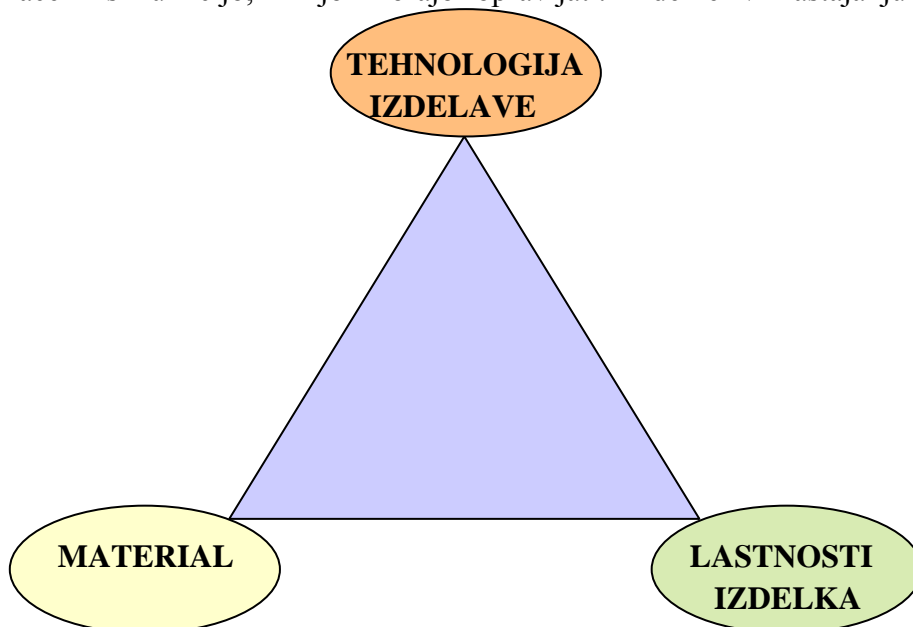
Posamezna poglavja se zaključujejo z vprašanji za preverjanje razumevanja, kjer so v pomoč navedene spletne strani ali dodatna strokovna literatura.

1 DELITEV IN DEFINICIJA IZDELOVALNIH POSTOPKOV

Kovinski in nekovinski materiali so namenjeni izdelavi najrazličnejših predmetov, izdelkov, sestavnih komponent strojev, vozil, aparatov ipd. Proces izdelave zahteva celovito poznavanje *tehnologije* in različnih *tehnik*, ki si sledijo v predpisanem zaporedju in se medsebojno dopolnjujejo glede na uporabne lastnosti, oblikovne, dimenzijske in kakovostne zahteve polizdelka oziroma izdelka.

Izdelovalni postopek je časovno in prostorsko napredovanje izdelave v izbranem izdelovalnem sistemu, ki vključuje: material, energijo, orodje, stroje, informacije in delovna sredstva. Sestavljajo ga različne izdelovalne faze oziroma operacije, kot so npr. tehnološke, kontrolne, transportne, skladiščne ipd.

Izdelki so označeni s funkcijo, ki jo morajo opravljati. Izdelke v nastajanju imenujemo *obdelovanci*.



Slika 1: Lastnosti izdelka v odvisnosti od izbranega materiala in uporabljene tehnologije
Vir: Lasten

Uporabne lastnosti in kakovost izdelka so v neposredni povezavi z izbranim materialom izdelka in z uporabljenimi tehnologijami izdelave, vključno s procesnimi pogoji.

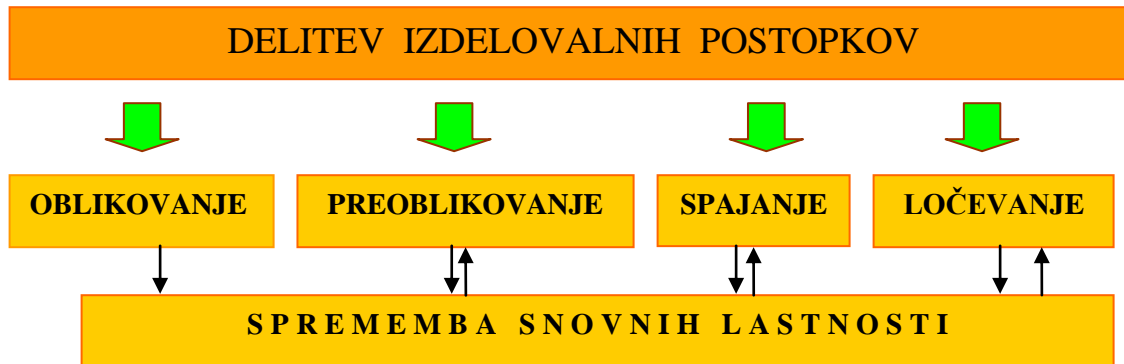
Pri izbiri izdelovalne tehnologije so poleg izbranega materiala in razpoložljive opreme odločujoči naslednji kriteriji in sicer:

- ✚ lastnosti izdelka pri uporabi
- ✚ dimenzije, oblika in masa izdelka
- ✚ število izdelkov oziroma serija
- ✚ zahtevana natančnost izdelave
- ✚ ekonomičnost postopka.

Pri opredelitvi gospodarnosti izdelovalnega postopka moramo upoštevati vse stroške, ki jih lahko vrednotimo že med načrtovanjem izdelka oziroma s podatki iz izdelovalnega postopka. Za presojo nas zanimajo predvsem stroški, ki so vezani na elemente izdelovalnega postopka npr. stroški za material, energijo, orodje, stroje, obdelavo, delo, logistika ipd.

Seveda pa na stroške in s tem na konkurenčno ceno izdelka vpliva, poleg zgoraj navedenih odločitvenih kriterijev, tudi stopnja optimizacije in avtomatizacije izdelovalnega postopka.

Na Sliki 2 je prikazana delitev izdelovalnih postopkov v pet glavnih skupin. To so postopki oblikovanja, preoblikovanja, spajanja, ločevanja in postopki za spremembo lastnosti izdelkov. Odločujoči kriterij za razvrstitev postopkov je način spreminjanja medsebojne zveze med delci materiala. Med postopki izdelave se medsebojna zveza med delci materiala lahko *ustvarja*, *ohranja*, *zmanjšuje* ali *povečuje* (Goligranc, 1978).



Slika 2: Delitev izdelovalnih postopkov
Vir: Lasten

Postopki *oblikovanja* se postopki litja, metalurgije prahov in brizganja umetnih mas, kjer medsebojna zveza med delci materiala nastaja oziroma se *ustvarja*. Vhodni material je staljena kovina ali zlitina, keramični ali kovinski prahovi in granulati umetne mase.

Pri postopkih *preoblikovanja* se zveza med delci *ohranja*. Obdelovanec preoblikujemo s plastično deformacijo. Pri tem se mu spremeni oblika, dimenzija in lastnosti. Postopki preoblikovanja so valjanje, globoki vlek, vlečenje, kovanje, izstiskavanje, upogibanje ipd.

Ločevanje spreminja obliko obdelovanca tako, da se pri tem prekinja medsebojna zveza med delci. To so postopki rezanja, odrezavanja, pri katerih material lokalno odvezujemo v obliki odrezkov ipd. V to skupino sodijo tudi postopki odstranjevanja in čiščenja površine obdelovancev.

Spajanje je sestavljanje dveh ali več obdelovancev. Medsebojna zveza se ustvarja lokalno z varjenjem, navarjanjem, spajkanjem, lepljenjem, kovičenjem, stiskanjem ipd.

Postopki *spreminjanja snovnih lastnosti* vključujejo postopke toplotne obdelave, kot so: normalizacija, žarjenje, kaljenje, poboljšanje, površinsko utrjevanje in nanašanje trdih prevlek. Postopke za spremembo lastnosti izvajamo med posameznimi izdelovalnimi fazami ali pa ob zaključku izdelave, glede na zahtevane mehanske in tehnološke lastnosti obdelovancev oziroma izdelkov.

V tehnološki proizvodnji je dejansko zaporedje uporabljenih *tehniki* oziroma izdelovalnih faz seveda lahko različno, npr. pred preoblikovanjem oziroma kovanjem je potreben razrez obdelovancev, preoblikovanju pri temperaturi okolice pogosto sledi rekristalizacijsko žarjenje, postopku odrezovanja sledi žarjenje za odpravo notranjih napetosti. Postopek poboljšanja ali površinskega utrjevanja je velikokrat končni postopek, ko izdelek že ima ustrezno geometrijsko obliko.

Pri tem je potrebno poudariti, da je pri nekaterih materialih, v določeni fazi izdelovalnega postopka, pomembna izbira ustrezne tehnike. Tako je npr. pri valjanju ali vlečenju nekaterih

aluminijevih zlitin, za mehanske lastnosti končnega produkta pomembno, ali je bilo predhodno izvedeno toplo valjanje ali stiskanje.

Cilj izdelovalnega postopka v procesu izdelave je *kakovosten izdelek z zahtevanimi uporabnimi lastnostmi, s konkurenčno ceno in oblikovno ter mersko natančno izdelavo v okviru zahtevanih toleranc.*

Ker je kakovost izdelka v neposredni povezavi z izbranim materialom, izdelovalno tehnologijo in s tehnološkimi pogoji, mora biti v vse faze proizvodnje vključeno tudi zagotavljanje kakovosti izdelka. Za oceno kakovosti obdelovanca v določenem postopku izdelave se uporabljajo standardizirani načini.

Fazo izdelovalnega postopka, pri katerem preverjamo, če *geometrijska oblika* in *kakovost površine* obdelovanca ali izdelka ustrezata konstrukcijskim zahtevam imenujemo tehnološke meritve.

Geometrijska oblika lahko pomeni dolžino predmeta, zunanji premer ali premer izvrtine, poljubne ravne ali krive ploskve ipd. To lahko označujemo tudi kot makro geometrijo obdelovanca ali izdelka.

Elemente, ki določajo kakovost površine imenujemo tudi mikro geometrija površine. Pri tem običajno merimo *hrapavost* in *valovitost* površine izdelka po postopku, ki je predpisan s standardom.

Tehnološke meritve, nekatere neporušitvene in porušitvene preiskave, meritve in kontrole so vključene kot del izdelovalnega postopka med posamezne izdelovalne faze in/ali pri prevzemu izdelka, lahko pa se izvedejo tudi na posebno zahtevo naročnika.

Mednarodna organizacija za standardizacijo ISO je novembra leta 2008 izdala novo izdajo: Standard za zagotavljanje kakovosti izdelkov in storitev: **ISO 9001 : 2008** (SIQ 2009), ki je novembra 2010 v celoti nadomestil predhodno izdajo ISO 9001 : 2000.

Z uporabo standarda za zagotavljanje kakovosti izdelkov in storitev ima podjetje med drugim priložnost povečati vrednost svojega dela in izboljšati poslovanje ter učinkovitost.

Glavni cilji zagotavljanja kakovosti so: uvedba standardov v poslovanje, izpolnitev zahtev, potreb in pričakovanj kupca, visoka tehnična usposobljenost in motivacija zaposlenih ter optimiranje stroškov poslovanja.

2 POSTOPKI SPREMINJANJA LASTNOSTI MATERIALA

Uvod v poglavje

Pri izdelovalnih postopkih nastanejo v obdelovancih notranje napetosti, bodisi zaradi grobe obdelave ali prehitrega, neenakomernega segrevanja in krčenja pri ohlajanju, kar lahko povzroči deformacije ali kasneje, pri uporabi, tudi lom izdelka.

Na primer zaradi počasnega ohlajanja pri litju med strjevanjem imajo ulitki grobozrnato mikrostrukturo in neustrezno trdnost. Ali pa pri preoblikovanju pri temperaturi okolice npr. pri hladnem valjanju se material deformacijsko utrjuje. To pomeni, da pri nadaljnjem preoblikovanju lahko nastopijo v materialu razpoke in izmet polizdelka.

Iz navedenih in podobnih razlogov so postopki za spremembo lastnosti sestavni del izdelovalnih tehnologij. Omogočajo nam, da med ali po postopku spremenimo mikrostrukturo in s tem *mehanske in tehnološke* lastnosti posameznih delov ali celotnega polizdelka oziroma izdelka.

Poleg tega, da s toplotno obdelavo lahko spreminjamo oziroma prilagajamo lastnosti materiala med procesi izdelave, je pomembno tudi dejstvo, da nam postopki spreminjanja lastnosti omogočajo, da lahko za določene izdelke uporabimo cenejši material, ki pa mu nato s toplotno obdelavo izboljšamo lastnosti (npr. ogljikovo jeklo je cenejše od legiranega).

Zato konstruktor in tehnolog morata poznati ustrezne postopke, pogoje in možnosti, ki jih postopki za spremembo lastnosti nudijo.

V tem poglavju boste spoznali:

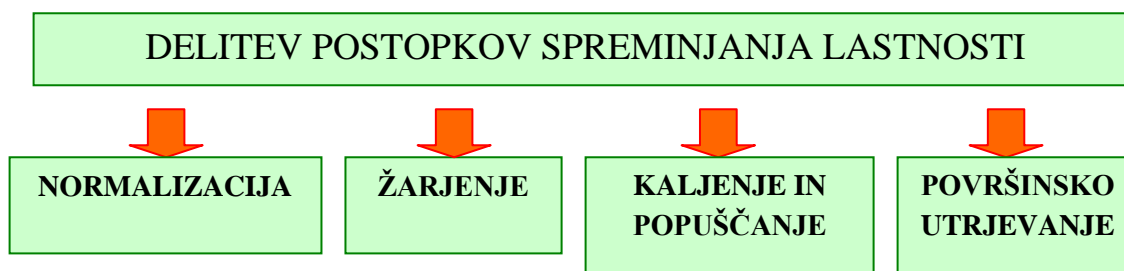
- ✚ delitev postopkov spreminjanja lastnosti
- ✚ izbiro postopkov in tehnološke pogoje.

2.1 POSTOPKI SPREMINJANJA LASTNOSTI JEKLA

Postopke za spremembo lastnosti jeklenih polizdelkov in izdelkov delimo na: *normalizacijo, žarjenje, kaljenje in popuščanje ter površinsko utrjevanje*.

Za površinsko utrjevanje obstajata, glede na zahtevane uporabne lastnosti izdelka, predvsem dve osnovni metodi, in sicer:

- ✚ *površinsko kaljenje in*
- ✚ *kemotermična obdelava površine* (cementiranje, nitridiranje, karbonitridiranje ...)

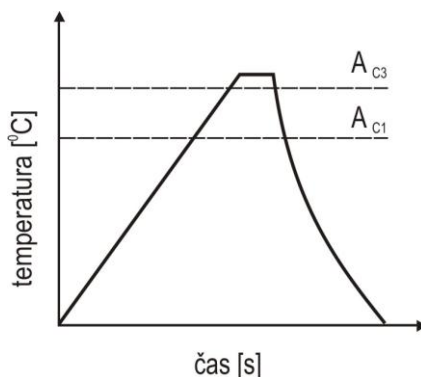


Slika 3: Razdelitev postopkov spreminjanja lastnosti

Vir: Lasten

Osnovni tehnološki pogoji postopkov toplotne obdelave so:

- ✚ hitrost segrevanja
- ✚ temperatura in čas izotermnega držanja na temperaturi ogrevanja in
- ✚ hitrost ohlajanja.



Slika 4: Temperaturno-časovni diagram (T-t) poteka toplotne obdelave za jekla
Vir: Lasten

Prvi pogoj za toplotno obdelavo brez napak je ustrezna *temperatura ogrevanja*. To je temperatura, na katero moramo predmet ali izdelek ogreti, če mu želimo spremeniti mikrostrukturo in lastnosti.

Temperaturo ogrevanja določimo:

- ✚ glede na izbrani postopek toplotne obdelave
- ✚ glede na vrsto materiala.

Temperatura ogrevanja je največkrat temperatura avstenitizacije.

Celoten *čas ogrevanja* je odvisen od velikosti in oblike izdelka, od vrste materiala oziroma od njegove toplotne prevodnosti, vrste peči ipd.

Hitrost ohlajanja je odvisna od vrste toplotne obdelave oziroma od zahtevanih uporabnih mehanskih lastnosti izdelka.



Slika 5: Zalaganje izdelkov v peč za vakuumsko kaljenje
Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (01. 03. 2011)

V nekaterih primerih se izdelki, kot so npr. jekleni ulitki, izkovki ali kaljeni predmeti, ogrevajo v avstenitnem območju pri previsoki temperaturi ali predolgo časa, zato kristalno zrno naraste. Posledica neustrezno izbranih tehnoloških pogojev je groba zrnatost mikrostrukture pri temperaturi okolice, ki jo odpravimo z *normalizacijo*.

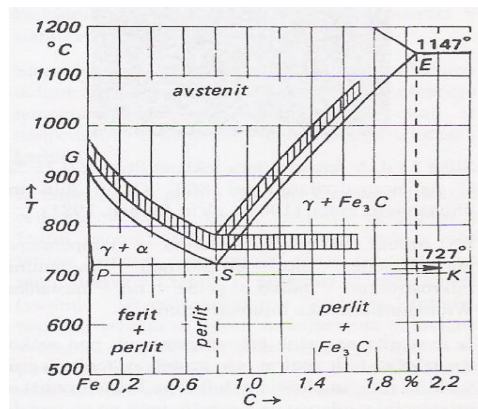


Normalizacija je proces prekrystalizacije, ki ustvarja bolj drobno kristalno zrno, zaradi česar se izboljšajo mehanske lastnosti, predvsem napetost tečenja in žilavost. Poteka tako, da jeklo za kratek čas segrejemo v avstenitno področje na temperaturo 30 do 50 K nad temperaturo premene A_{c3} , 5 do 10 minut.

Žarjenje je postopek toplotne obdelave, pri katerem jeklo v peči ogrevamo na določeni temperaturi, določen čas in ga nato običajno počasi ohlajamo. Namen žarjenja je, da bi dosegli v mikrostrukturi jekla določene spremembe in s tem tudi spremembe v mehanskih ter tehnoloških lastnostih.

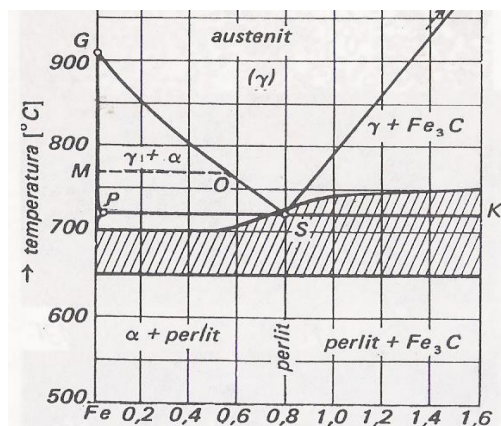
Med postopke žarjenja štejemo:

- ✚ difuzijsko ali homogenizacijsko žarjenje
- ✚ rekristalizacijsko žarjenje
- ✚ sferoidizacijsko žarjenje
- ✚ žarjenje za odpravo notranjih napetost
- ✚ popolno žarjenje ali samožarjenje.



Slika 6: Temperature normalizacije in kaljenja ogljikovih jekel

Vir: Gradiva 1999, 11.3



Slika 7: Temperature sferoidizacijskega žarjenja ogljikovih jekel

Vir: Gradiva 1999, 11.7

Difuzijsko ali homogenizacijsko žarjenje je dolgotrajno žarjenje jekla na visokih temperaturah, in sicer 1000 °C do 1300 °C z namenom, da se z difuzijo atomov odpravijo kristalne izceje. Difuzijsko ali homogenizacijsko žarjenje poteka največkrat med ogrevanjem za toplo preoblikovanje.

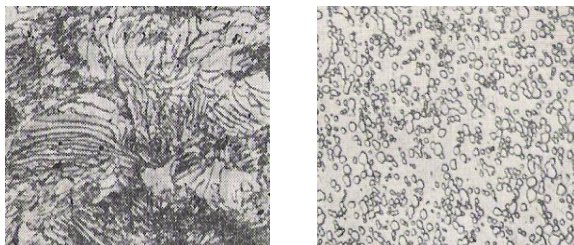
Rekristalizacijsko žarjenje je žarjenje hladno deformiranih materialov z namenom, da odpravimo deformacijsko utrditev oziroma jeklo usposobimo za nadaljnjo deformacijo v hladnem stanju. Deformacija v hladnem stanju, na primer hladno valjanje pločevine ima za posledico deformacijsko utrditev, kar pomeni, da se mehanske lastnosti pločevine ali žice povečajo. S stopnjo hladne deformacije se povečujejo trdnost, trdota, napetost tečenja, zmanjšujejo pa se raztezek in žilavost. Pravimo, da se material deformacijsko *utrdi*.

Sferoidizacijsko žarjenje je za podevtektoidno jeklo žarjenje pri temperaturi tik pod temperaturo A_{c1} , večurno zadrževanje pri tej temperaturi, ki mu sledi zelo počasno ohlajanje. Temperaturo sferoidizacijskega žarjenja *podevtektoidnega* jekla lahko ocenimo s pomočjo enačbe.

$$T_{SF} = A_{c1} - 10 \text{ [K]} \quad (1)$$

Evtektoidno jeklo sferoidizacijsko žarimo tik nad temperaturo A_{c1} in nato temperaturo počasi znižamo, medtem ko *nadevtektoidna in legirana* jekla žarimo tik nad temperaturo premene A_{c1} , nato temperaturo počasi znižamo in ponovno, večkrat zanihamo okoli temperature A_{c1} za okoli ± 10 K.

$$T_{SF} = A_{c1} \pm 10 \text{ [K]} \quad (2)$$



Slika 8: Mikrostruktura evtektoidnega jekla pred (levo) in po sferoidizacijskem žarjenju (desno)
Vir: Metalurški priročnik, 1972, 692

Sferoidizacijsko žarjenje spremeni mikrostrukturo jekla tako, da nastanejo iz lamelaste oblike cemenitita zrnca cemenitita v feritu oziroma tako imenovani zrnati cemenit. S tem se znižata trdota in trdnost jekla, nadevtektoidnemu in evtektoidnemu jeklu pa zboljšamo tudi obdelovalnost z odrezavanjem.

Žarjenje za odpravo notranjih napetosti je vključeno v večino izdelovalnih postopkov. Z žarjenjem za odpravo notranjih napetosti odpravimo napetosti, ki so lahko posledica grobe mehanske obdelave ali pa npr. pri talilnem varjenju zaradi neenakomernega segrevanja in še posebno zaradi krčenja zvara pri ohlajanju. Notranje napetosti so lahko vzrok nezaželenih deformacij ali celo loma izdelka pri uporabi.

Za odpravo notranjih napetosti žarimo jeklo v temperaturnem območju 450 °C do 650 °C (npr. 4 ure) in nato počasi ohlajamo, da se izognemo ponovnemu pojavu temperaturnih napetosti.

Kaljenje jekla imenujemo postopek toplotne obdelave, pri katerem jeklo ogrevamo do kalilne temperature oziroma temperature avstenitizacije zadržimo določen kratek čas in nato ohladimo s hitrostjo, ki je enaka ali večja zgornji kritični ohlajevalni hitrosti (v vodi ali olju) z namenom, da dobi *martenzitno* mikrostrukturo in veliko trdoto.

Za podvektoidna ogljikova jekla znaša kalilna temperatura (T_K) 20 do 40 K nad temperaturo premene A_{c3} , za evtektoidna in nadevtektoidna pa 50 do 70 K nad temperaturo premene A_{c1} .

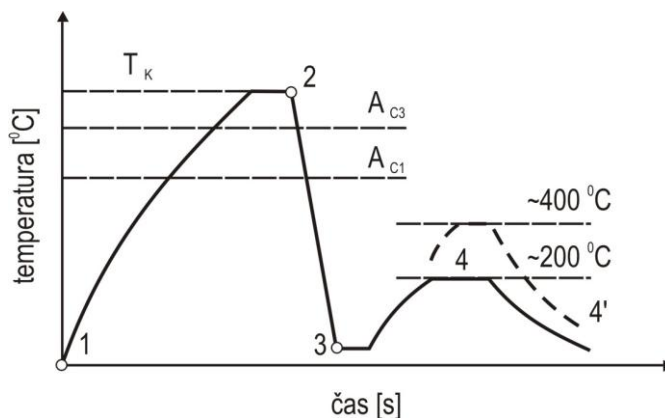
$$T_K = A_{c3} + (20 \dots 40 \text{ K}) \quad (3)$$

$$T_K = A_{c1} + (50 \dots 70 \text{ K}) \quad (4)$$

Kaljena jekla so krhka, zato jih po kaljenju *popuščamo*. Popuščanje jekla je ponovno segrevanje kaljenega jekla na temperaturo pod temperaturo A_{c1} , z ohlajanjem na zraku z namenom, da dobi jeklo tudi zadostno žilavost in sposobnost prenašanja dinamične obremenitve.



Proces toplotne obdelave, ki je sestavljen iz dveh stopenj in sicer iz *kaljenja*, ki mu nato takoj sledi *popuščanje*, imenujemo tudi *poboljšanje* jekla.



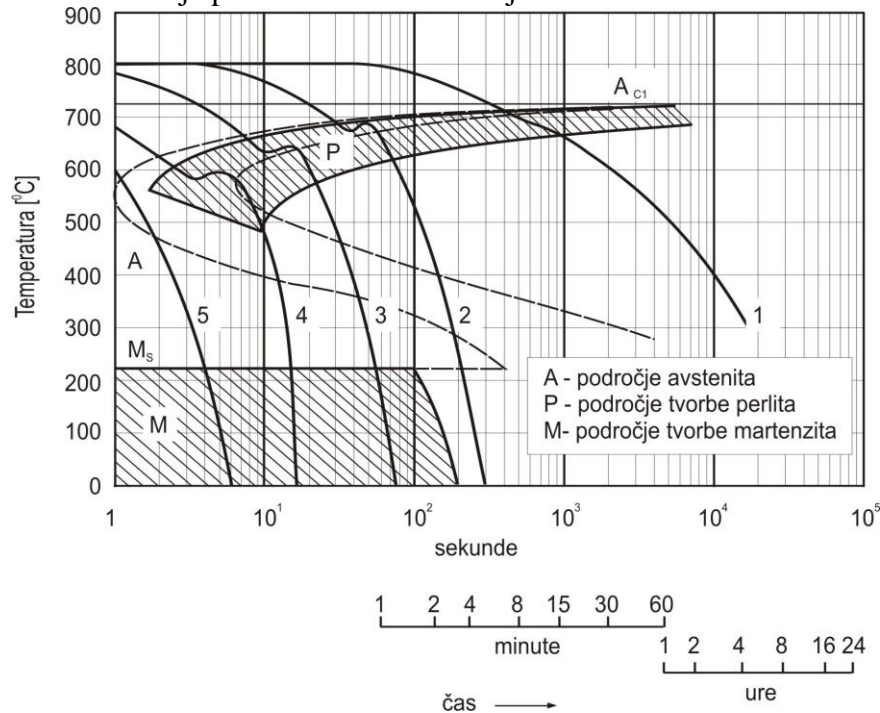
Slika 9: Temperaturno časovni (T-t) diagram poteka kaljenja in popuščanja pri različnih temperaturah

Vir: Lasten

Za vse, ki se ukvarjajo s postopki toplotne obdelave jekla so pomembni diagrami TTT (Time-Temperature-Transformation) in kontinuirni diagrami CCT (Continuous-Cooling-Transformation). Diagrami nazorno prikazujejo izotermno transformacijo avstenita pri različnih temperaturah in transformacijo avstenita pri kontinuirni spremembi temperature.

V tehnološki proizvodnji je poznan postopek patentiranja žice, iz katere izdelujemo vzmeti, žične vrvi, klavirske strune ipd. Vlečena žica npr. iz evtektoidnega jekla »potuje« skozi peč, kjer se ogreje nekoliko nad temperaturo premene A_{c3} , nato pa se v solni ali svinčeni kopeli izotermno transformira pri temperaturi okoli $550 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Mikrostruktura žice se spremeni v drobnolaminaren perlit, ki je ugodna za nadaljnjo vlečenje, kjer se žica še dodatno deformacijsko utrdi in doseže natezno trdnost do 2200 N/mm^2 (Metalurški priročnik, 1972).

Vpliv temperature transformacije avstenita pri konstantnih temperaturah prikazuje izotermni diagram TTT za jeklo eutektoidne sestave na Sliki 10. Iz diagrama lahko za jeklo določene kemične sestave odčitamo, glede na zahtevano mikrostrukturo in trdoto, ustrezen čas in temperaturo avstenitne transformacije. Začetek transformacije avstenita predstavlja leva vrisana krivulja, konec transformacije pa desna vrisana krivulja.



Slika 10: CCT diagram z vrisanimi ohlajevalnimi krivuljami kontinuirnega ohlajanja za ogljikovo jeklo z 0,89 % C in 0,29 % Mn

Vir: Metalurški priročnik, 1972, 698

V izotermni CCT diagrami so običajno vrisane tudi krivulje zveznega oziroma kontinuirnega ohlajanja jekla z manjšo ali večjo ohlajevalno hitrostjo, kot so npr. krivulje 1, 2, 3, 4 in 5 na Sliki 10

RAZMISLITE

Ocenite trdoto jekla, če jeklo na Sliki 10 ohlajamo z manjšo ohlajevalno hitrostjo, npr. krivulja 1 in za primer ohlajanja z večjo ohlajevalno hitrostjo po krivulji 5.

Sodobne vakuumske peči za toplotno obdelavo so računalniško vodene in omogočajo kontrolirano ohlajanje glede na zahtevane lastnosti izdelkov. Prednosti kaljenja v vakuumski komori so predvsem čista, neoksidirana in nerazogljivena površina ter dobra ponovljivost rezultatov (Panjan, 2009, 43).

Kdaj in zakaj je potrebno površinsko utrjevanje izdelkov?

Površinsko utrjevanje je toplotna obdelava površinskega sloja ali samo delov površin izdelkov in sestavnih komponent (osi, gredi, zobniki), kjer je površina obremenjena na obrabo, zaradi dinamičnih obremenitev pa morajo imeti žilavo in primerno trdo jedro.

Običajno se postopki površinskega utrjevanja dopolnjujejo s poboljšanjem in se izvedejo v zaključni fazi izdelave, po končni obdelavi.

Za površinsko utrditev obstojata predvsem dve osnovni metodi:

- ✚ površinsko kaljenje in
- ✚ kemotermična obdelava površine, ki temelji na obogatitvi površinskega sloja z elementi, ki sami (ogljik) ali pa v spojinah (nitridi) in z dodatno toplotno obdelavo ali brez povečajo utrditev površine in podpovršinskega sloja izdelka.

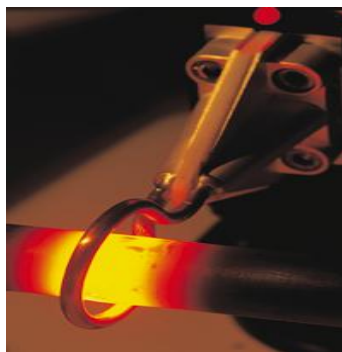
Površinsko kaljenje različnih sestavnih delov in strojnih elementov kot so npr. osi, gredi, čepi, zobniki ipd., je omejeno samo na površino oziroma samo na določena mesta na površini izdelka. Površina se mora ogreti na temperature avstenitizacije hitreje, kot se toplota širi v notranjost oziroma proti jedru izdelka. Jeklo je zakaljeno do globine, do katere je bila temperatura zadostna za avstenitizacijo.

V tehnološki proizvodnji so najpogosteje uporabljeni načini ogrevanja na temperaturo avstenitizacije, plamensko in indukcijsko ogrevanje, ki mu sledi hlajenje z vodo, oljem ali vodnimi raztopinami.

Pri plamenskem ogrevanju se uporabljajo posebno prirejeni gorilniki. Na globino ogrevanja delno vplivamo s časom ogrevanja. Pri neprekinjenem kaljenju se gorilec in vodna prha pomikata skupaj po površini izdelka, medtem ko pri prekinjenem kaljenju gorilec najprej ogreje površino, nato pa jo vodna prha ohladi.

Indukcijsko kaljenje je popolnoma avtomatizirani postopek kaljenja. Izdelek oziroma samo določen del izdelka vstavimo v induktor, ki ga napaja srednje ali visokofrekvenčni izmenični tok (Slika 11). V površinskem sloju izdelka se pojavijo vrtnični tokovi, ki ga segrevajo. Za bolj zapletene oblike izdelkov moramo induktor posebej izdelati.

Globino kaljenja uravnava z izbrano frekvenco (skinefekt). Čim višja je frekvenca, tem tanjša je globina kaljenja, npr. za globine 1 do 0,3 mm se uporabijo visoke frekvence 100 do 2500 kHz. Za globine 20 do 6 mm srednje frekvence 0,5 do 10 kHz. Na globino kaljenja pa vplivata tudi toplotna prevodnost materiala in hitrost ogrevanja.

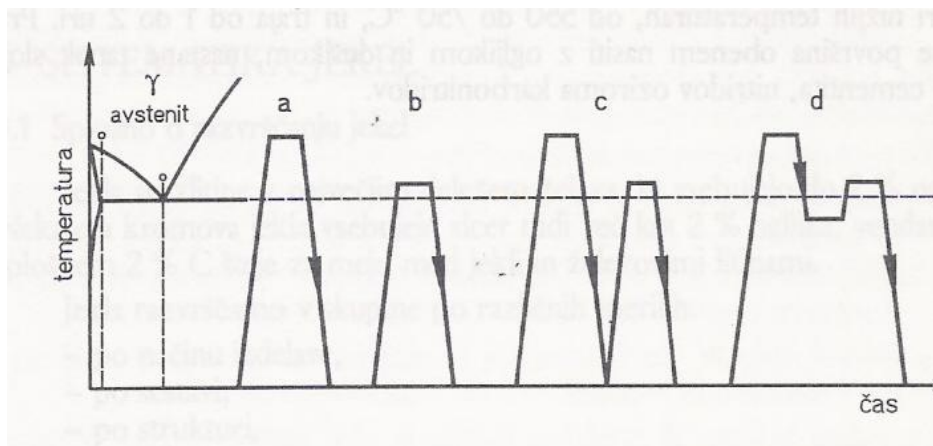


Slika 11: Indukcijsko kaljenje okroglega izdelka

Vir: http://www.ceia-power.com/ap_heatingtreatment.aspx (01. 03. 2011)

Kemotermično obdelavo površin uporabimo za povečanje trdote in obrabne odpornosti površine ter podpovršinskega sloja različnih sestavnih strojnih elementov (osi, gredi, zbniki ipd.) in orodij za preoblikovanje oziroma brizganje umetnih mas.

Pri cementaciji površino izdelka obogatimo z ogljikom pri temperaturi 850°C do 950°C v avstenitem področju. Naogljichenju sledi direktno, enojno ali dvojno kaljenje. Glede na zahtevano trdoto površine lahko kaljenju sledi tudi popuščanje.



Slika 12: Načini toplotne obdelave po ogljichenju

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 27

Oznake na Sliki 12 pomenijo:

- a – neposredno enojno kaljenje s temperature kaljenja jedra (pregreta naogljichena plast)
- b – enojno kaljenje s temperature naogljichene plasti (jedro ni prekristalizirano)
- c – dvojno kaljenje (najprej s temperature kaljenja jedra, nato s temperature naogljichene plasti)
- d – dvojno kaljenje npr. v solnih kopelih, brez vmesne ohladitve do temperature okolice.

Za cementacijo so primerna konstrukcijska maloogljichna (0,1 do 0,25 % C) nelegirana ali legirana jekla z manganom (Mn), kromom (Cr), molibdenom (Mo) ali niklom (Ni). Kriterij izbire jekla je zahtevana trdnost jedra.

Naogljichenje lahko poteka v trdnem ali plinastem cementacijskem sredstvu, v vakuumu ali plazmi. Po končanem naogljichenju površine in površinskega sloja sledi, glede na zahtevane mehanske lastnosti izdelka, neposredno, enojno ali dvojno kaljenje, kot prikazuje Slika 12.

Nitridiranje je kemotermična obdelava površin in je poleg cementacije najbolj razširjen postopek za površinsko utrjevanje. Uporablja se za izboljšanje:

- ✚ protiobrabnih in drsnih lastnosti površin
- ✚ trajne dinamične trdnosti izdelka
- ✚ korozijske odpornosti površin.

Poleg zgoraj naštetega imajo nitridirane površine zmanjšan koeficient trenja, kar je ugodno pri preoblikovalnih orodjih in pri sestavnih delih, ki so v medsebojnem stiku.

Postopek nitridiranja temelji na obogatitvi površine z dušikom, pri čemer nastane na površini tanka plast *nitridov in difuzijska cona* (plast), ki je trdna raztopina dušika v Fe- α . Ta cona je močno utrjena, ker je dušik eden najbolj učinkovitih utrjevalcev železa.

V primerjavi z ogljičenjem je nitridiranje zadnja stopnja kemotermične obdelave in poteka pri relativno nizkih temperaturah, v območju 520 do 560 °C. Ker ne zahteva dodatne toplotne obdelave, lahko nitridiramo že obdelane in dokončno brušene izdelke oziroma sestavne dele. Obdelovance segrevamo počasi na temperaturo 550 °C v toku amonijaka (NH₃), ki je nosilec dušika. Posledica razpada amonijak (NH₃) je tvorba atomskega dušika, ki difundira v feritno osnovo.



Nitridiranje je dolgotrajni postopek in traja več dni (20 do 100 ur), pri tem pa dosežemo le nekaj desetink milimetra debele nitridirane plasti. Po končanem nitridiranju se izdelki v toku amonijaka počasi ohlajajo na sobno temperaturo. Nitridirana plast je trša kot pri cementaciji. Celotno globino nitridiranja izmerimo z razdaljo med površino in globino, na kateri je trdota nitridiranja za 50 HV večja od osnovne trdote jedra.



Slika 13: Zvonasta peč za nitridiranje v pulzirajoči plazmi METAPLAS IONON HZIW 600/100

Vir: <http://www.imt.si/index.php?id1=2&id2=2&id3=6&lang=si> (01. 03. 2011)

Vir: <http://www.termeh.si/lang/sl/storitve/plazmanitriranje/> (01. 03. 2011)

Za izdelke, za katere se načrtuje postopek nitridiranja, se jeklo izbira iz skupine konstrukcijskih malolegiranih jekel z dodanim aluminijem ali s kromom orodnih in hitroreznih jekel.

Postopek nitridiranja lahko pospešimo, če uporabimo nitridiranje v plazmi, dvojno nitridiranje ali ionsko nitridiranje, kjer površino izdelka izpostavimo ionizirani atmosferi oziroma atomom dušika v plazmi.

Ionsko nitridiranje je postopek ioniziranja dušikove ali amoniakove atmosfere v plazmi, dušikovi ioni pa so pospešeni na površino izdelka, ki ga želimo nitridirati. Na ta način lahko nitridiramo samo tiste dele površine, ki so med uporabo izpostavljeni obrabi. Postopek ionskega nitridiranja je krajši od običajnega nitridiranja, poteka pa lahko tudi pri nižjih temperaturah, npr. 350 °C.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Nitriranje> in <http://www.obkov.si/index.php?id=108> (01. 03. 2011).

V tehnološki proizvodnji lahko glede na uporabne zahteve izdelkov izbiramo med nekaterimi postopki nitridiranja, kot so npr. NITOP-PL in NITOP-O, NITOM-M ipd. To so postopki nitridiranja, ki so namenjeni jeklenim izdelkom izpostavljeni izmeničnim toplotnim obremenitvam, npr. orodja pri tlačnem litju ali pri orodjih za delo v hladnem stanju. Na ta način preprečimo abrazivne obrabe pri različnih drsnih obremenitvah (Tomažič in Taljat, 2006, 64–66).

Povzetek

Izdelovalni postopki različnih polizdelkov (pločevina, trakovi, profili, žice, palice) in izdelkov (strojnih delov, ulitkov ipd.) iz jekla in železovih litin vedno vključujejo tudi postopke spreminjanja lastnosti. To so postopki normalizacije, žarjenja, kaljenja in popuščenja, oziroma poboljšanje in postopki površinskega utrjevanja (cementiranje, nitridiranje, ionsko nitridiranje, površinsko kaljenje).

Omenjeni postopki omogočajo spremembo mikrostrukture in s tem spremembo *mehanskih* ter *tehnoloških lastnosti* celotnega izdelka ali samo površine oziroma posameznih delov površine. V kateri fazi izdelave se postopki uporabijo je odvisno od predpisane tehnologije oziroma zaporedja izdelovalnih postopkov in od zahtevanih lastnosti.

Namen površinskega utrjevanja je povečanje trdote na površini in v podpovršinskem sloju. Površinsko utrjujemo predvsem vse tiste izdelke oziroma strojne dele in elemente (osi, gredi, zobniki), kjer je površina obremenjena na obrabo, morajo pa imeti veliko trajno dinamično trdnost.

V tehnološki proizvodnji se med postopki površinskega utrjevanja uveljavlja še kaljenje z elektronskim snopom in lasersko kaljenje. Pri laserskem kaljenju površina izdelka absorbira energijo žarka. Pri tem je za industrijo zanimivo mobilno ročno vodeno lasersko kaljenje preoblikovalnih orodij (Kallage et al., 2007, 64).

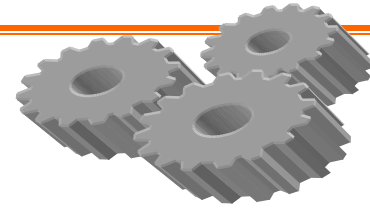
S toplotno obdelavo kot sta *žarjenje* in postopek *izločevalnega utrjevanja* izboljšamo lastnosti tudi nekaterim neželeznim zlitinam, npr. aluminijevim zlitinam skupine AlCuMg, AlMgSi in AlZnMg. Medtem ko drugi skupini aluminijevih zlitin, kot so npr. AlMg in AlMn povečamo mehanske lastnosti le z deformacijskim utrjevanjem

Postopek izločevalnega utrjevanja sestavljajo tri stopnje, in sicer topilno žarjenje, gašenje ter staranje. Glede na temperaturo staranja razlikujemo med naravnim in umetnim staranjem. Naravno staranje poteka pri temperaturi okolice 5 do 8 dni. Umetno staranje pomeni izotermno žarjenje zlitine v temperaturnem intervalu med 120⁰C do 190⁰C 30 minut do 24 ur. Pri višji temperaturi poteka izločanje delcev utrjevalne faze hitreje.

Iz navedenih razlogov morajo konstruktorji kovinskih izdelkov, kakor tudi tehnologi v proizvodnji, poznati vse možnosti spreminjanja mehanskih in tehnoloških lastnosti obdelovancev tako med posameznimi izdelovalnimi fazami kakor ob zaključku izdelave.

Na tem mestu naj omenim, da je nekatere izdelke potrebno pred uporabo še površinsko zaščititi z ustreznimi prevlekami. To pomeni, da jim na ta način spremenimo snovne lastnosti površinskega sloja. Glede na standard DIN 8580 pa je tehnologija površinskih prevlek obravnavana ločeno, in sicer v sedmem poglavju učnega gradiva.

(<http://www.fachwissen-technik.de/verfahren/fertigungsverfahren.html> (01. 03. 2011))



Vprašanja za preverjanje razumevanja

Po hladnem valjanju pri temperaturi okolice znaša izmerjena trdota trakov iz AlMg3 zlitine 70 HBW. Naročnik je zahteval trakove v mehkem deformacijskem stanju s trdoto 40 HBW. Navedite tehnološke pogoje za doseg zahtevane trdote trakov.

Navedite prednosti in slabosti postopka cementiranja in postopka nitridiranja. Pojasnite, v katerih primerih tehnološke prakse bi se odločili za postopek cementiranja in kdaj za postopek nitridiranja oziroma za postopek površinskega kaljenja.

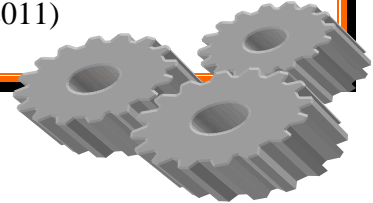
V diagramu temperatura (T)-čas(t) prikažite potek in tehnološke pogoje normalizacije, sferoidizacijskega žarjenja in kaljenja za jekli C45 in C100.

Navedite vrsto in pogoje žarjenja za poboljšanje obdelovalnosti jekla C85E.

Navedite vaše razloge pri izbiri postopka cementiranja in kdaj bi predlagali postopek poboljšanja?

Ugotovite in pojasnite razlike med izotermnim ter kontinuirnim ohlajanjem jeklenega izdelka.

Praktične primere induktivnega površinskega kaljenja, taljenja in spajkanja v industrijskih razmerah si lahko ogledate na spletni strani <http://www.inel.si/> (01. 03. 2011)



3 POSTOPKI OBLIKOVANJA

Uvod v poglavje

Postopki oblikovanja se razlikujejo glede na konstrukcijski načrt izdelka, izbrani material, obliko, dimenzijo ter maso izdelka.

Izbiramo lahko med tremi osnovnimi postopki kot so:

- ✚ litje
- ✚ metalurgija prahov (MP)
- ✚ postopki oblikovanja umetnih mas.

Litje je eden izmed najstarejših postopkov oblikovanja staljene kovine ali zlitine v uporabne izdelke, ki se imenujejo *ulitki*. Stara najdišča pričajo o tem, da so predmete iz bron in kositra oblikovali z litjem že stari Grki in Rimljani, litina na osnovi železa pa se pojavi šele ob koncu srednjega veka (Leskovar, 1978).

Pri velikoserijskih izdelkih zapletenih oblik je litje lahko bolj ekonomičen postopek, kot če bi izdelek v celoti izdelali npr. s postopkom odrezovanja. Prav tako pa lahko ulitki »nadomestijo« tudi kovane izdelke, pri tem pa upoštevamo, da imajo odkovki pravilom boljše mehanske lastnosti, ker so kemično homogeni in imajo bolj drobnozrnato mikrostrukturo.

Tehnološka proizvodnja izdelkov po postopkih *metalurgije prahov* nenehno narašča, tako zaradi izboljšanjih lastnosti izdelkov, varčevanja z energijo, ekološke osveščenosti, popolne avtomatizacije procesa, hitre prilagodljivosti procesa, kakor tudi zaradi uvajanja novih materialov in izdelkov.

Na izbiro postopkov oblikovanja izdelkov iz umetnih mas vplivajo določeni kriteriji, kot so: vrsta in priprava umetne mase, velikost, oblika, dimenzija in zahtevana dimenzijska natančnost izdelka, velikost serije, razpoložljiva oprema oziroma stroji in stopnja avtomatizacije.

V tem poglavju boste spoznali: postopke oblikovanja kovinskih in nekovinskih materialov, tehnologijo metalurgije prahov (MP) in tehnološke pogoje ter delovna sredstva.

3.1 POSTOPKI LITJA IN MATERIALI ZA LITJE

Pri postopku litja oblikujemo staljeno kovino ali zlitino v različne oblike ali v sestavne konstrukcijske dele zapletenih oblik, z zunanjimi ali notranjimi votlinami, v enem kosu.

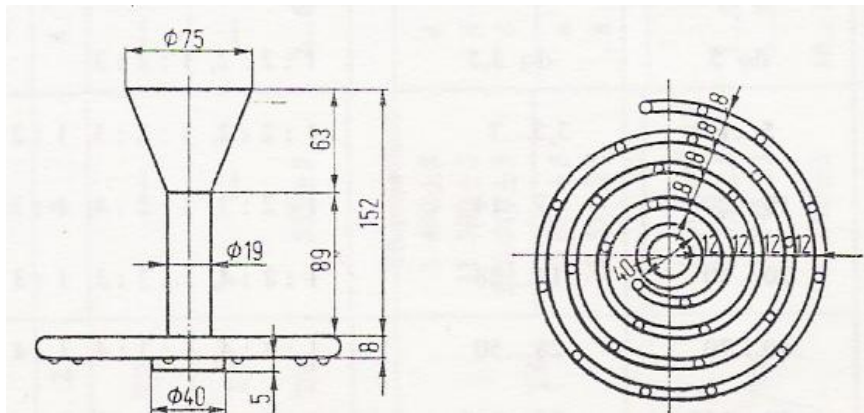
Izbira materiala za litje je odvisna od oblike, dimenzije in zahtevanih uporabnih lastnosti izdelka, ki ga imenujemo ulitek. Material, ki ga lijemo, imenujemo *litino*, ulite izdelke pa *ulitke*.

Sposobnost materialov za litje je različna, zato je pri postopkih litja pomembna tehnološka lastnost *livnost*, ki je pogojena s kemijsko sestavo materiala.

Livnost je odvisna od:

- ✚ temperature taline
- ✚ viskoznosti taline
- ✚ plinov v talini
- ✚ stopnje oksidacije
- ✚ krčenja taline pri strjevanju.

Najboljšo livnost imajo železove litine (siva, nodularna, bela) in neželezne zlitine za litje na osnovi aluminija, magnezija, cinka ter bakra.



Slika 14: Preizkušanje livnosti aluminijeve zlitine na vzorcu v obliki spirale

Vir: Ljevački priručnik, 1985, 481

Za taljenje kovin in zlitin se uporabljajo talilne ter livne peči različnih vrst in zmogljivosti, odvisno od proizvodnega programa livarne. V pečeh se, glede na zahtevano kemično sestavo ulitkov, talini dodajo še ustrezni dodatki.

V določenih primerih se uporabljajo vakuumske indukcijske peči za taljenje, razplinjevanje in ulivanje za ulitke, ki so pri uporabi izpostavljeni velikim mehanskim in toplotnim obremenitvam (<http://www.bosio.si/peci.aspx>, (20. 02. 2011).

Značilen primer so lopatice in drugi deli letalskih reaktivnih motorjev ter plinskih turbin v avtomobilskih motorjih. Ulitki morajo izpolnjevati stroge zahteve glede kemijske sestave, mikrostrukturne homogenosti in vsebnosti nekovinskih vključkov. Z ulivanjem v vakuumu razplinimo talino in preprečimo nastanek poroznosti (Panjan, 2009, 40).

V industrijski proizvodnji se uporabljajo različni načini litja, kot so npr.:

- ✚ litje v peščene forme (enkratne forme)
- ✚ kokilno litje (forme za večkratno litje)
- ✚ visokotlačno in nizkotlačno litje (trajne forme)
- ✚ centrifugalno
- ✚ precizijsko litje.

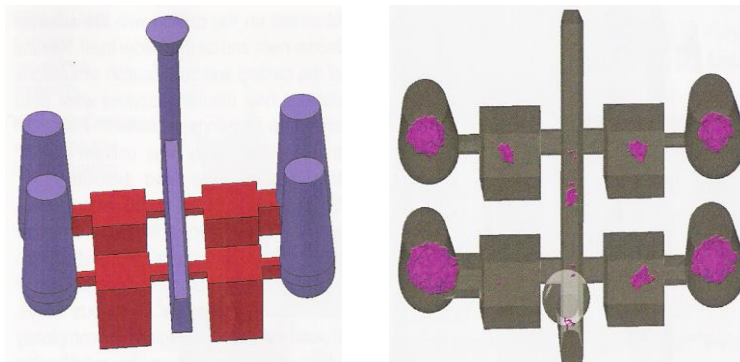
Postopek litja izbiramo glede na material ulitka, dimenzijske in kakovostne zahteve ulitka, kakor tudi glede na velikost naročene serije.

Tehnologija litja vključuje:

- ✚ taljenje, pripravo in kontrolo taline
- ✚ ulivanje v pripravljeno livarsko formo, ki ima negativno obliko izdelka
- ✚ čiščenje in kontrolo ulitkov.

Med ohlajanjem taline v peščeni formi oziroma v orodju pri tlačnem litju poteka strjevanje s kristalizacijo. Za ustrezne mehanske lastnosti odlitkov je zelo pomembna mikrostruktura odlitka. Velikost kristalnega zrna odlitkov uravnavamo z izbiro ustrezne tehnike litja ali pa z modifikacijo taline med litjem.

Za analizo in optimizacijo livarske proizvodnje so, podobno kot v ostalih izdelovalnih tehnologijah, aktivno vključene računalniške simulacije z izdelavo 3D modela izdelka in postopkov ulivanja glede na izbrane tehnološke pogoje. Na ta način se pravočasno zaznajo »kritične točke« postopka oziroma se lahko oceni sposobnost pretoka in strjevanja taline glede na obliko ulitka ter glede na dimenzioniran ulivni sistem.



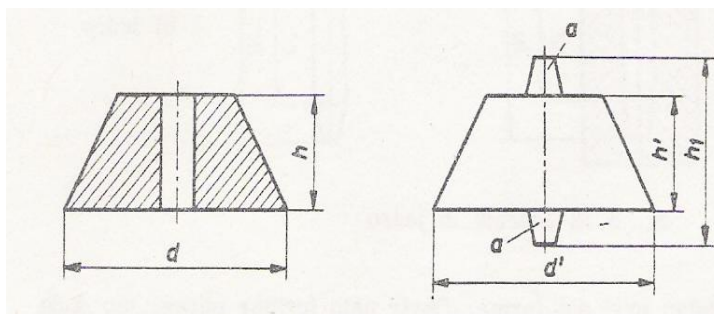
Slika 15: 3D CAD model ulitka (levo) in simulirana poroznost ulitkov (desno)

Vir: Livarski vestnik, 2009, 185

Glede na način litja polnimo livno votlino skozi ulivni sistem od spodaj, od zgoraj, od strani v sredini ipd. Livarsko formo lahko izdelamo iz mešanice livarskega peska, iz kovine ali iz primerne nekovinskega materiala. Za izdelavo form potrebujemo livarske modele. Model ima zunanjo obliko ulitka, le da so njegove mere povečane z dodatkom za krčenje, z dodatkom za obdelavo in nagib. Izdelan je lahko iz lesa, kovine ali umetne mase.

Konstruktivski načrt izdelka/ulitka livarski tehnolog dopolni z osnovnimi livarsko-tehnološkimi podatki, npr. tako da:

- ✚ označi delitev modela
- ✚ označi jedrne nastavke in jedra
- ✚ označi in dimenzionira ulivni sistem, ki ga sestavljajo ulivni lijak, razdelilni in dovodni kanal
- ✚ določi dodatke za obdelavo
- ✚ določi koeficient krčenja glede na material ulitka in
- ✚ določi nagibno ploskev.



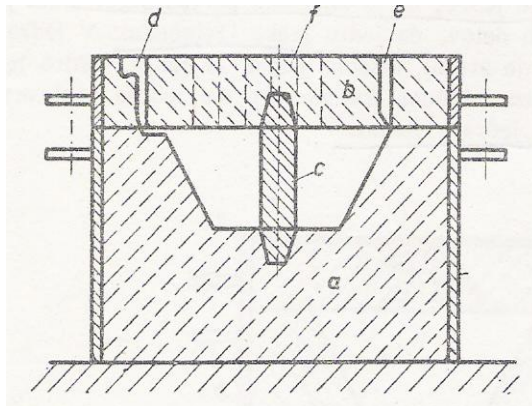
Slika 16 A: Načrt/risba izdelka in model z jedrnim nastavkom (a)

Vir: Gradiva 2. del, 1978, 185

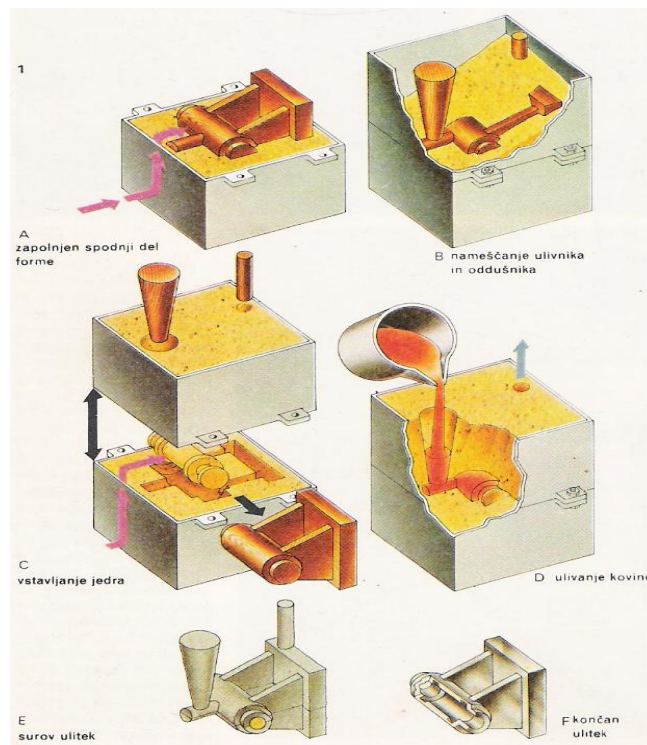
Ploskve livarskega modela, ki so pravokotno na delilno ravnino forme, morajo imeti nagib, ki omogoča lažjo odstranitev modela iz peščene forme. Velikost nagiba je odvisna od višine ploskve, vrste materiala, iz katerega je izdelan model, in od načina izdelave.

Izdelavo peščene forme imenujemo *formanje*. Za izdelavo forme, ki predstavlja negativ izdelka, potrebujemo posebej pripravljene livarski pesek, model ulitka in jedro, če so v izdelku votline. Model izdelka postavijo z delilno ravnino v spodnji del livarskega okvirja in vmesni prostor zapolnijo s pripravljeno mešanico livarskega peska. Nato pritrdijo še zgornji okvir za zgornji del forme in izdelajo ulivni sistem ter oddušnik.

Sestavljeno in posušeno formo ponovno razstavijo, izvedejo model in vstavijo jedro, (če so v izdelku votline ali prazna mesta) in formo ponovno sestavijo. Nato izvedejo ulivnik in oddušnik, skozi katerega uhaja iz forme zrak.



Slika 16 B: Izdelana peščena forma, pripravljena za litje
 a – spodnji del forme, b – zgornji del forme, c – jedro, d – ulivnik, e – oddušnik, f – zračnik
 Vir: Gradiva 2.del, 1978, 187



Slika 17: Primer izdelave peščene forme z vstavljenim jedrom
 Vir: Stroji, 1982, 42

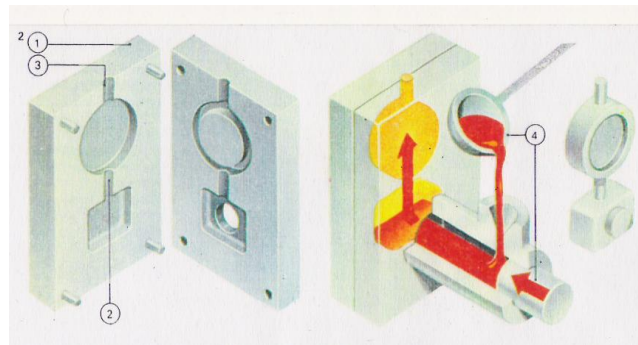
Peščena forma je *enkratna forma*, kar pomeni, da jo po ohlajanju razbijemo in ulitek strojno očistimo.

Razbitju peščenih form oziroma iztresanju ulitkov, sledi čiščenje ulitka, kar je še posebno pomembno pri zahtevnih oblikah, da nadaljnjo obdelavo ne motijo morebitni ostanki peska.

Nato sledi odstranjevanje ulivnega sistema, odstranjevanje prilitkov, brušenje, poliranje ali peskanje, kontrolni pregledi morebitnih napak in glede na zahtevane mehanske lastnosti še postopek toplotne obdelave.

Tlačno litje je postopek litja, kjer talina zapolni kovinsko formo ali gravuro pod visokim tlakom. Postopek je popolnoma avtomatiziran in se uporablja za litje velikih serij ulitkov zapletenih geometrijskih oblik predvsem iz zlitin aluminija, magnezija, cinka in bakra.

Na Sliki 18 je prikazan preprosti primer tlačnega litja v kovinsko dvodelno trajna formo ali kokilo (1). Poleg oblike ulitka, je v njej izdelan še ulivni kanal (2) in oddušnik (3). Kovinsko kokilo oziroma gravuro v orodju za tlačno litje, polnimo s pomočjo bata (4) pod visokim tlakom.



Slika 18: Primer tlačnega litja v kovinsko dvodelno trajno formo oziroma kokilo

Vir: Stroji, 1982, 42

Zaradi dobre livnosti in majhne mase se za tlačno litje uporabljajo predvsem zlitine aluminija, magnezija in cinka, kot so npr:

- ✚ AlSi12, AlSi10Mg, AlSi8Cu3, AlSi12Cu, AlSi9Cu3, AlMg9, AlSi9MgMnZr
- ✚ MgAl6, MgAl6Zn1, MgAl4Si1, MgAl8Zn1T
- ✚ ZnAl 4, ZnAl 4 Cu1.

Cinkove zlitine imajo sicer majhno trdnost ($R_m \approx 260 \text{ N/mm}^2$) in trdoto ($HB < 90$), imajo pa dobro livnost, nizko tališče oziroma nizko temperaturo litja, zato se uporabljajo za litje manj obremenjenih, drobnih izdelkov, ki imajo zapletene oblike.

Tlačni ulitki imajo ustrezne mehanske lastnosti in kakovostno površino, tako da nadaljnja obdelava običajno ni potrebna.

Najpomembnejši vplivi na kakovost ulitkov so:

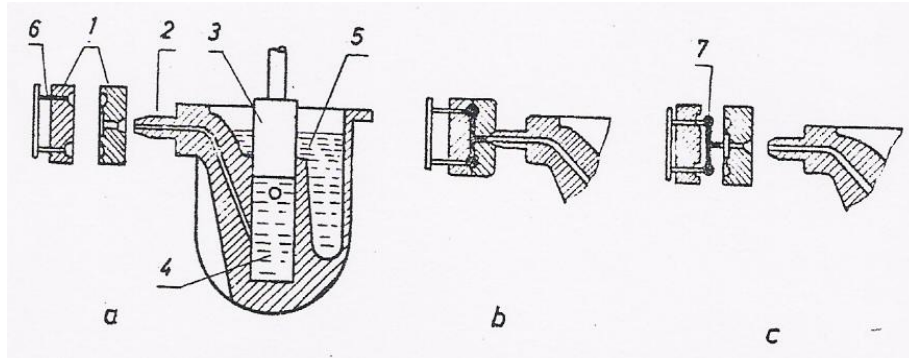
- ✚ geometrija ulivnega sistema
- ✚ tlak
- ✚ temperatura in hitrost taline
- ✚ temperatura forme, mazanje forme ipd.

Tlačno litje je proces z visoko stopnjo avtomatizacije in poteka v treh zaporednih livnih ciklih oziroma fazah, ki so shematično prikazane na Sliki 19 a, b in c.

Na Sliki 19 a je prikazana brizgalna komora s pripravljeno talino (5). Bat (3), ki potiska talino v formo je v zgornji legi, forma oziroma dvodelna kokila (1) je odprta.

V prvi fazi se zaradi gibanja bata iztisne zrak iz livne šobe, livnih kanalov in kokile.

V drugi fazi (Slika 19 b) talina napolni livni kanal in kokilo, tako da nastopi strjevanje taline pod visokim tlakom. Nato sledi odpiranje forme in izmet ulitka (7), kot prikazuje Slika 19 c.



Slika 19: Shematski prikaz tlačnega litja

Vir: Gradiva 2. del, 19978, 241

Stroji za tlačno litje so lahko različne izvedbe in zmogljivosti. Tako se npr. za litje cinkovih in magnezijevih zlitin uporabljajo stroji s toplo komoro in kovinsko črpalko, potopljeno v talino, medtem ko se za litje aluminijevih zlitin uporabljajo stroji s hladno livno komoro (Ljevački priručnik, 1985, 934).



Slika 20: Stroj za tlačno litje

Vir: <http://www.szilagyi.si/en/die-casting/> (02. 03. 2011)



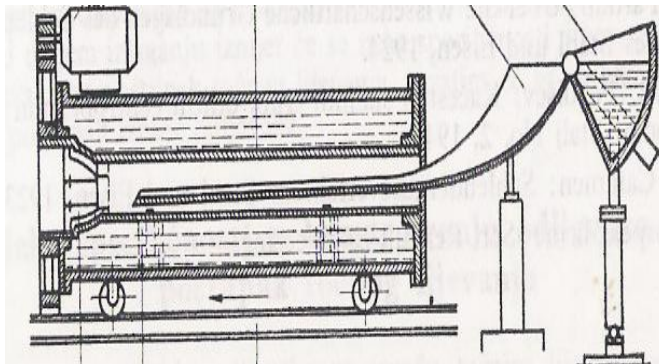
Postopek tlačnega litja si lahko ogledate na spletni strani:

<http://www.podkubovsek.com/livarstvo.html> (02. 03. 2011)

Pri *precizijskem* litju uporabljamo enodelne modele, ki so narejeni iz voska in smol. Za izdelavo modelov za enkratno uporabo uporabljamo posebne matrice, ki imajo negativno obliko modela in jih lahko razstavimo. Najprej moramo izdelati matrico, v katero nato vbrizgnemo vosek ali umetno maso. Nato model izvlečemo iz matrice in premažemo s premazom, odpornim proti visokim temperaturam. V okvirju iz jeklene pločevine ga zalijemo z maso za formanje. Dobljeno formo nato ogrevamo v peči pri temperaturi do 1000 °C. Pri tem izteče vosek, forma pa se utrdi in doseže veliko trdnost.

Precizijsko litje uporabljamo za lažje ulitke do mase 15 kilogramov in zapletenih oblik. Ulitki imajo natančne izmere in so brez napak zaradi sestavljanja forme.

Za izdelavo rotacijskih votlih teles, kakor so cevi, puše, kolesa, valji ipd. uporabljamo pogosto *centrifugalno litje*. Talino lijemo v rotirajočo posebno votlo, vodno hlajeno jekleno kokilo, ki se vrti okoli svoje osi. Centrifugalna sila pritisne talino ob formo in jo enakomerno porazdeli po obodu. Hitrost vrtenja mora biti tako velika, da je centrifugalna sila na talino večja, kakor pa njena teža.



Slika 21: Shematski prikaz B. Levaudovega stroja za centrifugalno litje cevi
Vir: Ljevački priručnik, 1985, 1013

Forme so običajno trajne in izdelane iz sive litine, jekla, peska ali umetne mase. Lahko so pokončne, vodoravne ali rahlo nagnjene. V večini primerov jih uporabljamo za masovno proizvodnjo ali pa za litje nestandardnih premerov cevi in za cevi iz umetnih mas ipd. Iz jeklene litine lahko lijemo vagonška kolesa, najrazličnejše zobnike, motorne valje ipd., iz bronov in medi npr. puše drsnih ležajev itd.



Na spletni strani si oglejte različne tehnike ulivanja:
<http://www.dominotrade.si/ulitki.html> (11. 03. 2011)

3.1. 1 Kontinuirno (neprekinjeno) litje

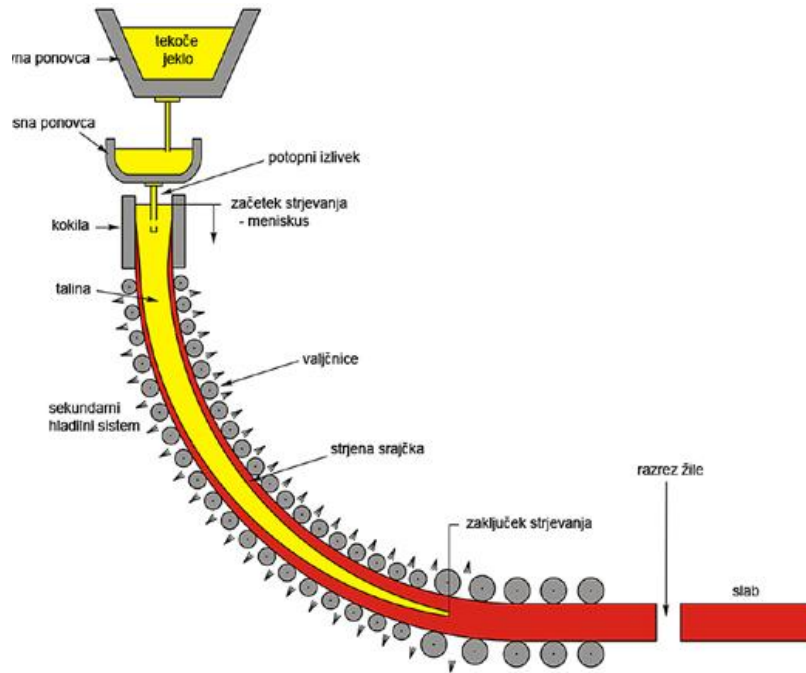
Na tem mestu moramo omeniti še visokoproduktiven postopek kontinuirnega ali neprekinjenega litja jekla in neželeznih kovin ter zlitin.

Na Sliki 22 je shematsko prikazana naprava za kontinuirno ulivanje jekla. Iz livne ponovce se staljena kovina ali zlitina ulije v vmesno ponovco in nato preko potopnega izlivka v vodno hlajeno kokilo. Zaradi vodnega hlajenja kokile nastopi strjevanje najprej ob stenah kokile. Za preprečitev lepljenja strjene površine jekla na vodno hlajeno kokilo se dodajajo livni praški. Vodno hlajena kokila oscilira v smeri vlivanja s hitrostjo, ki je večja od livne hitrosti.

Kontinuirna žila se nadalje hladi z vodnimi prhami. Ko je žila strjena po celotnem preseku, se razreže na zahtevano dolžino.

Pomembni procesni parametri so:

- ✚ hitrost in temperatura ulivanja
- ✚ dimenzije žile
- ✚ vrsta materiala in razmere pri ohlajanju žile.



Slika 22: Naprava za kontinuirano ulivanje jekla

Vir: <http://www.acroni.si/data/files/1243841165.pdf> (11. 03. 2011)

Po predhodnem ogrevanju in žarjenju so produkti kontinuirnega litja, ki so lahko v obliki palic, slabov ali tako imenovanih hlebčkov, vhodni material za valjarniške proge. To pomeni, da postopku kontinuirnega ulivanja sledi gnetenje oziroma postopek *preoblikovanja s plastično deformacijo* najprej v toplem, nato pa še v hladnem stanju.



Kontinuirno litje aluminija in aluminijevih zlitin si oglejte na spletnem naslovu http://www.talum.si/si/proizvodi/litje_drogov.php (11. 03. 2011)

Kljub visoki stopnji avtomatizacije in nenehni skrbi za celovito zagotavljanje ter obvladovanje kakovosti ulitkov pri litju prihaja do nekaterih napak. Livarske napake so označene s številko in črko ter po mednarodni klasifikaciji razporejene po zunanjem izgledu v sedem razredov, in sicer:

- A – izrastki nepravilnih oblik
- B – votline
- C – prekinitev mase ulitka
- D – površinske napake
- E – nepopolni ulitek
- F – nepravilne mere ali oblike ulitka
- G – vključki ter nepravilna mikrostruktura.

Prav tako pa moramo pri označevanju napak upoštevati tudi:

a) *material* ulitka in postopek litja:

1 – jeklena litina, 2 – siva litina, 3 – nodularna litina, 4 – bela litina in 5 – neželezne kovine in zlitine ter b) *postopek* litja:

a – litje v sveže pečene forme, ..., i – tlačno litje, l – kontinuirno litje itd.

Standardne metode za kontrolo kakovosti procesov litja oziroma ulitkov so metalografska in rentgenska analiza, natezni preizkusi ter meritve dimenzijske točnosti.

3.2 POSTOPKI OBLIKOVANJA UMETNIH MAS

Umetne mase izdeluje kemijska industrija v obliki granulata, smol, prahu ipd. Glede na uporabo in zahtevane mehanske in funkcionalne lastnosti izdelka je potrebna predhodna ustrezna priprava mešanice z dodatki, kot so npr.:

- + polnila, izboljšajo oblikovno in toplotno stabilnost, mehanske lastnosti
- + barvni dodatki
- + protivžigni dodatki
- + stabilizatorji, ščitijo pred razpadom pri predelavi, pred oksidacijo in vplivom svetlobnih ter UV žarkov
- + antistatiki, zmanjšujejo površinski naboj in privlačenje prahu ipd.

Glede na obnašanje pri segrevanju in oblikovanju tehnološko razdelimo umetne mase na:

- + *elastoplaste ali elastomere*
- + *termoplaste ali plastomere*
- + *duroplaste ali duromere.*

Makromolekule *elastoplastov* so šibko zamrežene, zato se že pri manjših obremenitvah raztegnejo in pri razbremenitvi vrnejo v prvotni položaj. Molekule niso razdružljive in regeneracija ni možna. Elastoplaste, kot so npr. silikonski kavčuk, poliuretanski kavčuk, poliakrilatni, naravni kavčuk, stiren butadienski kavčuk (SBR) uporabljamo za izdelavo različnih tesnil, mehkih cevi, za proizvodnjo membran, zračnic, pnevmatik, transportnih trakov, gumiranih valjev in kablov (<http://klander.over.net/proizvodnja.htm>, 11. 03. 2011).



Slika 23: Izdelki iz gume v kombinaciji s kovino

Vir: <http://www.etigum.si/predelava-gumenih-zmesi.aspx> (11. 03. 2011)

http://www.tesnila-teng.si/program_izdelki.php?ID=67 (11. 03. 2011)

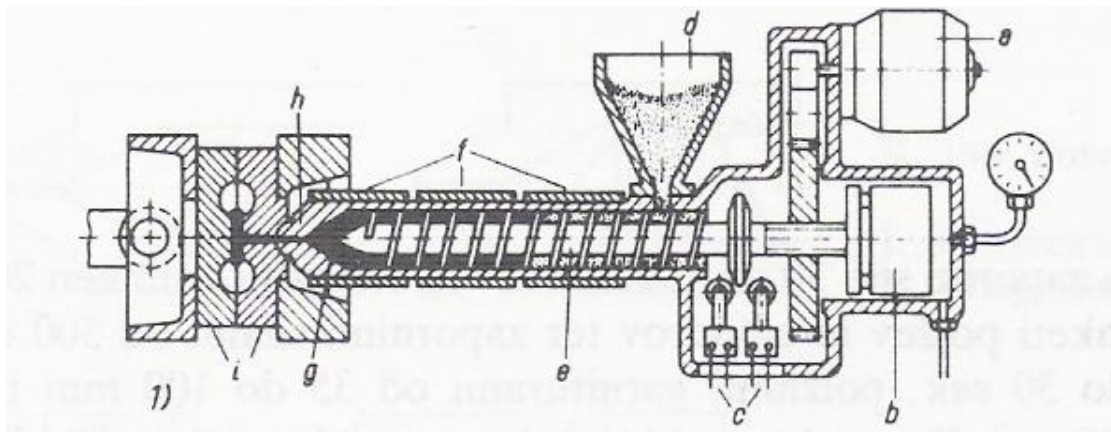
Izdelki iz gume se uporabljajo v avtomobilski, kemijski in elektrotehnični industriji ter za številne drobne izdelke v industriji bele tehnike. Sestavljeni izdelki iz gume in kovine združujejo elastične lastnosti gume in togost kovine.

Termoplasti imajo dolge in razvejane molekularne verige. Pri segrevanju med 100 do 180 °C se omehčajo. Lahko jih varimo, segrevamo do staljenega stanja, oblikujemo in po ohladitvi ponovno segrevamo ter preoblikujemo. Razlikujemo med amorfnimi in delno kristaliničnimi termoplasti. (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Material>, 09.03.2011).

Termoplasti imajo *linearno* obliko molekularne verige. Pri segrevanju med 100 do 180 °C se omehčajo. Lahko jih varimo, segrevamo, oblikujemo in jih po ohladitvi ponovno segrevamo ter preoblikujemo. Med plastomere uvrščamo: polivinilklorid (PVC) različnih trdot, polietilen (PE), poliamid (PA), polistiren (PS), polipropilen (PP), polikarbonat (PC).

Za duroplaste ali *duromere* je značilna razvejana, *mrežasta* oblika molekularne verige. Ko utrdijo, jih s ponovnim segrevanjem tehnično ni možno več preoblikovati ali reciklirati. Oblikujejo se s taljenjem in z ulivanjem ter se ne varijo. Pri višjih temperaturah razpadejo.

Med najpomembnejše postopke oblikovanja termoplastičnih umetnih mas uvrščamo tlačno litje ali brizganje (za veliko serijsko proizvodnjo manjših izdelkov) in ekstrudiranje za izdelovanje dolgih izdelkov s konstantnim prerezo, kot so cevi, profili ipd. Brizgalni stroji so sestavljeni iz brizgalnega dela in zapiralnega dela, kjer je orodje. Z vzdolžnim pomikom polža (e) se pripravljena in ogreta masa iz zalogovnika (d) vbrizga skozi komoro za plastificiranje mase (g) ter dolivne kanale v dvodelno orodje (i).

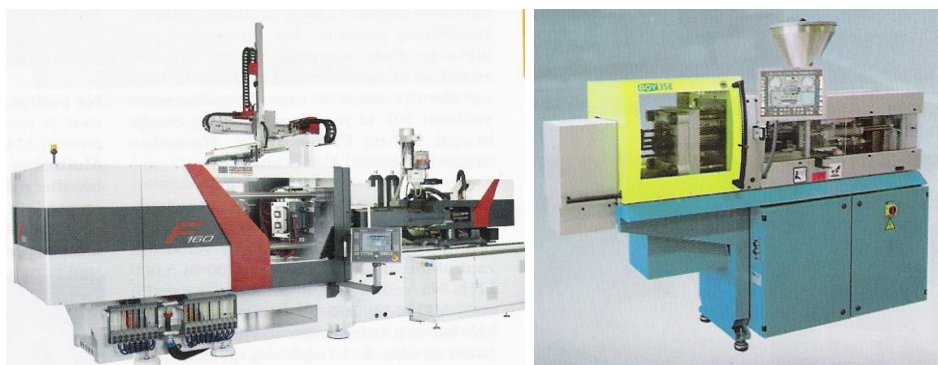


Slika 24: Stroj za brizganje termoplastov

Vir: Plastik-Orodjar, 1998, 201

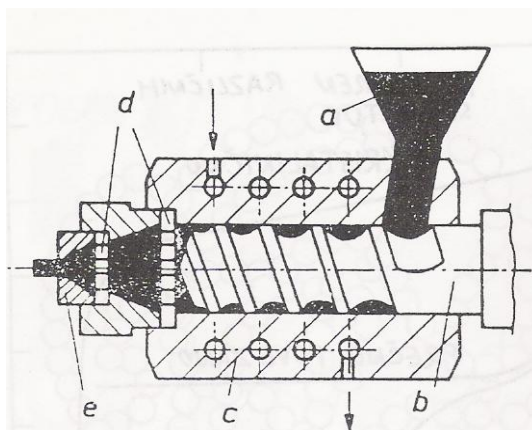
Med ohlajanjem izdelka polž z manjšim pritiskom dozira dodatno maso za morebitno kompenzacijo skrčkov. Nato polž z obračanjem in vzvratnim pomikom dozira v cilindrično novo količino mase za naslednji brizg. Medtem se orodje odpre in izdelek se izbije iz orodja, nakar se orodje ponovno zapre (Navodnik in Kopčič, 1998).

Novejši brizgalni stroji imajo skrajšane čase cikla, so varčnejši glede prostora, predvsem pa glede porabe energije, tako da v nekaterih primerih ni potrebno hlajenje. So prilagodljivi in omogočajo različno modularno vgradnjo glede na potrebe in oblikovne zahteve naročenih izdelkov (Slika 25).



Slika 25: Najnovejša brizgalna stroja, (leto izdelave 2010)
Vir: IRT, 6/2010, 115

Stroj za *izstiskavanje* umetnih mas je prikazan na Sliki 26. Ustrezna mešanica granulata z dodatki se dozira iz zalogovnika (a). V *ogrevanem valju* (c), kjer je *vrteči se ekstruder ali polž* (b), se umetna masa zgosti, premeša, ogreje in plastificira ali pa tudi kemijsko spremeni. Nato se kontinuirno iztiska skozi *profilirano šobo* (d) v *matrico* (e).



Slika 26: Stroj za iztiskavanje umetnih mas
Vir: Gradiva 2. del, 1978, 301

Ekstrudiranje je za brizganjem najbolj razširjen postopek za izdelavo daljših izdelkov oziroma predmetov s konstantnim prerezom, kot so cevi, okenski profili, izolirane električne žice, trakovi, palice ipd. Ekstruderji so stroji, ki iz zalogovnika prevzeto maso zgostijo, premešajo, stalijo ali tudi kemijsko spremenijo in jo nato kontinuirano iztiskajo skozi matrico in ne v orodje kakor pri injekcijskem brizganju.

Po postopku *pihanja* izdelujemo steklenice, tube, ampule, posode za tekoča goriva in kemikalije, sode ter druge votle izdelke.

Najpogostejše napake pri brizganju termoplastov so lahko posledica neustrezne priprave mešanice, površinske napake ali oblikovne napake.



Na spletni strani <http://lab.fs.uni-lj.si/lap/html/pages/si-polimerna-gradiva-tehnologije.htm>, si oglejte značilnosti in postopke oblikovanja umetnih mas

3.3 METALURGIJA PRAHOV (PM)

Metalurgija prahov (Powder Metallurgy-MP) se je med postopki oblikovanja, zaradi določenih prednosti in posebnosti popolnoma uveljavila in je za nekatere vrste izdelkov kot so npr. samomazalni ležaji in različni filtri ipd., edini možni način izdelave. Danes vključuje metalurgija prahov tehnološke postopke oblikovanja izdelkov iz kovinskih prahov, pri nekovinskih pa prevladujejo predvsem keramični izdelki, izdelki elektronske in magnetne keramike, rezalna orodja ipd.

S postopkom metalurgije prahov izdelujemo izdelke iz drobnih zrn, velikosti 0,5 do 300 mikrometrov, kovin, zlitin, nekovin ali keramike, s stiskanjem in sintranjem. Izdelki imajo nekatere posebne lastnosti in jih razdelimo v več skupin. Osnovne skupine izdelkov, ki se izdelujejo po tehnologiji metalurgije prahov, smo spoznali že pri predmetu Materiali.

(www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Materiali-Kisin.pdf)

Tehnologija metalurgije prahov vključuje:

- ✚ izdelavo prahov
- ✚ karakteriziranje prahov
- ✚ pripravo prahov za stiskanje (konsolidacija)
- ✚ stiskanje
- ✚ sintranje
- ✚ sekundarne postopke (dodatna obdelava po sintranju).

Najpomembnejše prednosti oblikovanja različnih izdelkov iz prahu, so naslednje:

- ✚ izboljšane lastnosti oziroma kakovost izdelkov,
- ✚ prilagodljivo načrtovanje in manjši stroški izdelave,
- ✚ izdelava izdelkov različne kemične sestave in
- ✚ velika dimenzijska natančnost ter kakovost površine.

Kovinski prahovi se lahko pridobivajo z redukcijo oksidov, elektrolizo, s hidrometalurško ali z atomizacijo kovinske taline. Izbrana tehnologija izdelave prahov je odvisna od vrste kovine ali zlitine, od zahtev izdelka, ekonomičnosti postopka ipd. Najbolj so razširjene fizikalne metode izdelave prahov z razprševanjem oziroma atomizacijo raztaljene kovine ali zlitine z inertnimi plini ali vodo.

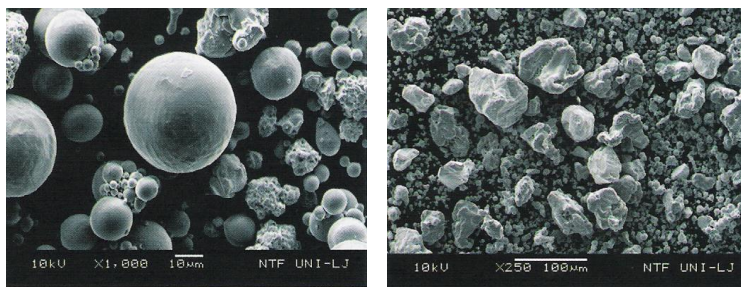


Slika 27: Nekateri izdelki (PM) tehnologije

Vir: <http://www.sinter-okl.com/galerija.shtml> (11. 03. 2011)

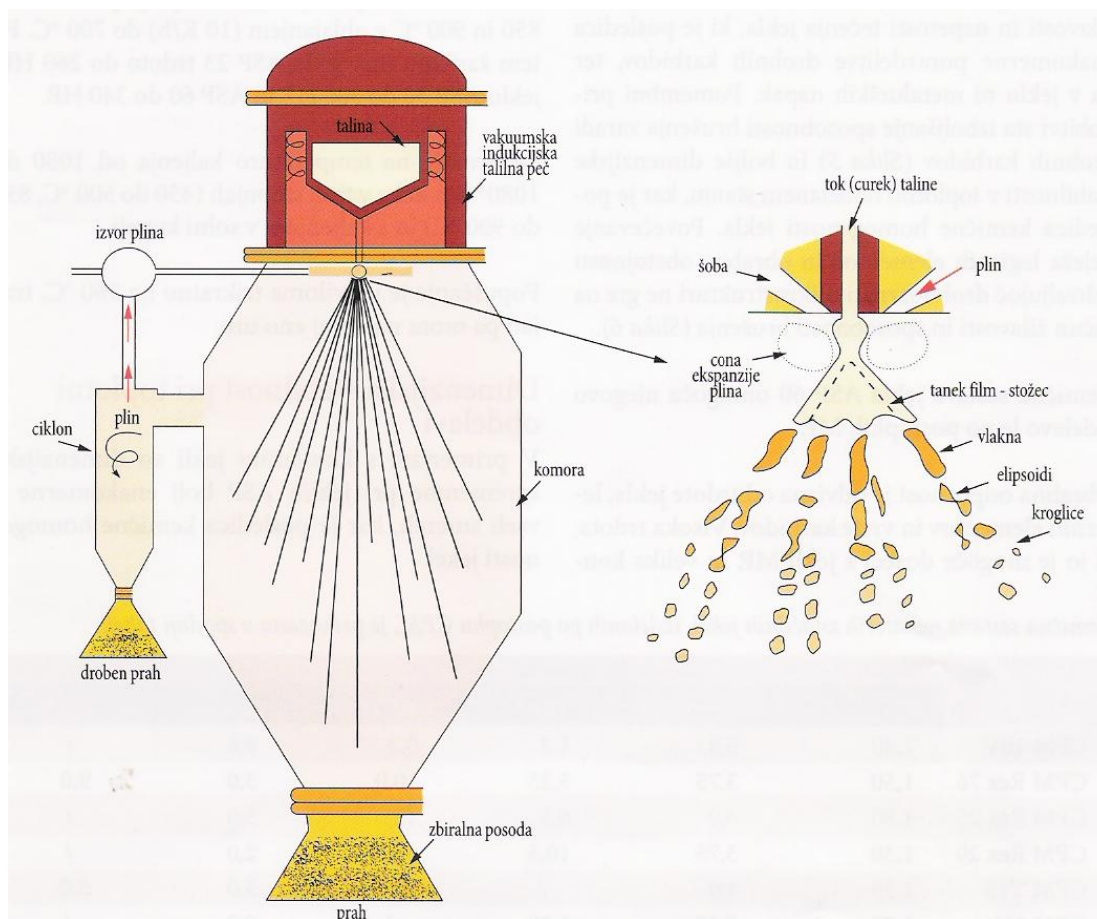
Pri postopku izdelave prahov z razprševanjem oziroma z atomizacijo taline različnih kovin in zlitin priteka curek kovinske taline skozi šobo, ki je dodatno opremljena z dovodom plina (argon, dušik ali zrak) ali z dovodom vode pod tlakom. Močan curek plina ali vode, ki je pod tlakom zagradi raztaljeno kovino in jo razprši v kapljice (Slika 29).

Pri razprševanju s plinom, so kovinska zrna okrogle oblike, Slika 28 levo, medtem ko so pri vodni atomizaciji zrna nepravilnih oblik in prikazana na Sliki 28 desno.



Slika 28: Kroglasti delci hitroreznega jekla (levo) in delci nepravilnih oblik jekla (desno)

Vir: IRT, 2/2006, 82



Slika 29: Atomizacija curka taline

Vir: IRT, 2/2006, 81

Sposobnost prahu za oblikovanje je odvisna od velikosti in oblike prahu, kemične sestave, gostote ter trdote. Od navedenih osnovnih lastnosti so za oblikovanje prahov posebno pomembne še nasipna gostota in nasipni kot, stisljivost ipd.

Metode, postopki, analize in merilna oprema za meritev ter oceno lastnosti prahov so v celoti standardizirani (MPIF-Metal Powder Industries Federation).

Izdelke iz prahu običajno oblikujemo s stiskanjem v matricah. Tehnološki pogoji izdelave izdelkov iz prahu so:

- ✚ tlak in temperatura stiskanja
- ✚ temperatura in čas sintranja.

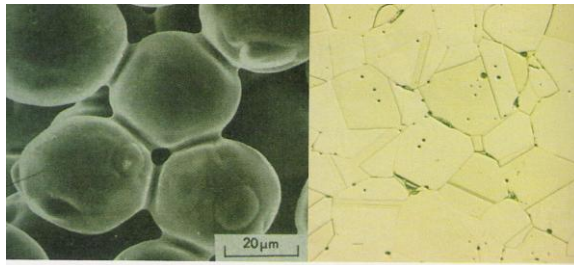
Tehnično najpomembnejše je stiskanje, ki je običajno dvostransko. Tehnološki pogoji stiskanja so odvisni od:

- ✚ kemične sestave
- ✚ oblike in velikosti prahu
- ✚ od zahtevane gostote oziroma trdnosti izdelka.

Tlaki stiskanja znašajo npr. 200 do 1000 MPa in neposredno vplivajo na gostoto izdelka. To pomeni, da mora biti, pri izdelkih zapletenih oblik, stikalno razmerje enako za vse ravnine izdelka, kar zahteva ustrezno deljena orodja.

Stiskanju sledi *sintranje*, to je segrevanje stisnjencev v pretočnih in/ali komornih pečeh, običajno v zaščitni atmosferi vodika ali v vakuumu. Izbira zaščitne atmosfere je odvisna predvsem od materiala izdelka.

Prašnati delci se zaradi površinskih difuzijskih procesov in z njimi povezanimi premiki atomov povezujejo, zato na stikih nastanejo »povezovalni«
vratovi (Slika 30), ki s časom izgubijo obliko, ker se delci med seboj povežejo. Manjši delci imajo zaradi velikega razmerja med površino in volumnom delca večjo površinsko energijo, zato sintranje poteka hitreje.



Slika 30: Začetna faza sintranja (levo) in mikrostruktura avstenitnega jekla po sintranju
Vir: IRT, 4/2007, 122

Na končne lastnosti izdelka vplivajo naslednji parametri sintranja:

- ✚ hitrost segrevanja in ohlajanja izdelka
- ✚ temperatura, čas sintranja in atmosfera.

S sintranjem izboljšamo, glede na končno gostoto izdelka predvsem trdnost, trdoto in žilavost. Poroznost že stiskanega izdelka lahko zmanjšamo na dopustno mejo s ponovnim stiskanjem, z do šestdeset odstotkov večjimi tlaki. Na ta način se lahko izboljšajo tudi tolerance izdelka do 0,01 mm.

Temperatura sintranja je nižja od temperature tališča osnovnih sestavin prahu ($2/3 T_{\text{tališča}}$) npr. za Fe 1100 °C, bron 760 °C do 860 °C itd. Sintranje poteka v električnih pečeh, kjer je zaščitna atmosfera, npr. vodik, dušik, argon ali helij.

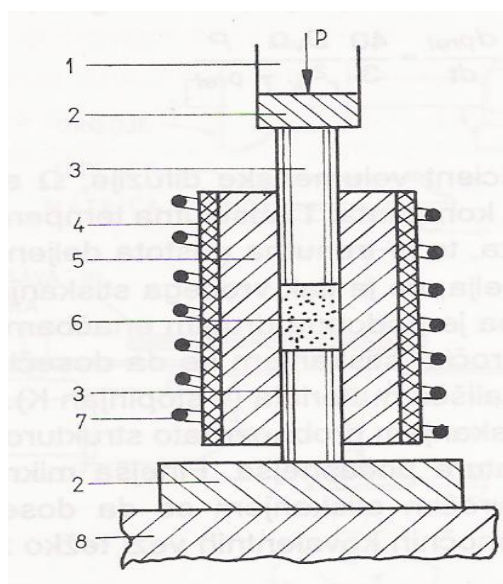
Čas sintranja je odvisen od velikosti izdelka in vrste prahu ter znaša 20 do 60 minut.

Poleg sintranja v trdnem stanju se pogosto uporablja tudi sintranje ob prisotnosti taline. To pomeni, da sintranje poteka pri temperaturi, pri kateri je ena ali več komponent, ki sestavljajo stiskanec, že staljena.

Postopek stiskanja, sintranja in ponovno stiskanje (kalibriranje) lahko po potrebi ponavljamo in kombiniramo. To nam omogoča izdelavo izdelkov s širokim spektrom mehanskih lastnosti in toleranc, kar lahko uporabimo pri številnih tehničnih rešitvah. Po sintranju so možni tudi vsi nadaljnji sekundarni postopki obdelave, kot so: toplotna obdelava, površinsko utrjevanje, spajanje in mehanska obdelava na primer: vrtanje ter struženje.

Poleg sintranja v trdnem stanju se pogosto uporablja tudi sintranje ob prisotnosti taline. To pomeni, da sintranje poteka pri temperaturi, pri kateri je ena ali več komponent, ki sestavljajo stiskanec, že staljena.

Na Sliki 31 je prikazana shema naprave za vroče stiskanje izdelkov iz prahu pri visoki temperaturi, kjer poleg stiskanja poteka tudi sintranje. Postopek lahko uporabljamo za kovinske in visoko kvalitetne keramične prahove.



Slika 31: Shema naprave za vroče stiskanje

Vir: Tehnična keramika 2, 1993, 271

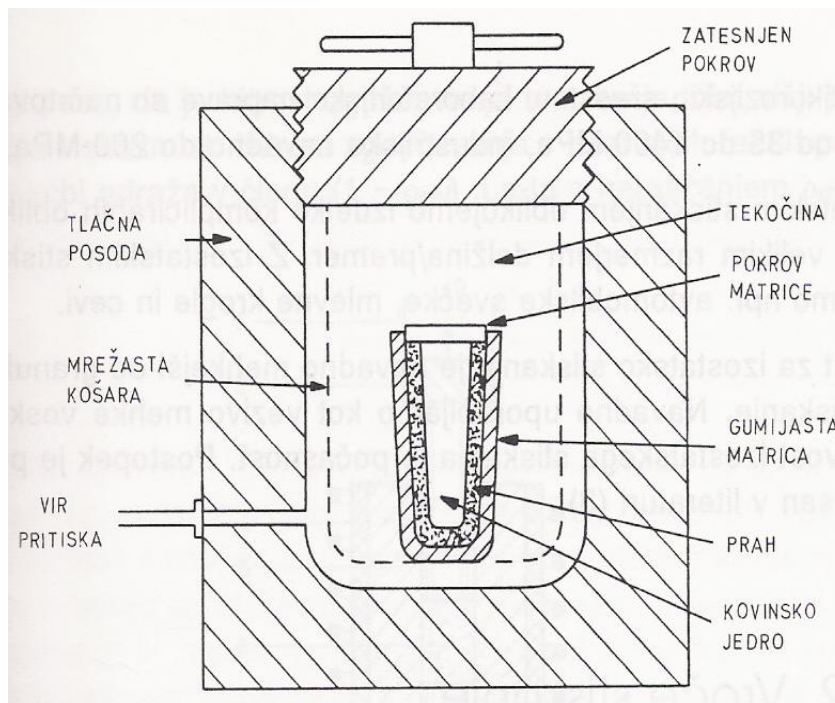
Na Sliki 31 pomenijo: 1 – bat stiskalnice, 2 – ognjevarna podložka, 3 – zgornji in spodnji bat matrice, 4 – električna in toplotna izolacijska plast, 5 – grafitna matrica, 6 – stiskanec, 7 – visokofrekvenčni induktor, 8 – podloga

Pri tem moramo omeniti, da za visoko *kakovostne izdelke* lahko izbiramo med različnimi postopki sintranja, npr. hladno izostatsko stiskanje (Cold Isostatic Pressing-CIP) ali vroče izostatsko stiskanje (Hot Isostatic Pressing-HIP).

Pri slednjem postopku je poleg zgoščevanja kovinskih prahov možno izdelovati izdelke tudi iz kvalitetnih keramičnih prahov.

Postopek vročega izostatkega stiskanja (HIP) se razlikuje v tem, da je avtoklav ogrevan na visoko temperaturo, orodja so lahko kovinska ali keramična, tlak pa izvajajo ogreti plini npr. helij, argon ali dušik.

Pri postopku hladnega izostatskega stiskanja (CIP) na Sliki 32 vložimo s prahom napolnjeno orodje (npr. gumijasto matrico) v avtoklav, ki je napolnjen s tekočino. Ko tekočino stisnemo, se tlak enakomerno prenaša z vseh strani na izdelek.



Slika 32: Shematski prikaz izostatskega stiskanja
Vir: Tehnična keramika 2, 1993, 269

Najpogostejše napake, ki se pojavijo med sintranjem so geometrijska odstopanja (*skrček*), kar je potrebno upoštevati že pri načrtovanju in izdelavi orodja, glede na vrsto materiala.

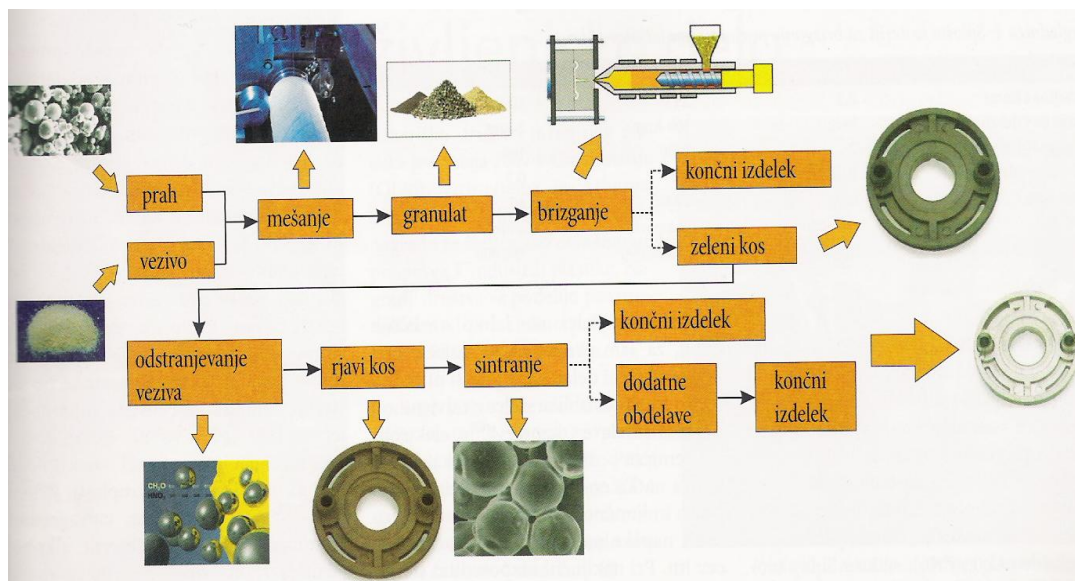
Pri izbiri tehnoloških pogojev oblikovanja (pritisk, hitrost, temperatura) moramo upoštevati morebitno *krčenje* izdelka.

Na tem mestu moramo omeniti še novejšo tehnologijo laserskega sintranja (**Selective Laser Sintering, SLS**), ki se uporablja za manjše serije in hitro izdelavo prototipov iz termoplastov.

Izdelki nastanejo s taljenjem oziroma sintranjem po slojih. Glede na CAD 3D-model izdelka, stroj nanaša prah, sloj za slojem, velikosti ~ 50 mikrometrov. Po nanosu nove plasti prahu, računalniško vodeni CO₂ laser, opiše površino prototipa, da se prah sprime. Uporabljeni termoplasti so lahko poliamid (PA) ali poliamid, ojačan s steklenimi vlakni (dobra toplotna odpornost in trdnostne lastnosti) ali pa termoplastični elastomer (TPE) ki je podoben gumi ([http://sl.wikipedia.org/wiki/Selektivno lasersko sintranje](http://sl.wikipedia.org/wiki/Selektivno_lasersko_sintranje), 23. 02. 2011).

Kot konkurenčna in cenovno ugodna tehnologija za izdelavo velikih serij majhnih kakovostnih izdelkov, tudi mikroizdelkov, zelo zapletenih oblik se uveljavlja postopek brizganja prašnatih delcev (Powder Injection Molding-PIM), ki je kombinacija brizganja umetnih mas in enosnega stiskanja ter sintranja prahu (Berginc in Rot, 2007, 139).

Na Sliki 33 je prikazano zaporedje posameznih izdelovalnih faz za doseg ustrežne kakovosti izdelkov pri postopku brizganja prašnatih delcev.



Slika 33: Zaporedje izdelovalnih faz pri postopku brizganja prahu
Vir: IRT, 3/2007, 139

Povzetek

Med postopke *oblikovanja kovinskih in nekovinskih izdelkov* uvrščamo postopke:

- ✚ litja kovin in zlitin
- ✚ brizganje in ekstrudiranje umetnih mas
- ✚ tehnologijo metalurgije prahov.

Način litja izbiramo glede na material ulitka, dimenzijske in kakovostne zahteve ulitka, kakor tudi glede na velikost naročene serije.

Končna obdelava ulitkov običajno poteka v zaporedju po predpisanem delovnem postopku, in sicer iztresanje ulitka pri peščenih formah oziroma izmet ulitka pri tlačnem litju, grobo čiščenje, odstranitev napajalnega in ulivnega sistema, srha, brušenje, morebitna toplotna obdelava, peskanje, fino brušenje, manjša popravila ter končna kontrola ulitkov.

Med najpomembnejše postopke oblikovanja *termoplastičnih umetnih mas* uvrščamo: tlačno litje ali brizganje (za velikoserijsko proizvodnjo manjših izdelkov) in ekstrudiranje za izdelovanje dolgih izdelkov s konstantnim preozom, kot so cevi, profili ipd. Brizgalni stroji se med seboj ločijo glede na silo spenjanja (200 kN do 100 000 kN).

Postopek *metalurgije prahov* uporabljamo povsod tam, kjer omogoča določene tehnično ekonomske prednosti ob najmanjši ekološki obremenitvi okolja, ob največjem izkoristku osnovnih surovin in pri najmanjši porabi energije na enoto mase izdelka. Glavne omejitve postopka so pri dimenziji oziroma masi izdelka.

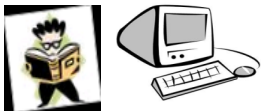
Na gostoto oziroma lastnosti sintranih izdelkov vplivajo vrsta in velikost prahu, tlak stiskanja in temperatura sintranja.

Iz prahov izdelujemo tudi keramične izdelke, cermete, karbidne trdine in nekatere značilne izdelke, za katere je postopek metalurgije prahov edina možna izbira.

Pri odločitvi za tehnologijo prahov so odločujoči naslednji kriteriji:

- ✚ lastnosti izdelka pri uporabi
- ✚ oblika, velikost, dimenzije in gostota izdelka
- ✚ število oziroma serija izdelkov
- ✚ zahtevana natančnost izdelave
- ✚ ekonomičnost postopka.

Novejša tehnologija brizganja prašnatih materialov je oblikovanje izdelkov, ki imajo občutno izboljšane mehanske lastnosti.

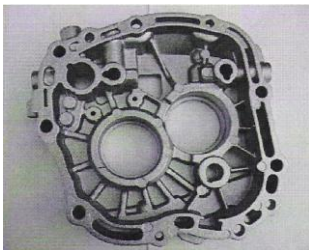


Vprašanja za preverjanje razumevanja

Pri ulitku iz jeklene litine smo izmerili premajhno napetost tečenja. Ulitek je brez livarskih napak in predpisane kemične sestave.

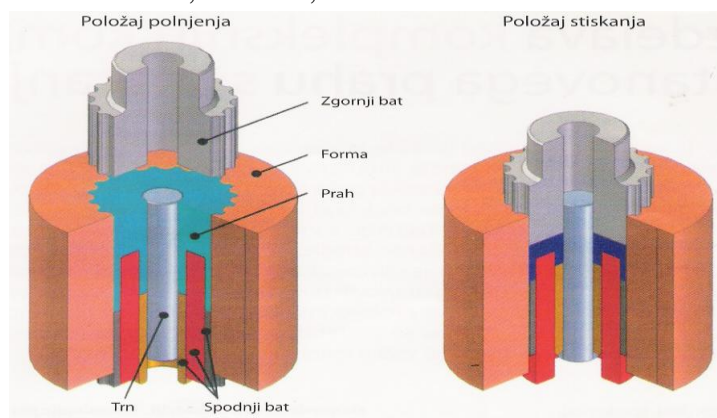
Kaj je po vaši presoji vzrok za tovrstno napako ulitka in predlagajte ukrepe za izboljšanje lastnosti.

Za izdelek na sliki predpišite material in izdelovalno tehnologijo ter pojasnite vašo odločitev.



Vir: <http://www.mlm-mb.si/alutec> (30. 03. 2011)

Za izdelek na sliki 34 zapišite zaporedje posameznih faz izdelovalnega postopka in utemeljite delitev batov. Uporabite vir: IRT, 18/2008, 94.



Slika 34: Orodni sistem za stiskanje pri tehnologiji metalurgije prahov

Navedite omejitve pri odločanju za tehnologijo metalurgije prahov (PM).

4 POSTOPKI PREOBLIKOVANJA

Uvod v poglavje

Pri postopkih preoblikovanja, kot so postopki valjanja, kovanja, iztiskavanja, vlečenja, upogibanja ipd. se vstopni material preoblikuje v drugo obliko. Pri tem se trajno deformira, spremeni dimenzije in lastnosti ob običajno nespremenjeni masi. Izgube materiala so neznatne zaradi cene preoblikovalnega orodja in stroja pa so omenjeni postopki gospodarni predvsem v velikoserijski proizvodnji.

Sposobnost materiala za preoblikovanje s plastično deformacijo imenujemo *preoblikovalnost* in je odvisna od:

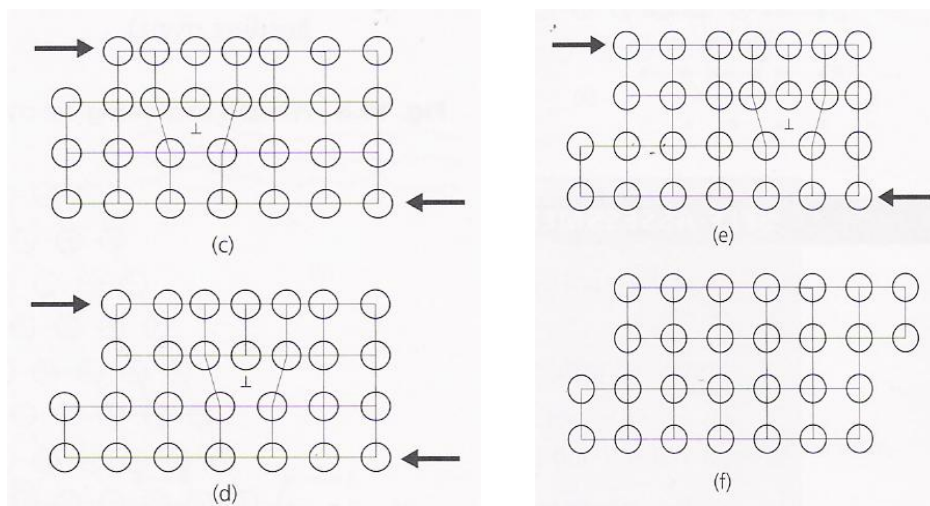
- ✚ kemične sestave materiala (zlitine za gnetenje)
- ✚ kristalne zgradbe in mikrostrukture
- ✚ temperature (toplo/hladno preoblikovanje)
- ✚ velikosti, trajanja sile preoblikovanja in hitrosti preoblikovanja.

V tem poglavju boste spoznali in razumeli:

- ✚ delitev postopkov preoblikovanja
- ✚ teoretične osnove preoblikovanja
- ✚ kriterije izbire preoblikovalnega postopka.

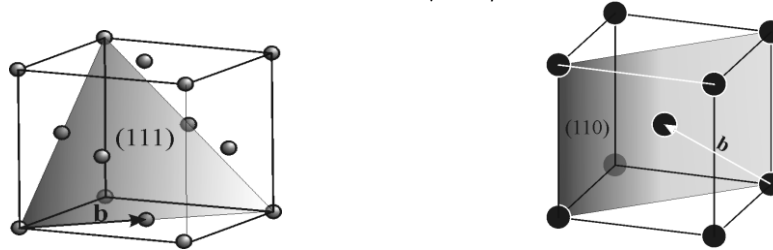
4.1 TEORETIČNE OSNOVE PREOBLIKOVANJA

Za mehanizem plastične deformacije so izredno pomembne vrinjenje atomske ravnine, ki jih imenujemo *linijske* napake ali *dislokacije*. Realna kristalna mreža kovinskih materialov ni nikoli geometrijsko idealna. Plastična deformacija materiala namreč poteka z mehanizmom drsenja dislokacij (Slika 35 c – d – e – f), v drsni smeri na prednostnih drsnih ravninah v kristalnih zrnih.



Slika 35: Drsenje robne dislokacije
Vir: Engineering Materials, 1998, 235

Na Sliki 36 so prikazane ravnine drsenja v kubični ploskovni in kubični prostorski kristalni mreži. Dobro preoblikovalnost imajo kovine, ki imajo obliko kubične ploskovne centrirane kristalne mreže, kot npr. aluminij, baker, nikelj, Fe_γ, Co_β ipd.



Slika 36: Ravnine drsenja (111) v kubični ploskovno centrirani (levo) in kubično prostorsko centrirani (110) kristalni mreži

Vir: Uvod v preoblikovanje, 1978, 9

Spremembo oblike telesa pod vplivom zunanjih sil imenujemo *deformacija*. Deformacijo sestavljata elastični in plastični del, pri čemer pa elastična deformacija takrat ko odstranimo silo, izgine. Zato pri računanju velikih deformacij, kakršne želimo doseči pri preoblikovanju, elastični del običajno zanemarimo. Pri nateznem preizkusu smo računali relativno (specifično) deformacijo e (raztezek), ki je integralna vsota neskončno majhnih prirastkov dolžine, glede na začetno merilno dolžino l_0 . Celotno specifično deformacijo (e), npr. za dolžino, dobimo:

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (7)$$

Pri plastičnem preoblikovanju običajno opredelimo velikost nastale plastične deformacije z *logaritemsko deformacijo* ε , ki je integralna vsota neskončno majhnih prirastkov dimenzij (dolžine, širine, debeline ali prereza) in *trenutne* dimenzije. Npr. za deformacijo v smeri dolžine dobimo (Kampuš, 2006, 4):

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln l/l_0 \quad (8)$$

Pod vplivom zunanje obremenitve se v obdelovancu pojavijo notranje napetosti, s katerimi se upira deformaciji. Notranje napetosti, ki niso v vseh smereh enake, lahko v določeni točki in ravnini razdelimo na dve komponenti in sicer na *normalno* ter *tangencialno*. Ker lahko drsenje kristalografskih ravnin nastopi samo pod vplivom tangencialnih ali strižnih napetosti, so za plastično deformacijo odločilne tangencialne komponente napetosti.

Med plastično deformacijo se material zaradi zasidranih dislokacij in postopnega zmanjševanja števila možnih drsni smeri deformacijsko *utrjuje*.

Preoblikovalna trdnost σ_f je tista glavna normalna napetost pri enoosnem napetostnem stanju, pri kateri se prične ali nadaljuje plastična deformacija. Najlažje jo določimo z enoosnim nateznim preizkusom.

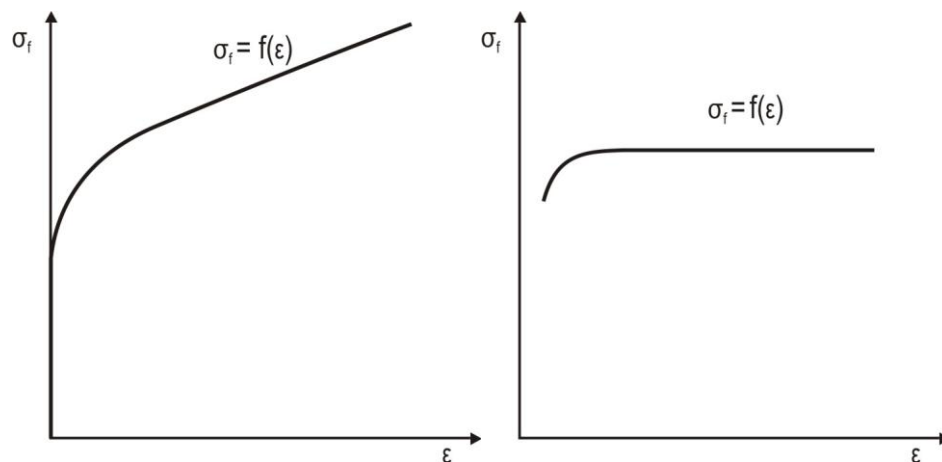
Plastična deformacija materiala nastopi pri enoosnem napetostnem stanju, ko glavna normalna napetost doseže mejo plastičnosti oziroma napetost tečenja, medtem ko za *večosno* napetostno stanje velja, da plastična deformacija materiala nastopi pri določeni *kritični* (največji) *tangencialni napetosti* (τ_{kr}). Ker je kritična vrednost tangencialne napetosti, ki povzroči premike v drsni ravninah kristalov vedno pod kotom 45° proti glavni napetosti, velja naslednji izraz:

$$\tau_{kr} = \sigma_f / 2 \text{ oziroma } \sigma_f = 2 \cdot \tau_{kr}. \quad (9)$$

Preoblikovalna trdnost σ_f je odvisna od preoblikovalnih pogojev, kot so:

- ✚ temperatura preoblikovanja
- ✚ hitrost deformacije
- ✚ stopnja deformacije
- ✚ kemična sestava in mikrostruktura materiala
- ✚ smer obremenitve.

Funkcionalno sovisnost med preoblikovalno trdnostjo σ_f in primerjalno logaritmično deformacijo ε pri danih preoblikovalnih pogojih imenujemo krivulja plastičnosti.

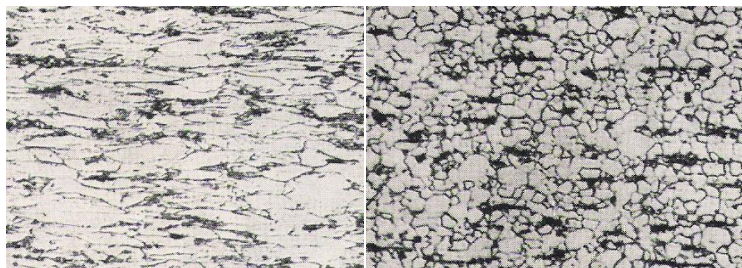


Slika 37: Potek krivulje deformacijske trdnosti (σ_f)

Vir: Tehnika preoblikovanja, 1984, 8

Na Sliki 37 je prikazan potek krivulje preoblikovalne trdnosti σ_f v primeru, če preoblikovanje poteka pod temperaturo rekristalizacije (levo), in v primeru, če preoblikovanje poteka pri temperaturi nad temperaturo rekristalizacije (desno).

V primerjavi s predelavo v toplen stanju poteka *hladno preoblikovanje* pod temperaturo rekristalizacije, kar ima za posledico *deformacijsko utrditvev*. Posledica deformacijskega utrjevanja je sprememba mehanskih lastnosti materiala. Povečajo se trdnost, trdota in napetost tečenja, zmanjšajo pa raztezek in žilavost. Govorimo o *trdem*, *poltrdem* ali *mehkem* stanju.



Slika 38: Mikrostruktura hladno vlečenega in rekristalizacijsko žarjenega jekla C10 (100 : 1)

Vir: Schumann, 1958, 261

Na levi Sliki 38 je mikrostruktura hladno vlečenega jekla C10 (65 % deformacija). Za povrnitev deformacijske sposobnost v hladnem, moramo kovino ali zlitino v določeni fazi hladne deformacije rekristalizacijsko žariti na poltrdo ali mehko stanje (Slika 38 desno).

Temperatura rekristalizacijskega žarjenja ($T_{R\dot{z}}$) je odvisna od vrste kovine ali zlitine oziroma od temperature tališča (T_t) in od stopnje predhodne hladne plastične deformacije ter znaša okvirno:

$$T_{R\dot{z}} \approx 0,42 - 0,46 \cdot T_t \text{ [K]} \quad (10)$$

V tabeli 1 so podane mehanske lastnosti aluminijeve zlitine AlMg4 za tri različna deformacijska stanja, in sicer za mehko, poltrdo in trdo.

Tabela 1: Trdnostne lastnosti aluminijeve zlitine AlMg4 v različnih deformacijskih stanjih

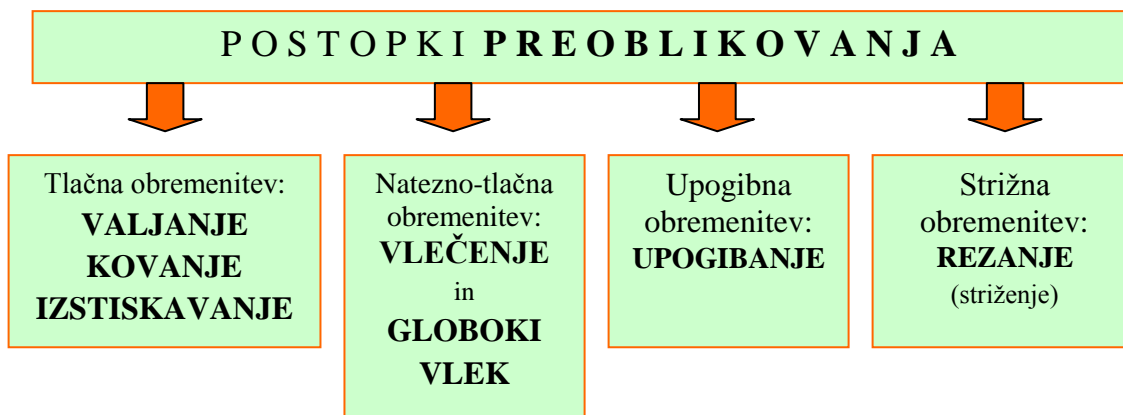
Material	def. stanje	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A_{10} (%)	HB
AlMg4	Mehko	100	230	14	52
	Poltrdo	160	270	7	72
	Trdo	220	310	3	85

Vir: Krautov strojniški priročnik, 2007, 395

4.2 DELITEV POSTOPKOV PREOBLIKOVANJA

Preoblikovalne postopke delimo glede na geometrijsko obliko polizdelka v dve skupini in sicer: preoblikovanje z gnetenjem oziroma masovno preoblikovanje (*valjanje, kovanje, vlečenje in izstiskavanje masivnih surovcev*) ter preoblikovanje pločevine (predvsem globoko vlečenje in upogibanje).

Glede na vrsto obremenitve, ki povzroča plastično deformacijo materiala razlikujemo *tlačno, tlačno – natezno, natezno, upogibno in strižno* preoblikovanje



Slika 39: Delitev postopkov preoblikovanja glede na obremenitev materiala

Vir: Lasten

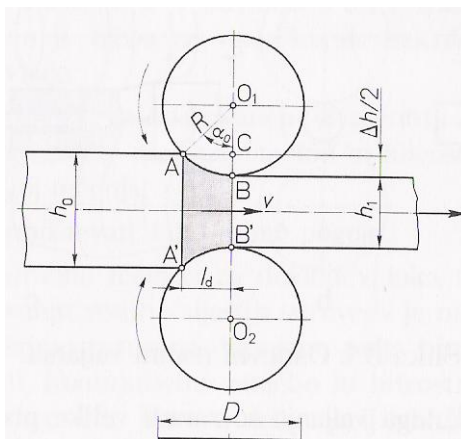
Pri postopkih *tlačnega* preoblikovanja se material oziroma surovec nahaja med dvema deloma orodja, ki se gibljeta drug proti drugemu in v preoblikovalni coni povzročata eno ali večosno tlačno napetostno stanje ter trajno spremembo oblike vstopnega materiala.

V skupino *tlačno – nateznega* preoblikovanja uvrščamo *vlečenje* (žice, profilov, cevi) in *globoko vlečenje*. V obeh primerih nastopi plastična deformacija zaradi kombinacije tlačne in natezne obremenitve.

Upogibanje je preoblikovanje pod vplivom *upogibne* obremenitve oziroma kombinacije *natezne in tlačne napetosti*, ki povzročata moment (prosto upogibanje, upogibanje v utopih, uklonsko upogibanje).

Pri *strižnem* preoblikovanju povzroča plastično deformacijo strižna obremenitev (*rezanje, zvijanje*). Pod vplivom *eno ali več osne natezne* obremenitve se material plastično deformira pri postopkih *daljšanja, širjenja in izbočenja*.

Valjanje je kontinuirani proces stiskanja (gnetenja) materiala med dvema nasprotno se vrtečima valjema (vzdolžno valjanje). Material se v *preoblikovalnem* področju (A–B) v smeri glavne obremenitve stiska, pri tem se višina valjanca zmanjša od h_0 na h_1 , hkrati pa se poveča njegova dolžina, ob določenih pogojih tudi širina. Stopnja deformacije pri posameznih vtikih je omejena. Toplemu valjanju debele pločevine sledi hladno valjanje pločevine ali trakov manjših debelin.



Slika 40: Razmere pri vzdolžnem valjanju
Vir: Tehnika preoblikovanja, 1974, 15

Sprememba višine valjanca je odvisna od prijemanja valjev, ki ga določata koeficient zunanega trenja in premer valjev (D). Na koeficient *trenja* vplivajo:

- ✚ temperatura valjanca
- ✚ material valjanca in valjev
- ✚ hrapavost valjev oziroma površinske lastnosti valjev
- ✚ obodna hitrosti valjev.

Zaradi zmanjšanja prereza (A_1) valjanca je izstopna hitrost valjanca večja kot pri vstopu:

$$A_1 \langle A_0 \Rightarrow v_1 \rangle v_0.$$

Vprijemni kot α_0 je odvisen od premera valjev (D) in absolutnega stanjšanja valjanca (Δh) pri enem vtiku.

Glavne skupine valjanih *polizdelkov* so:

- ✚ toplo in hladno valjane pločevine ter trakovi
- ✚ rebrasta pločevina
- ✚ palice, cevi, profili ipd.

Valjajo se lahko tudi izdelki dokončnih oblik, npr. navoji, svedri, zobniki idr. Pri valjanju pločevine uporabljamo gladke, za valjanje profilov pa profilne (kalibrirane) valje.



Na spletnem naslovu si oglejte proizvode preoblikovanja

http://www.impol.si/uploads/files/brosure_slo/valjani_izdelki.pdf (25. 02. 2011)

<http://www.mlm-mb.si/proizvodi> (25. 02. 2011)

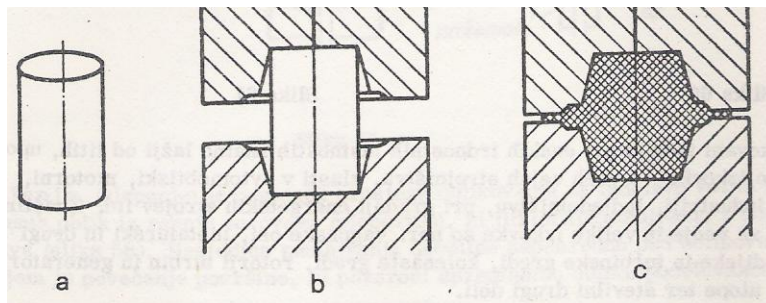
Na tem mestu naj spomnim, da si bomo računске primere in nekatere preoblikovalne stroje ter izdelavo polizdelkov ogledali na vajah.

Kovanje je postopek preoblikovanja, ki je premeren predvsem za obremenjene sestavne dele zapletenih oblik, ki morajo imeti dobre mehanske lastnosti.

Glede na obliko orodij razlikujemo med *prostim* in *utopnim* kovanjem. Ročno ali strojno prosto kovanje se uporablja pri zelo velikih izkovkih in pri majhnih serijah, medtem ko je utopno kovanje ekonomsko upravičeno pri manjših izdelkih in velikih serijah, kot so npr. sestavni deli krmilnega mehanizma in ojnice za avtomobilsko industrijo, motorne gredi, zobniki, ročna orodja ipd. (<http://www.unior.si/program-odkovki>, 25. 02. 2011).

Pri kovanju v *utopih* je preoblikovalno orodje običajno sestavljeno iz dveh delov, in sicer zgornjega ter spodnjega utopa. Obliko v utopu imenujemo gravura. Dimenzije gravure morajo biti, zaradi krčenja izkovka po kovanju, ustrezno večje.

Surovec se preoblikuje med dvema polovicama utopa, ki material popolnoma objameta. Material surovca zapolni vdolbino v utopu in dobi njeno obliko. Utopi so lahko eno, dvo ali večdelni, odprti, polzaprti ali zaprti.



Slika 41: Shema polnjenja gravure pri utopu z brado
a – surovec, b – surovec v utopu in c – izkovek z brado oziroma srhom

Vir: Uvod v preoblikovanje, 1978, 54

Del odvečnega materiala, ki steče med zgornjim in spodnjim utopom, imenujemo *brada* ali *srh*. Kovanje v utopih omogoča večjo oblikovno in geometrijsko natančnost, dodatki za nadaljno obdelavo so manjši. Večja je tudi produktivnost. Postopek je primeren in ekonomičen že pri manj številnih serijah izdelkov ter omogoča dober izkoristek materiala.

Zaradi deformacijskega utrjevanja, ki pri hladnem preoblikovanju preprečuje doseči velike deformacije, poteka kovanje jekla običajno v toplem stanju, to je nad temperaturo rekristalizacije in sicer v avstenitnem področju, pri temperaturi okoli 800 do 1200 °C.

Temperature kovanja neželeznih zlitin za gnetenje so nižje, npr. za med okoli 800 °C, za aluminijeve zlitine ~ 450 °C in za magnezijeve zlitine 250 do 400 °C (Strojnotehnoški priročnik, 1998, 200)

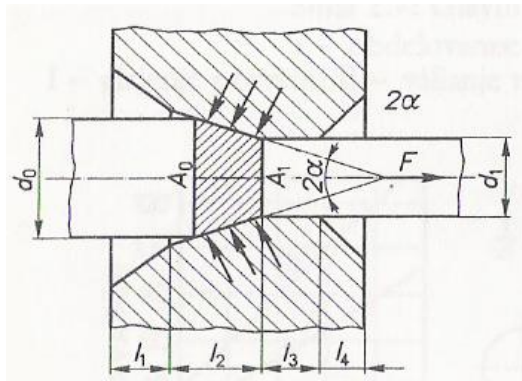
Največji prerez odkovka leži v delilni ravnini. Material orodja oziroma utopa je izpostavljen udarnim in toplotnim obremenitvam ob kratkotrajnem stiku z vročim obdelovancem. Zato je pomembna žilavost ob zadovoljivi trdnosti, obrabna odpornost in popustna obstojnost. Obstojnost gravure je mogoče povečati s površinskim utrjevanjem, npr. nitridiranje, ali trde prevleke ipd.

Surovci za utopno kovanje so lahko valjane palice, profili ali iz palic in iz ploščatega materiala izrezani surovci, pri bolj zapletenih oblikah pa tudi predkovani surovci. Glede na obliko in velikost odkovka je predpisan vrstni red preoblikovalnih operacij.

Za ogrevanje surovcev uporabljamo plinske ali oljne enokomorne peči, za velike serije podobnih oblik pa je najprimernejše električno induktivno ogrevanje.

Vlečenje je postopek, pri katerem nekatere valjane polizdelke, kot so npr. žica, palice, cevi in profile preoblikujemo še naprej, tako da jih v hladnem stanju vlečemo skozi vlečno orodje z ustrežno obliko profila. S tem lahko spremenimo dimenzije in obliko prereza vlečencev ter dosežemo bolj gladke površine, večjo natančnost oblike in ožje tolerance dimenzij.

Postopke vlečenja ločimo po tem, ali vlečemo izhodni profil skozi mirujočo vlečno matrico, ki jo imenujemo votlico (drsni vlek), ali skozi kaliber (kotalni vlek), ki ga tvorita dva ali več vrtljivih valjev.



Slika 42: Parametri pri procesu vlečenja
Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 194

Oznake na Sliki 42 pomenijo:

l_1 – dolžina vstopnega stožca, l_4 – dolžina izstopnega stožca, l_2 – dolžina vlečenega (delovnega) stožca, l_3 – dolžina valjastega kalibrirnega vodila, d_0 – vstopni premer, d_1 – izstopni premer in α – vlečni kot

Za razliko od preoblikovanja z izstiskovanjem je pri vlečenju prijemališče preoblikovalne sile (vlečne sile F) vselej na *izstopni strani orodja*, to je na stanjšanem delu vlečenca. Zato je napetostno stanje v preoblikovalni coni sestavljeno iz nateznih in posredno delujočih tlačnih napetosti, ki povzročijo plastično deformacijo. Deformacija je omejena s trdnostjo materiala v izstopajočem delu vlečenca. V sorazmerju z zmanjšanjem prereza v votlici se vlečenec podaljša. Vlečna sila F je funkcija stopnje deformacije in preoblikovalne trdnosti materiala. Pri tem je potrebno upoštevati, da se s hladno deformacijo povečuje natezna trdnost materiala.

Vlečno orodje oziroma votlice so izdelane iz orodnega jekla, karbidnih trdin ali diamanta, npr. za zelo tanke žice, premera pod 0,5 milimetra.

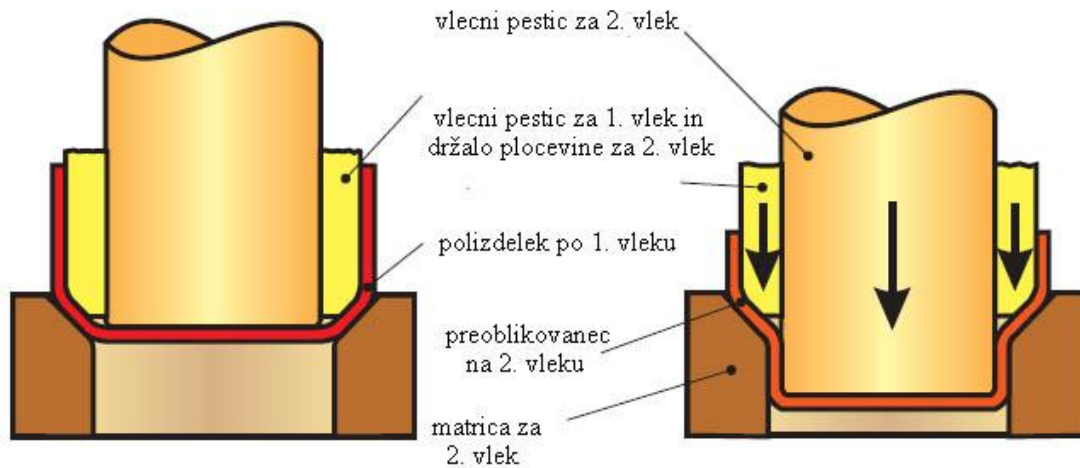
Globoko vlečenje je postopek hladnega natezno-tlačnega preoblikovanja ravnih, tankih ploščatih surovcev, ki jih imenujemo *rondele ali platine*. Običajno se preoblikujejo z več zaporednimi operacijami v poljubno oblikovana, na eni strani odprta votla telesa, npr. deli karoserij, posoda, lonci, konzervne doze, pokrovi ipd.

Proces globokega vlečenja je odvisen od dejavnikov, kot so npr:

- ✚ vrsta in mehanske lastnosti materiala vlečenca
- ✚ geometrija orodja, trenje orodje/obdelovanec.

V tehnološki proizvodnji se problematika preoblikovalnih postopkov uspešno rešuje s predhodno numerično simulacijo računalniških modelov v sodelovanju s konstrukerji in tehnologi.

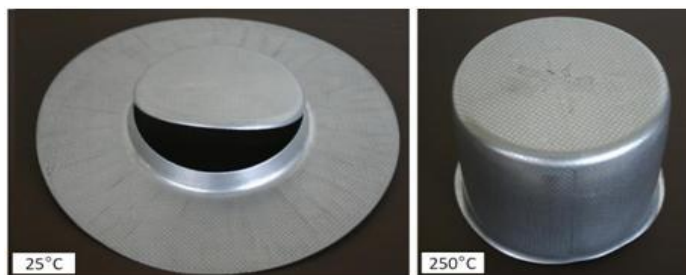
Pločevine ali trakovi za globoko vlečenje morajo imeti veliko razteznost ob zadostni trdnosti, enakomerno in drobnozrnato mikrostrukturo, kakovostno površino in enakomerno debelino, npr. nekatera nelegirana in legirana jekla, baker, med, aluminij idr.



Slika 43: Shematski prikaz globokega vleka

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (15. 02. 2011)

Orodje sestavljajo: *vlecni pestič, matrica in držalo pločevine*. Pestič je zgornji, notranji del orodja in je oblikovan v skladu z obliko medfaznega ali končnega izdelka. Zračnost med pestičem in matrico je večja ali manjša od debeline pločevine. V prvem primeru govorimo o normalnem vleku, v drugem pa o stanjševalnem vleku.



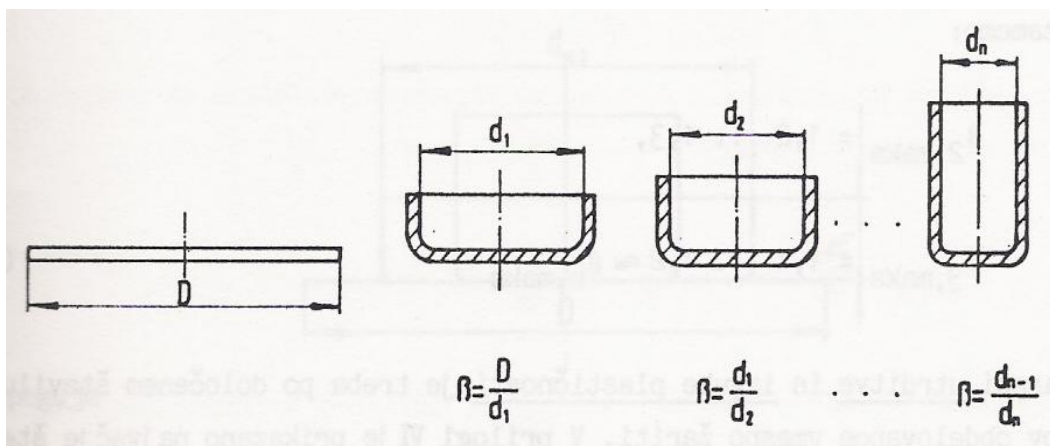
Slika 44: Globoko vlečen izdelek pri temperaturi okolice in pri temperaturi 250 °C

Vir: <http://www.me.uwaterloo.ca/~worswick/Research/metal.html> (10. 03. 2011)

Vlečno razmerje (β) je pri valjastih vlečencih razmerje med premerom rondele (D) in premerom pestiča (d_p). Z enim vlekom lahko izdelamo izdelek, če je to razmerje manjše od dopustnega vlečnega razmerja, ki je odvisno od vrste in od debeline materiala. Pri večjih razmerjih je potrebno postopek izvesti v dveh ali več fazah. Vsako naslednje vlečno razmerje je zaradi utrditve materiala manjše od predhodnega. Skupno vlečno razmerje (β_{celotni}) je produkt posameznih vlečnih razmerij:

$$\beta_{\text{celotni}} = D / d_1 \times d_1 / d_2 \times d_2 / d_3 \dots \beta_1 \times \beta_2 \dots \beta_n \quad (11)$$

Z vlečnim razmerjem ocenjujemo stopnjo preoblikovalnosti. Okvirna vrednost vlečnega razmerja za prvi vlek znaša med 2,1 in 2,2, pod posebnimi pogoji ter pri debelejših materialih do 3.



Slika 45: Stopnje vleka in vlečno razmerje

Vir: Mehanska tehnologija, 1990, 51

Pri globokem vleku je deformacija intenzivna zaradi prehoda materiala iz večjega premera ronđele v manjši premer stene izdelka. Prihaja do utrjevanja materiala. Za izdelavo globokih in zapletenih oblik je zato potrebno večje število vlekov.

Če se material pri posameznem vleku preveč utrdi, je potrebno vmesno žarjenje. Pločevinasto držalo preprečuje nastanek gub (material teče med matrico in držalom), hkrati povečuje natezne napetosti.

Vlečna sila se med preoblikovanjem spreminja in je odvisna od vrste materiala, vlečnega razmerja, debeline pločevine, premera izdelka, od pritiska držala, hitrosti vlečenja, geometrije vlečnih robov, zraka med pestičem in vlečnim obročem ter mazanja. Zaokrožitve vlečnih robov zmanjšujejo potrebno vlečno silo, povečujejo pa nagnjenost h gubanju.

Mazanje pri vlečenju omogoča lažje drsenje materiala med držalom in orodjem, zmanjšuje obrabo orodja ter vpliva na kvaliteto površine izdelka in olajša snemanje izdelka iz vlečnega orodja.

Vhodni material naj bo enakomerne debeline in drobno zrnate mikrostrukture. Pri zahtevnejših in globljih izdelkih je potrebno še pločevinasto držalo.

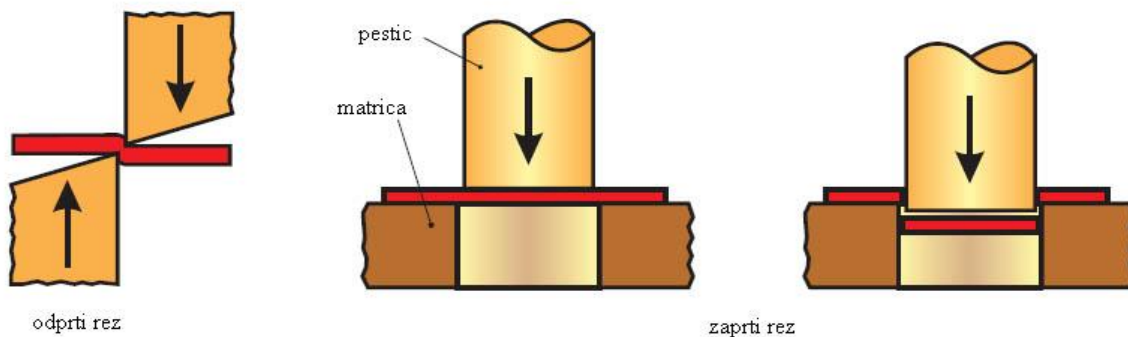
Za izdelavo karoserijskih delov v avtomobilski industriji se pogosto uporablja kombinirano orodje, ki omogoča več preoblikovalnih operacij, in sicer vlečenje skupaj z izrezovanjem, luknjanjem ali obrezovanjem (<http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html>, 10. 03. 2011).

S plastično deformacijo oziroma predvsem z *lokalno* plastično deformacijo materiala je povezan postopek *rezanja* ali *striženja*. Pri preoblikovanju namreč pogosto uporabljamo določene odrezane oblike profilov, palic, pločevine ali pa npr. ronđele za globoki vlek. Namen rezanja je torej ločiti en del materiala od drugega, da ga lahko pripravimo in uporabimo za nadaljnjo preoblikovanje, npr. za kovanje, globoki vlek ipd. ali pa dobimo določeno končno obliko, ki je zajeta v izhodni obliki surovca. Glede na uporabljeno orodje, ki povzroči lokalno prekinitvev materiala, razlikujemo:

- ✚ odprti rez (rezanje s škarjami)
- ✚ zaprti rez (rezanje z rezalnimi orodji).

Pri *odprtem* rezu je material prerezan med dvema reziloma, ki se premikata premočrtno ali krivočrtno. Pri prodiranju rezila v material se le-ta najprej deformira plastično, ko pa je dosežena

njegova strižna trdnost, se loči en del od drugega. Strižna sila (F) je odvisna od strižne trdnosti (τ) in od prereza (A) (Goligranc, 1978).

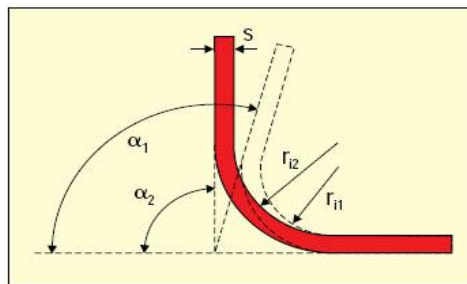


Slika 46: Odprti in zaprti rez

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (10. 03. 2011)

Pri *zaprtem* rezu je orodje sestavljeno iz rezalnega pestiča in rezalne plošče – matrice. Pri rezanju je pomembna razporeditev izrezov, ker je povezano z izkoristkom materiala. Le-ta pa pomeni razmerje med koristnim in vloženim materialom ter vpliva na ceno izdelka.

Upogibanje je postopek preoblikovanja tanke pločevine, trakov, profilov ali cevi, pri katerem nastopijo v preoblikovalnem področju materiala predvsem upogibne napetosti. Ob neustreznem razmerju med izbranim upogibnim radijem (r) glede na debelino pločevine (s) ali profila se obdelovanec po končanem upogibanju lahko delno zravna oziroma deformira (Slika 47).



Slika 47: Vpliv upogibnega radija (r) in debeline pločevine (s) na kot α

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (10. 03. 2011)

V velikoserijski tehnološki proizvodnji se uporabljajo stroji oziroma t.i. štanice, ki so primerne npr. za kombinacijo rezanja, upogibanja in globoki vlek.

Povzetek

Pri postopkih preoblikovanja se material v preoblikovalni coni preoblikuje – plastično deformira v drugo obliko in dimenzijo, običajno ob nespremenjeni masi.

Glede na temperaturo preoblikovanja razlikujemo med preoblikovanjem v toplem stanju, to je nad temperaturo rekristalizacije, in preoblikovanje pri temperaturi okolice. Pri preoblikovanju pod temperaturo rekristalizacije se material deformacijsko utrjuje. Povečajo se trdnost, trdota in napetost tečenja, zmanjšata pa se raztezek in žilavost.

Med postopke preoblikovanja uvrščamo: valjanje, kovanje, vlečenje, globoki vlek, izstiskavanje, upogibanje in striženje ali rezanje.

Na sposobnost preoblikovanja vplivajo: kemična sestava materiala, kristalna zgradba, mikrostruktura, temperatura (toplo/hladno preoblikovanje), velikost sile preoblikovanja in hitrost preoblikovanja.

Preoblikovalni stroji se razlikujejo glede na konstrukcijsko izvedbo, način delovanja, vrsto pogona ipd. V tehnološki proizvodnji so najpomembnejši stroji za tlačno in natezno-tlačno preoblikovanje (stiskanje).



Na spletni strani <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> si oglejte slike, film, kratek opis in delovanje mehanskih ter hidravličnih stiskalnic.



Vprašanja za preverjanje razumevanja

Žico s premerom $d_0 = 15$ mm deformiramo z zaporednimi vleki na premere: $d_1=12$, $d_2 =10$, $d_3 =8$ in $d_4 =6$ mm. Izračunajte logaritemsko deformacijo premera žice za posamezne vleke in za celotno deformacijo žice.

- Uporabite spletno stran: (<http://www.unior.com/kategorije/klju-i>) in za izdelke na spodnji sliki predpišite zaporedje tehnoloških postopkov izdelave.
- Izberite orodje in preoblikovalni stroj.
- Utemeljite in pojasnite vašo izbiro materiala, izdelovalnega postopka, tehnološke pogoje izdelave ter zahtevane mehanske lastnosti izdelkov na sliki.



Vir: (<http://www.unior.com/kategorije/klju-i>)

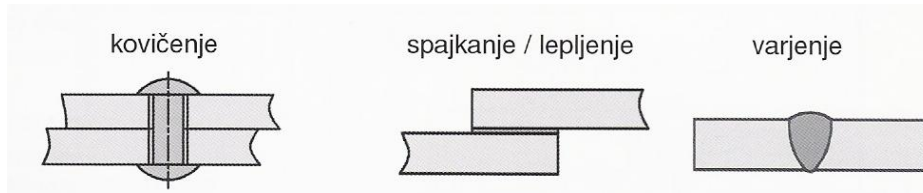
Oglejte si Sliko 44 na strani 44 in spletno stran

<http://www.me.uwaterloo.ca/~worswick/Research/metal.html>, ter napišite oceno obeh izdelkov.

5 POSTOPKI SPAJANJA

Uvod v poglavje

Med postopke spajanja uvrščamo *varjenje, navarjanje, spajkanje, kovičenje, lepljenje in spajanje elementov s preoblikovanjem*. Najbolj razširjeni so postopki varjenja, saj so prisotni v vseh industrijskih panogah, od fine elektronike, strojništva, industrije vozil, v živilski, papirni in lesni industriji, gradbeništvo do ladjedelništva. Torej, povsod tam, kjer se spajajo posamezni sestavni deli konstrukcij, prav tako pa tudi pri rednih vzdrževalnih delih in različnih popravilih izrabljenih delov.



Slika 48: Postopek kovičenja, spajkanja/lepljenja in varjenja
Vir: Varilna tehnika, 2008, 21

Pri načrtovanju tehnologije je pomembno, da že konstrukterji pri snovanju in konstruiranju sestavnih delov določijo optimalno izvedbo različnih spojev glede na obliko, predvideno obremenitev konstrukcijskih delov, ekonomičnost in varnost, posebno pri dinamično obremenjenih delih.

5.1 VARJENJE

Varjenje je proces izdelave nerazdružljivega zvarnega spoja z vzpostavitvijo medatomskih vezi med posameznimi konstrukcijskimi deli z uporabo toplotne ali mehanske energije in z uporabo ali brez uporabe dodatnega materiala.

Dodajni material za varjenje, kot je npr. v kolobar navita varilna žica, varilne elektrode ipd., izbiramo glede na:

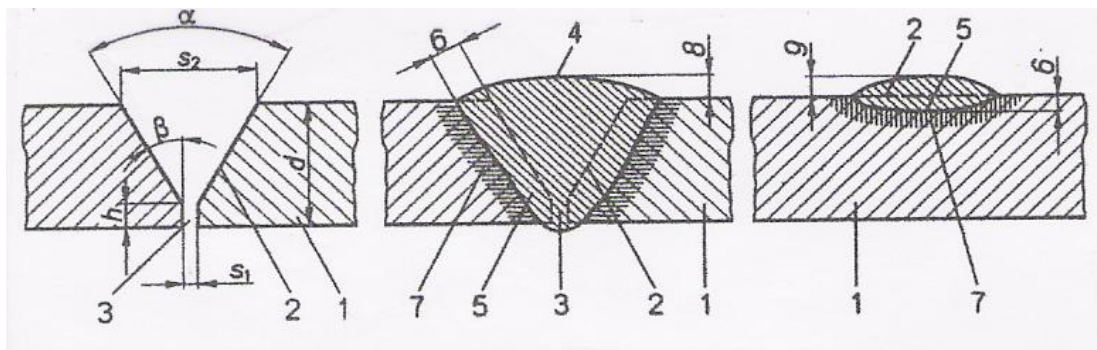
- ✚ izbrani varilni postopek in
- ✚ glede na kemično sestavo osnovnega materiala.



Slika 49: Različne oblike in vrste dodatnega materiala
Vir: Dodajni materiali za varjenje, Elektrode Jesenice (katalog)

Nekateri osnovni pojmi in oznake pri varjenju ter navarjanju so prikazani na Sliki 50 in pomenijo:

1 – osnovni material ali varjenec, 2 – stranica žleba oziroma ploskev varjenja, 3 – špranja žleba oziroma koren zvara, 4 – teme zvara ali navara, 5 – uvar, 6 – globina uvara, 7 – toplotno vplivano področje (TVP), 8 – višina temena, 9 – višina navara



Slika 50: Osnovni pojmi in oznake pri varjenju ter navarjanju

Vir: Strojnotehnoški priročnik, 1998, 496



Z izrazom *osnovni material* (1) označujemo material, ki ga varimo, z izrazom *dodajni material* pa material, ki ga med varjenjem dodajamo v zvarni žleb.

Pri oblikovanju žleba so pomembni elementi žleba: s_1 – širina špranje žleba, h – višina špranje, α – kot žleba, ki je sestavljen iz kotov posnetja stranic žleba β in skupaj z debelino osnovnega materiala d podaja širino temena s_2

Zvar vključuje: stranico žleba (2), špranjo žleba oziroma koren zvara (3), s_1 – širino špranje, teme zvara ali navara (4), uvar (5), globino uvara (6), toplotno vplivano cono (7) in višino temenske izbokline vara (8) ali navara (9).

Uvar (6) je globina, do katere je bil raztaljen osnovni material, ki se med procesom varjenja raztaplja in prehaja v sestavo vara.

Toplotno vplivano področje ali TVP (7) je tisti del osnovnega materiala ob varu, ki je pod vplivom segrevanja in ohlajanja pri nastajanju zvara doživel določene mikrostrukturne spremembe, vendar v trdnem, pri temperaturi pod solidus linijo.

Zvarni spoj je celota, ki je sestavljena iz dveh ali več sestavnih delov, spojenih z varjenjem in vključuje *var* ter njegovo okolico oziroma *toplotno vplivano cono*.

Var je strjen material, ki se je pri talilnem varjenju raztalil. Sestavljen je iz osnovnega materiala oziroma iz materiala varjenca. Če je talilno varjenje potekalo z dodajnim materialom, potem se var sestoji iz dodajnega in osnovnega materiala. Tisti del vara, ki vsebuje samo dodajni material je čisti *var*.

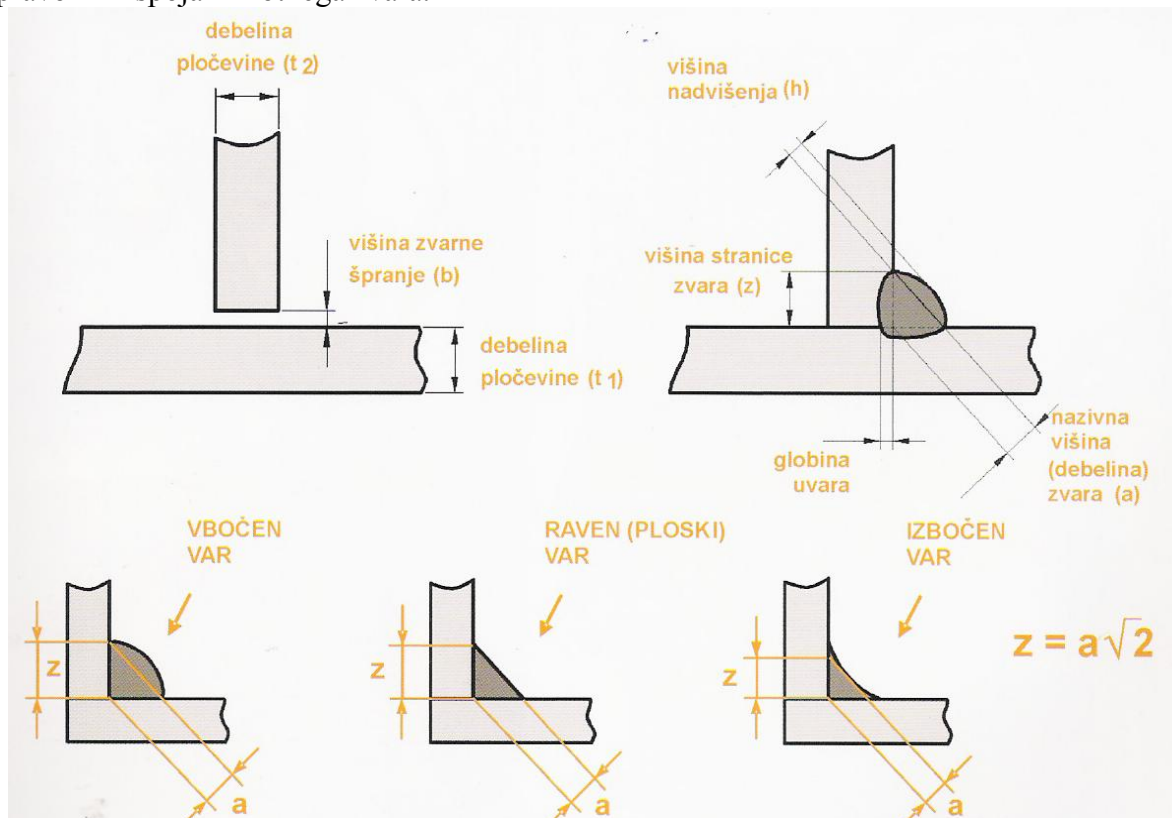
Varek je strjen nanos taline, ki je nastal v eni sami potezi. Pri varjenju se uporabljajo tudi pomožni materiali npr. plini ali talila, ki pa seveda niso sestavni deli zvara.

Kovina ali zlitina je dobro variva, kadar je mogoče po nekem varilnem postopku zvariti homogeni zvar, ki s svojimi lastnostmi (mehanskimi, fizikalnimi in kemičnimi) zagotavlja kontinuiteto materiala v konstrukciji in zadošča vsem zunanjim obtežbam oziroma vplivom ter je varjenje ekonomsko opravičeno.



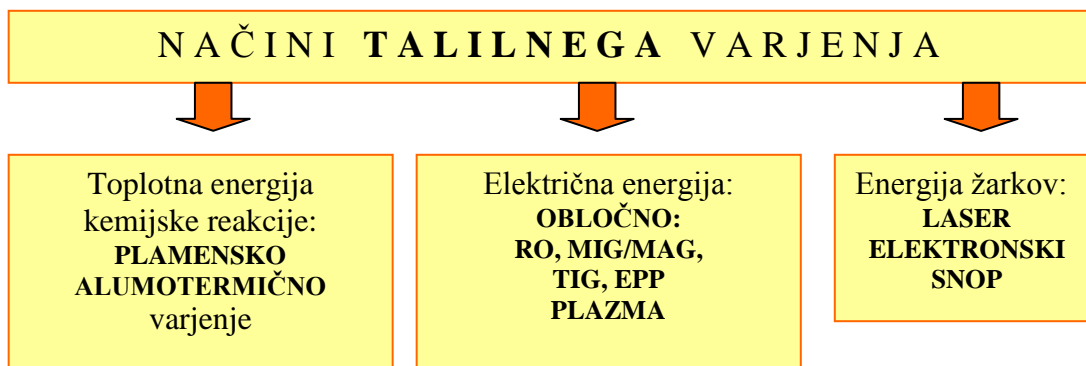
Slika 51: Vplivi na varivost materiala
Vir: Lasten

V številnih standardih s področja varjenja so predpisane oblike in dimenzije zvarnih spojev, oblike zvarnih žlebov, simboli za označevanje zvarov, dodatni znaki za obdelavo zvarov, delovni položaji za izvedbo zvarnega spoja, dodatni materiali za varjenje, varilna oprema, nadzor varilnih del, priporočila za neporušne preiskave zvarnih spojev ipd. Tako npr. SIST ISO 6947 definira, v kateri legi mora biti zvarni spoj izveden. Na Sliki 52 je prikazan primer osnovnih dimenzij za pripravo »T« spoja in kotnega zvara.



Slika 52: Osnovne dimenzije za pripravo »T« spoja in dimenzije kotnega zvara
Vir: Varilna tehnika, 2009, 21

Glede na uporabljeno vrsto energije pri postopku varjenja, razlikujemo *talilno* varjenje (če uporabimo toplotno energijo) in varjenje z *mehansko energijo*.

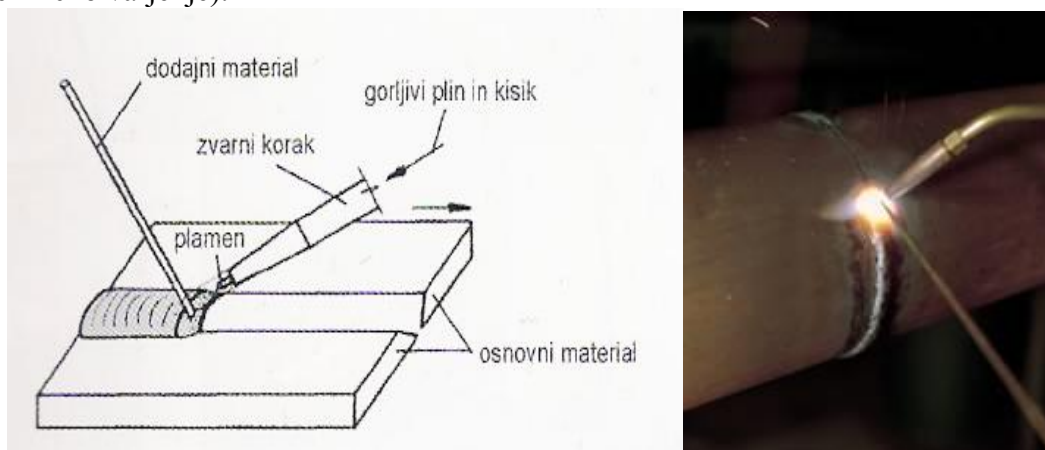


Slika 53: Razdelitev postopkov talilnega varjenja

Vir: Lasten

5.1.1 Plamensko varjenje

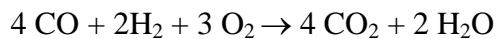
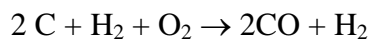
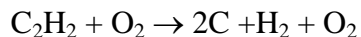
Glavni vir energije je toplota, ki se sprošča pri zgorevanju gorljivega plina, npr. acetilena s kisikom, ali toplota, ki je posledica reakcije med kovinskimi oksidi in čisto kovino (alumotermično varjenje).



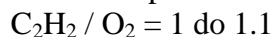
Slika 54: Plamensko varjenje

Vir: Varilna tehnika, 2009, 21

Pri *plamenskem* varjenju plin aceten (C_2H_2) izgoreva s kisikom in sicer:



Normalno prostorninsko razmerje med acetilenom in kisikom je:



(12)

Če je razmerje med acetilenom in kisikom večje od 1.1, je v varilnem območju plamena prebitek ogljika, ki lahko ogljiči kovinsko talino. Pri prebitku kisika lahko nastopi odgorevanje legirnih elementov iz taline. Za zaščito taline mora biti plamen kemično nevtralen.

- ✚ Plamensko varjenje zahteva razmeroma majhne investicije in je primerno za vse kovinske materiale, posebno za dobro *toplotno prevodne* materiale, in je povsod izvedljivo, tudi če so varilna mesta težko dostopna.
- ✚ Plamensko varimo predvsem pri montažnih in vzdrževalnih delih, pri najrazličnejših popravilih, gradnji cevovodov različnih premerov, inštalacijskih delih, popravilu odlitkov in strojnih delov iz sive litine ter navarjanju jekla, litine in neželeznih kovin.

Oprema za plamensko varjenje se lahko uporablja tudi za plamensko spajkanje in jo sestavljajo:

- ✚ varilni gorilnik
- ✚ jeklenki za kisik in aceten z reducirnimi ventili
- ✚ dodajni material.

(SIST EN ISO 2503, SIST EN ISO 13918 : 2008)

Zaradi odgorevanja elementov med varjenjem je vsota vsebovanih legirnih elementov v dodajni žici vedno večja kot v osnovnem materialu.

Tehnologija plamenskega varjenja vključuje:

- ✚ ustrezno pripravo varjencev
- ✚ izbiro gorilnika in nagib gorilnika med varjenjem
- ✚ izbiro dodajne žice za varjenje
(kemična sestava in premer žice $d: d = s/2 + 1$, s je debelina varjenca)
- ✚ izbiro ustreznih parametrov varjenja kot so: hitrost varjenja, poraba acetilena, kisika in poraba dodajnega materiala
- ✚ način varjenja, npr. v levo, varjenje v desno ali dvo temensko varjenje navpično ...



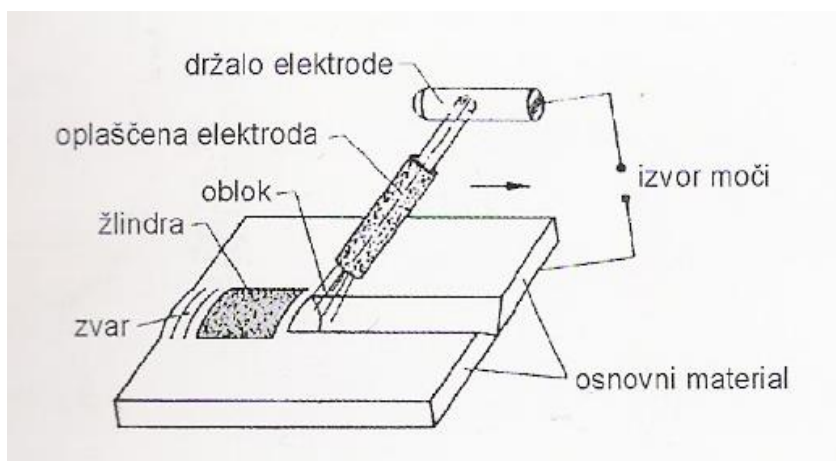
Na spletnem naslovu <http://www.avp.si/avtomati-za-varjenje> in http://www.sc-nm.com/e-gradivo/SIV/varjenje_s_kemino_energijo.html si oglejte avtomate ter opremo za varjenje.

5.1.2 Obločno varjenje

Obločno varjenje je najbolj razširjeni postopek talilnega varjenja. Varilni tok oziroma varilna napetost se vzpostavi z vžigom obloka med varjencem in dodatnim materialom. Zaradi prehoda električnega toka skozi oblok se sprošča toplota, ki omogoča ogrevanje in nataljevanje varjenca ter dodatnega materiala.

Uporabimo lahko enosmerni ali izmenični električni tok. Med varjenjem dodatni material s taljenjem prehaja skozi oblok v var v obliki grobih ali drobnih kapljic, kar je odvisno od kemične sestave dodatnega materiala in jakosti električnega toka.

Za *ročno obločno varjenje* (RO) običajno uporabljamo dodatni material v obliki oplaščene elektrode (E). Med varjenjem se plašč elektrode tali od znotraj navzven, zato nastaja na koncu elektrode krater, ki usmerja prehod kapljic elektrode proti talini vara. Plašč sestavljajo snovi iz katerih med varjenjem nastajajo plini, ki ščitijo prehod kapljic in nastalo talino pred škodljivim vplivom kisika ter dušika iz zraka. Prav tako se izboljša ionizacija in stabilizacija obloka.



Slika 55: Ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo
Vir: Varilna tehnika, 2009, 21

Elektrodni plašč vpliva na hitrost odtaljevanja elektrode in na obliko kovinskih kapljic v obloku. Poleg tega lahko vsebuje tudi dodatke za *dezoksidacijo taline*. Raztaljeni del plašča tvori žindra, ki prekrije talino in pri strjevanju preprečuje prehitro ohlajanje zvara.

Elektrode razdelimo glede na faktor oplaščenja f : $f = D/d \times 100$ [%] (13)

kjer pomenijo: D – premer elektrode in d – premer žice [mm]

Pri izbiri elektrod ima poleg kemične sestave plašča in kemične sestave žice pomembno vlogo tudi premer žice. Standardni premeri so od 2 do 8mm. Glede na kemično sestavo plašča delimo elektrode na kisle (A), bazične (B), oksidativne (O), rutilne (R).

Izkoristek elektrode je razmerje med maso žice in maso vara:

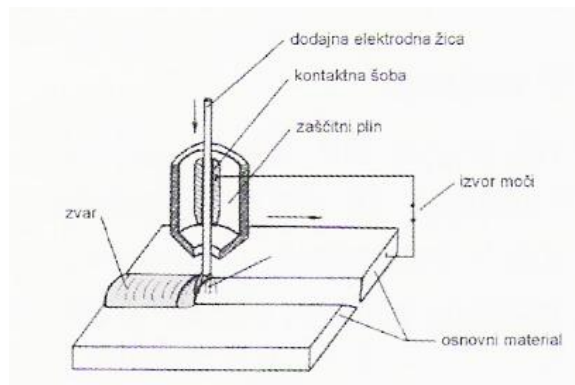
$$\eta = M_{\text{žice}} / M_{\text{zvara}} \times 100$$
 [%] (14)

Postopek se uporablja pri vzdrževalnih delih in varjenju jeklenih ter drugih konstrukcij.

Postopka *MIG* (*Metal-Inert-Gas*) in *MAG* (*Metal-Activ-Gas*) sta najbolj razširjena in uporabljena postopka obločnega varjenja. Njuna prednost je enostavna avtomatizacija, visoka produktivnost, konstantna kakovost zvarov in možnost zvarjanja različnih vrst materialov, npr. jekla, neželezne kovine in zlitine različnih debelin.

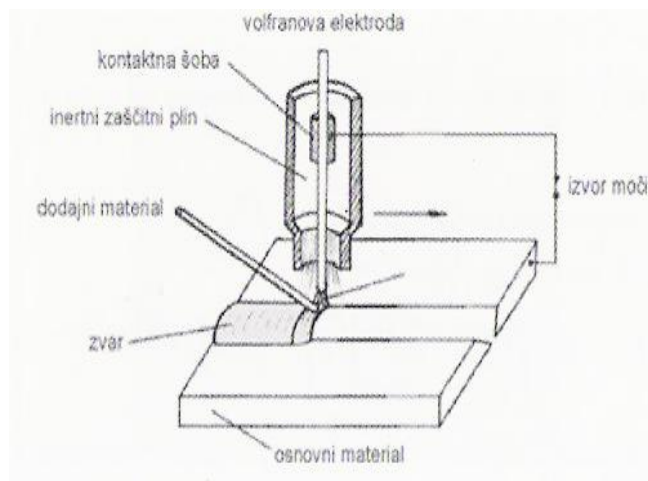
Pri *MIG* postopku obločnega varjenja varimo v zaščitni atmosferi inertnega plina *argona*, dodajni material je na kolutu navita varilna žica. Postopek je primeren za vsesplošno uporabo, razen za varjenje navadnih konstrukcijskih jekel, ker je varjenje v zaščitni atmosferi argona predrago. Slabost postopka predstavlja visoka cena argona. Tudi sevanje ultravijoličnih žarkov je močnejše.

Pri *MAG* postopku varjenja gori oblok med dodajno žico in varjencem v zaščitni atmosferi aktivnega plina CO_2 . V nasprotju z inertnim plinom argonom, ki ne reagira s talino vara, pa aktivni plin CO_2 sodeluje v procesu med oblokom in talino zvara. Kot aktivni plin lahko uporabljamo tudi plinske mešanice ($\text{CO}_2 + \text{Ar}$, $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ali $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$), ki vplivajo na velikost uvara, zato moramo uporabljeni plinski mešanici prilagoditi tudi varilne pogoje.



Slika 56: MIG/MAG postopek varjenja
Vir: Varilna tehnika, 2009, 21

TIG (*Tungsten-Inert-Gas*) postopek varjenja je uporaben za vse kovinske materiale, vendar je iz ekonomskih vidikov za manj kakovostna jekla neprimeren. Oblok se vzpostavi med netaljivo *wolframovo* elektrodo in varjencem v zaščitni atmosferi inertnega plina argona. Elektroda je nameščena v posebnem držalu. Okoli nje je šoba, skozi katero priteka na zvarno mesto zaščitni plin argon.



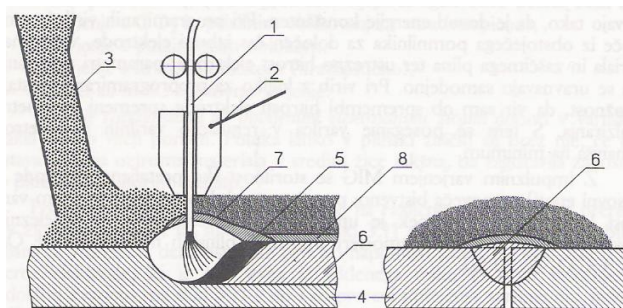
Slika 57: TIG postopek varjenja
Vir: Varilna tehnika, 2009, 21

Zaščitni plin argon ščiti talino in elektrodo. Argon je plin brez vonja, barve in okusa, ne gori, ni strupen in je nevtralen, kar pomeni, da ne reagira z drugimi elementi in da z njimi ne tvori spojin. Ker je 1,38-krat težji od zraka zagotovi zelo dobro in stabilno zaščito obloku ter talini vara. Pod določenimi pogoji ima lahko argon še dodatek vodika in dušika ali helija, kar vpliva na obliko uvara in temena.

Varilno tehnične lastnosti zaščitnega plina vplivajo na obliko prehoda dodajnega materiala. Brizganje oziroma obrizgi poslabšajo izgled vara, poleg tega se lahko lepijo tudi na plinsko šobo. TIG postopek je primeren za varjenje tanjših varjencev, kot so pločevina in cevi, debeline *pod 6 mm*. Varjenje je ročno ali avtomatizirano, brez dodajnega materiala ali pa dodajamo material v obliki gole varilne žice.

Obločno varjenje pod praškom (EPP)

Avtomatski postopek EPP varjenja je ekonomičen predvsem za *dolge zware in navare*. Električni oblok, ki se vzpostavi med taljivo elektrodo v obliki žice in varjencem, med varjenjem odtaljuje žico in tali varjenec kakor tudi prašek. Varilni prašek se postopno nasipava na zvarni rob, stabilizira oblok, se delno raztali v lahko odstranljiv sloj žlindre in na ta način pokriva ter ščiti talino pred oksidacijo. Varilna žica, kot dodajni material, mora biti po kemični sestavi prilagojena sestavi osnovnega materiala in sestavi praška.



Slika 58: Varjenje pod praškom

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 530

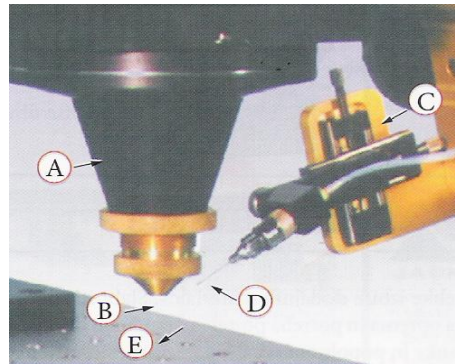
Oznake na Sliki 58 pomenijo:

1 – elektroda (dodajna žica), 2 – dovod varilnega toka, 3 – dovod praška, 4 – varjenec, 5 – kovinska talina, 6 – var, 7 – raztaljeni prašek in 8 – ohlajena žlindra.



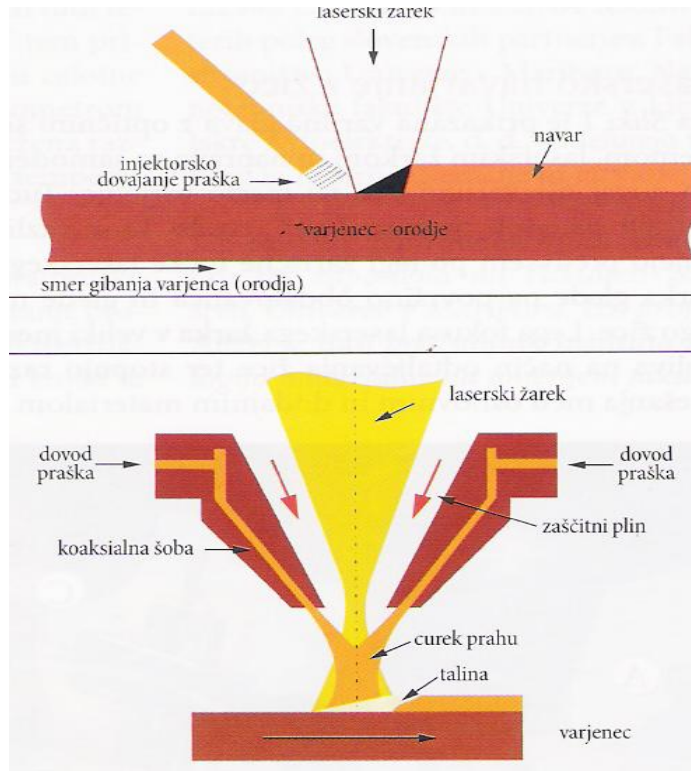
Na spletnem naslovu <http://www.avp.si/avtomati-za-varjenje/avtomat-za-varjenje-pod-praskom-a13>, si oglejte opremo, pogoje in slike za varjenje pod praškom.

Pri postopku *navarjanja* nanašamo dodajni material na površino osnovnega materiala, da bi ga kakovostno izboljšali ali nadomestili obrabljeno plast. Kot dodajni material lahko uporabljamo žico (Slika 59) ali kovinski prah (Slika 60).



Slika 59: Lasersko navarjanje:
Vir: IRT, 2/2006, 75

A – varilna glava z optičnim sistemom, B – laserski žarek, C- sistem za avtomatsko dovajanje dodatne žice, D – dodatna (varilna) žica in E – površina navarjenca



Slika 60: Lasersko navarjanje
Vir: IRT, 2/2006, 76

Na Sliki 60 sta prikazani dve tehniki laserskega navarjanja, ki se razlikujeta glede načina dovajanja varilnega praška na mesto varjenja. Prednost tehnike s koaksialnim dovajanjem varilnega praška na mesto navarjanja v talino, je predvsem v povečanem izkoristku energije laserskega žarka. Ker prašek in laserski žarek skupno dospeta na mesto navarjanja, se prašek v žarku raztali. Globina uvara je zelo majhna, prav tako pa tudi toplotno vplivano področje okoli navara (Tušek in Taljat, 2006, 76).

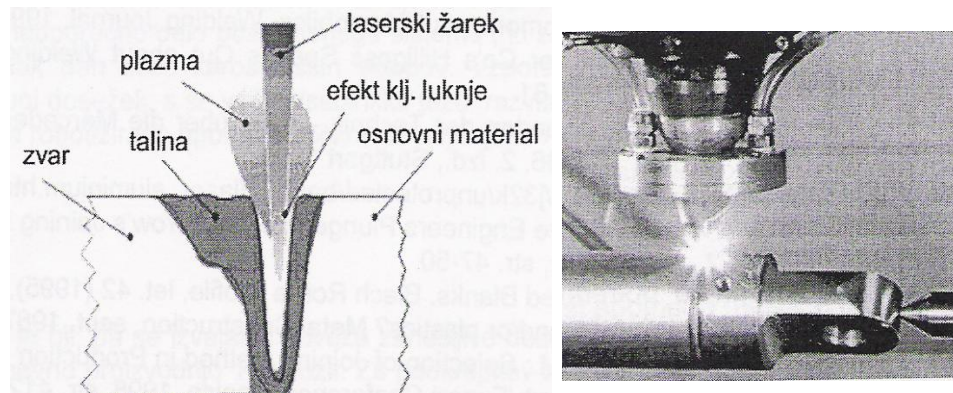
Da preprečimo vpliv razmešanja osnovnega in dodajnega materiala, naj bo globina uvara čim plitvejša, prav tako pa je potrebno predhodno določiti ustrezno število slojev navarjanja. Navarjanje se uporablja predvsem pri vzdrževanju in popravilu ter obnovi strojnih delov, ulitkov, orodij ipd.

5.1.3 Varjenje z laserjem

Varjenje z laserjem (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation – ojačitev svetlobnega toka z vzbujenim sevanjem) je talilno varjenje. Za nataljevanje varjenca uporabljamo monohromatski, koherentni snop polarizirane svetlobe, ki je z lečami zelo ozko fokusiran.

Pri *trdnem* laserju Nd:YAG, moči do 5 kW in z valovno dolžino svetlobnega sevanja $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$, se kot aktivni medij uporablja trdno telo, npr. kristal rubina s premerom 10 mm in dolžine 100 mm.

Pri *plinskem* CO_2 laserju, moči 10 do 15 kW in z valovno dolžino svetlobnega sevanja $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$, uporabljamo kot aktivni medij plin CO_2 ali mešanico helija (He) in neona (Ne). Za točkovno varjenje v mikroelektroniki se npr. uporabljajo laserji z močjo 0,5 do 2 kW.



Slika 61: Varjenje z laserjem
Vir: Dan varilne tehnike, 2005, 11

Prednosti laserskega varjenja so številne. Zvar in toplotno vplivno področje (TVP) je zelo ozko ter skoraj brez deformacij. Zaradi natančnega prostorskega in časovnega dovajanja energije je velika ponovljivost visoko kakovostnih zvarov pri minimalnem vnosu toplote.

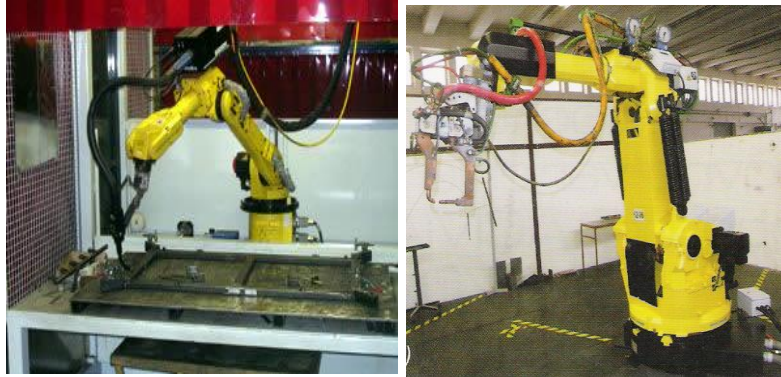
Postopek se uporablja za varjenje legiranih in orodnih jekel, niklja in nikljevih zlitin, zlitin aluminija, titana in magnezija, kakor tudi za varjenje različnih kombinacij kovin in zlitin z visokim tališčem ter za toplotno obdelane materiale.

Danes je postopek laserskega varjenja v serijski proizvodnji velikih in majhnih sestavnih delov popolnoma uveljavljen, tako po kakovosti kakor tudi z ekonomskega vidika v avtomobilski in letalski industriji, elektrotehniki ter elektroniki.

Tehnika varjenja z roboti je najvišja stopnja avtomatizacije varilnega postopka, posebno v primerih, ko so površine za spajanje zapletenih oblik, ali pa je potrebno izdelati več manjših zvarov v različnih smereh. Varilna strojna oprema opravi celoten proces.



Na spletnem naslovu si oglejte posnetke varjenja: <http://www.robotsko-varjenje.si/>



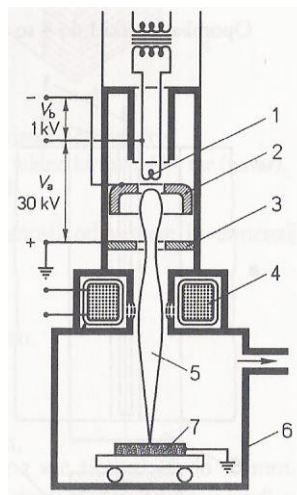
Slika 62: Varjenje z roboti

Vir: <http://www.virs.si/sl/robotizirano-varjenje> (02. 04. 2011)

Vir: Varilna tehnika, 2008, 34

Na tem mestu naj omenim še varjenje z *elektronskim snopom*, kjer izkoriščamo *kinetično* energijo elektronov. Kinetična energija zgoščenega snopa elektronov, ki se z veliko hitrostjo giblje skozi vakuum, se ob »udarcu« ob površino varjenca spremeni v *toplotno* energijo. Varimo brez dodajnega materiala.

Postopek je primeren za vse kovinske materiale, ki na zraku močno oksidirajo ali pa so občutljivi na pregrete v prehodni coni, kot so npr. krom, titan, magnezij in aluminij in pri zvarjanju kovin ali zlitin z nekovinami, kakor tudi pri popravilu rezalnih orodij, zobatih koles, vakuumski tehniki in elektroniki.



Slika 63: Shema naprave za varjenje z elektronskim snopom

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 538

Oznake na Sliki 63 pomenijo:

1 – katoda, 2 – Wehneltova elektroda, 3 – anoda, 4 – elektromagnetna leča, 5 – elektronski snop, 6 – vakuumna komora, 7 – varjenec

5.1.4 Uporovno varjenje

Uporovno varjenje je postopek varjenja, pri katerem nastane zvar zaradi pritiska elektrod varilnega stroja in zaradi toplote, ki se sprošča na zvarnem mestu. Toplota, ki ogreje oba varjenca na stičnem mestu, je posledica električne upornosti pri prehodu električnega toka, in sicer:

- ✚ upornosti osnovnega materiala varjenca (R_2, R_4)
- ✚ upornosti na stičnem mestu med obema varjencema (R_3)
- ✚ upornosti med elektrodo in osnovnim materialom (R_1, R_5).

Skupni upor: $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$ [Ω]



Količina sproščene (Joulove) toplote Q je sorazmerna jakosti električnega toka, upornosti na zvarnem mestu in času varjenja:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \text{ [J]} \quad (15)$$

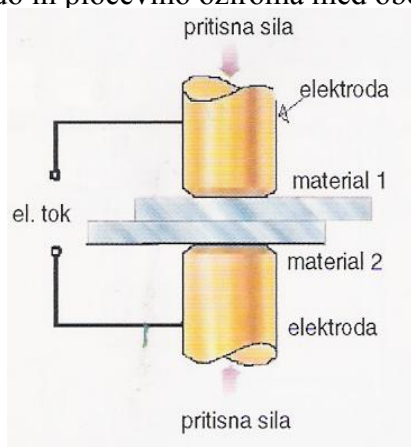
kjer pomenijo: jakost toka I (A), upornost R (Ω) in čas varjenja t (s).

Oblika in vrsta elektrod: ravne, valjaste, ukrivljene, ekscentrične (za varjenje na težje dostopnih mestih na izdelkih). Material, ki je primeren za izdelavo elektrod mora imeti veliko električno in toplotno prevodnost. Varilni parametri so:

- ✚ jakost varilnega toka
- ✚ pritisk elektrode na osnovni material
- ✚ čas posameznih ciklov varjenja.

Varilni stroji za uporovno varjenje so sestavljeni iz mehanskega, električnega in krmilnega dela. Varjenec, pločevino ali trakove položimo med spodnjo nepremično in zgornjo premično elektrodo. Na Sliki 64 (levo) je prikazano enotočkovno uporovno varjenje z zgornjo in spodnjo elektrodo in (desno) varilni stroj.

Za kakovosten zvarni spoj morata biti površini obeh varjencev čisti, kajti nečistoče, maščobe ali oksidi ovirajo pretok električnega toka. Če so površine elektrod in varjenca neravne, je kontakt med elektrodo in pločevino oziroma med obema varjencema le na vrhovih hrapavosti.



Slika 64: Uporovno točkovno varjenje

Vir: Varilna tehnika, 2008, 36

<http://www.mtiwelding.com/equipment/1/Resistance-Welding> (02. 04. 2011)

Pri uporabnem varjenju dodatni materiali niso potrebni. Če upoštevamo optimalno izbiro varilnih parametrov so ostale prednosti uporabnega varjenja naslednje:

- ✚ neznaten vpliv vnesene toplote na osnovni material
- ✚ možnost varjenja zelo tankih materialov, kakor tudi materialov z večjimi debelinami
- ✚ enostaven proces spajanja, visoka produktivnost in avtomatizacija postopka.

5.1.5 Nepravilnosti in napake pri talilnem varjenju

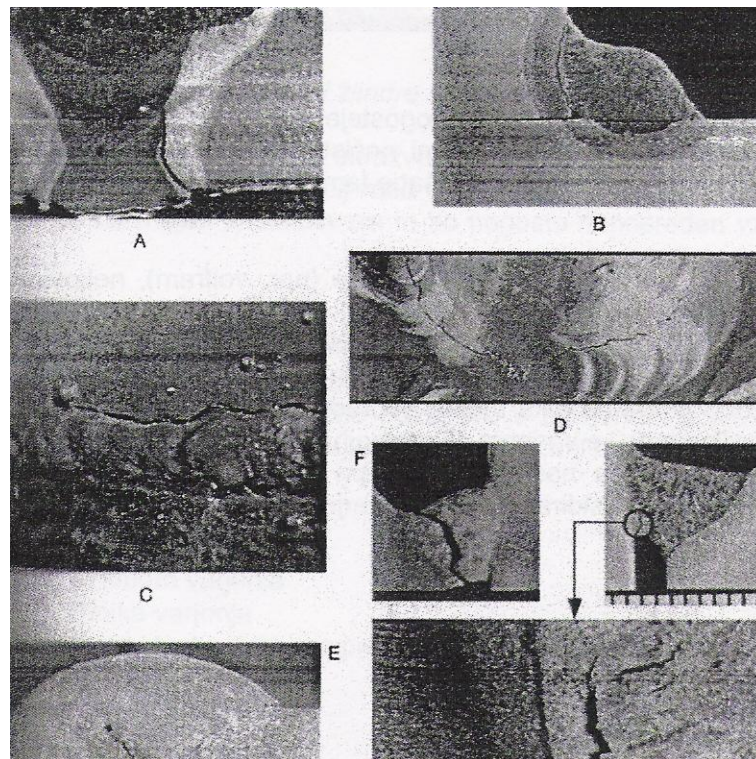
Vsaka nepravilnost vara oziroma zvarnega spoja je lahko sprejemljiva ali nesprejemljiva, medtem ko je napaka nepravilnost, ki ni več sprejemljiva (Šprajc, 2009, 23).

Različne nepravilnosti in napake zvarnih spojev nastanejo najpogosteje zaradi:

- ✚ neustrezne priprave na varjenje
- ✚ neustrezno izbranih varilnih parametrov in dodatnih materialov
- ✚ neustrezne tehnike varjenja in toplotne obdelave.

V standardu SIST EN ISO 6520 so zbrane vse možne nepravilnosti zvarov in toplotno vplivanih področjih vara. Glede na različne tehnike varjenja lahko razdelimo nepravilnosti zvarnih spojev v šest osnovnih skupin in sicer, razpoke, vključki, pore, oblikovne napake, nepopolni spoji in ostale napake.

Razpoke, vključki, pore se lahko pojavijo v področju vara ali pa v toplotno vplivanem področju na mikro ali makro nivoju.



Slika 65: Makro in mikrorazpoke v hladnem
Vir: Napake talilnega varjenja, 2005, 153

Razpoke se lahko pojavijo med ohlajanjem takoj po varjenju zaradi prevelike hitrosti ohlajanja oziroma zaradi neustrezne mikrostrukture, ali pa tudi več dni po varjenju, kot so npr. razpoke v hladnem zaradi prisotnosti vodika v varu.

Vključki so lahko različnih oblik in sestave, npr. oksidi, ostanki žlindre ipd. ter lahko poslabšajo lastnosti zvarnega spoja, podobno kot *poroznost*.

Oblikovne napake oziroma geometrijska odstopanja zvara od pričakovane oblike zvarjenega spoja, kot so nesimetričnost kotnega zvara, zamik zvarjenih delov, zajede in druge nepravilnosti v obliki varov.

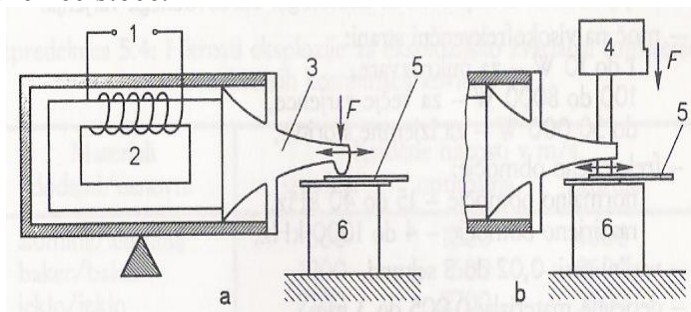
Površinske napake varov nastanejo zaradi *neustreznih varilnih parametrov* in predstavljajo: neprevarjena mesta med osnovnim materialom in varom ali neprevarjen ali pregret koren vara, obrizgi taline na varu ali v njegovi okolici ter prelitje temena.

5.1.6 Varjenje z ultrazvokom

Postopek varjenja z ultrazvokom uvrščamo med postopke varjenja z *mehansko energijo*. Zvar nastane zaradi delovanja mehanske energije v obliki pritiska ali trenja.

Varjenca sta vpeta med sonotrodo (3) in nakovalo (6) ter stisnjena s silo F , kot je prikazano na Sliki 66. Pravokotno na silo deluje ultrazvočno valovanje, ki se v sonotrodi pretvori v mehansko nihanje z enako frekvenco. Mehansko nihanje se preko varjenca prenaša na zvarno mesto. Zaradi drsnega trenja se zvarno mesto ogreje, vendar pod temperaturo tališča varjenca. Glede na obliko sonotrode lahko varimo posamezne točke ali kolutno – neprekinjeno.

Postopek ultrazvočnega varjenja je pomemben predvsem za zvarjanje tankih materialov, debeline 0,05 do 3 mm in različne kemične sestave, npr. kovin ali zlitin, umetnih mas, keramike, izdelki izdelani po postopku metalurgije prahov, tudi steklo v kombinaciji s kovino ali keramiko. Varilni časi so kratki, do 5 sekund. Var je kakovosten, ker mehanske oscilacije razbijejo oksidni film in ostale površinske nečistoče.



Slika 66: Shema naprave za varjenje z ultrazvokom
Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 565

Oznake na Sliki 66 pomenijo:

1 – visokofrekvenčni generator, 2 – magnetostriksijsko nihalo, 3 – sonotroda, 4 – utež,
5 – varjenec in 6 – nakovalo

Napravo za ultrazvočno varjenje sestavlja:

- ✚ mehanski in elektronski del
- ✚ naprava za stiskanje varjencev in krmilni sistem.



Slika 67: Naprava za varjenje z ultrazvokom
Vir: Euroteh, 2005, 69

5.1.7 Varivost kovinskih materialov

Osnovni kriterij za presojanje varivosti jekla je *kemična sestava*, in sicer:

- ✚ osnovnih pet elementov (C, Si, Mn, P in S)
- ✚ vsi dodatni legirni elementi
- ✚ nečistoče ($P + S \leq 0.07\%$) oziroma ($P \leq 0.05\%$ in $S \leq 0.05\%$).

Za analitično oceno varivosti jekla nam služi enačba za *ekvivalent ogljika* (C_{eq}), in sicer:

- ✚ za navadna ogljikova jekla: $C_{eq} = C + Si/4 + Mn/4$
- ✚ za ogljikovo jeklo s Cr in Mo: $C_{eq} = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/4$
- ✚ za malo legirana jekla: $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$.

Iz navedenega je razvidno, da na ekvivalent C_{eq} vplivajo legirni elementi, ki povečajo kaljivost jekla, torej sta varivost in kaljivost obratno sorazmerni.

Jeklo je dobro varivo, če je: $C_{eq} < 0,3 \%$, delno varivo, če je: $0,3 \% < C_{eq} < 0,5 \%$ in slabo varivo, če je $C_{eq} > 0,5 \%$. Pri slabi varivosti je pred varjenjem potrebno *predgrevanje jekla*.

Aluminija in aluminijeve zlitine imajo drugačne fizikalne lastnosti kot zlitine na osnovi železa, zato je tudi njihova varivost precej različna od varivosti jekla in litin.

Pri aluminiju in aluminijevih zlitinah so možni skoraj vsi postopki varjenja. Najboljša je varivost čistega aluminija in tistih aluminijevih zlitin (AlMn, AlMg, AlSi, AlMgSi), ki se izločevalno ne utrjujejo in imajo ozek interval med likvidus ter solidus linijo (Prosenc, Kisin, 2002, 40).

Varivost *titana in titanovih zlitin* je sorazmerno dobra, omejuje jo le velika afiniteta do kisika. Za intenzivno zaščito pred oksidacijo je potreben čisti Ar pri postopkih TIG ali MIG. Dodatna

zaščita korenske strani zvara in temena. Uspešno je plazemsko varjenje in varjenje z elektronskim snopom.

Za varjenje *bakra in bakrovih zlitin* so zaradi zelo dobre električne in toplotne prevodnosti potrebni zelo koncentrirani viri toplote. Varjenje zlitin CuZn (med) je možno po vseh postopkih. Cink ima vrelišče pri 907°C in zato pri varjenju vedno močno izpareva, zato morajo biti dodajni materiali bolj legirani s cinkom.

5.1.8 Varjenje termoplastov

Termoplasti so polimerni materiali z linearno obliko molekularne verige. Pri segrevanju se zmehčajo, lahko se preoblikujejo in varijo ter po ohlادitvi zavzamejo zopet prvotne lastnosti.

Načini varjenja so odvisni od debeline in vrste termoplasta. Varimo jih lahko z različnimi izvori toplote, kot so npr. vroči zrak ali vroče orodje (elektrofuzijsko varjenje) za varjenje polietilena PE, poliamida (PA) in polivinil klorida (PVC). Uporabimo lahko tudi visokofrekvenčni toplotni impulz ali varjenje z mehansko energijo, npr. ultrazvočno varjenje. Zvarni spoji so lahko izoblikovani kot soležni zvari v obliki črk I, V, in X.



Slika 68: Elektrofuzijsko varjenje

Vir: http://www.betaplast.si/drugi_programi_tehnike_spajanja.php (02. 04. 2011)

5.2 SPAJKANJE

Spajkanje je način spajanja, uporabno za vse kovine in zlitine, sintrane izdelke in keramiko. Pri tem se ohranijo tudi morebitne kovinske zaščitne prevleke površin. Spajka ima drugačno kemijsko sestavo kot osnovni material in ima vedno nižje tališče.

Osnovni pogoj za nastanek kakovostnega in trdnostno zadovoljivega spajkanega spoja je dobra *omočljivost* med spajko in osnovnim materialom, ki zahteva čiste stične površine. Za čiščenje površine osnovnega materiala in za zaščito pred ponovno oksidacijo med spajkanjem se uporabljajo talila. Talila povečajo površinsko napetost osnovnega materiala in zmanjšajo površinsko napetost spajke oziroma povečajo omočljivost spajke.

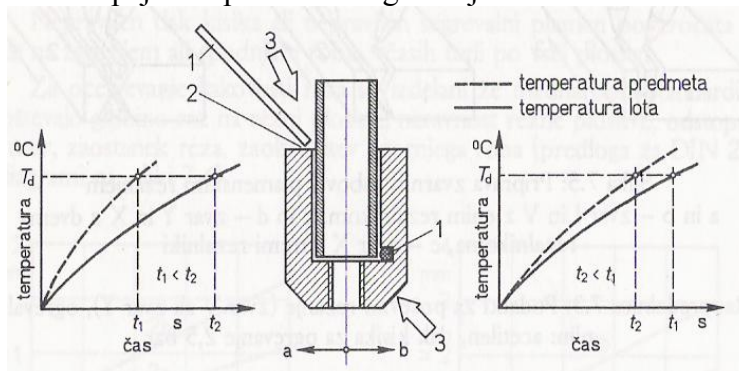
Pri spajkanju v režo je zaradi učinkovanja kapilarnih sil pomembna širina reže. Kapilarni tlak spajke (p_K) je odvisen od čiste površine, delovne temperature, ustrezne sestave spajke in talila ter ustrezne dimenzije reže.

$$p_K = 2 \cdot \sigma_H / b \quad (16)$$

Pri tem pomenijo: p_K – kapilarni tlak, σ_H – adhezija ali napetost oprijemanja in b – širina reže.

V tehnološki praksi se najpogosteje uporabljata dva načina spajkanja, in sicer:

- ✚ spajkanje z dodajanjem spajke in neposrednim ogrevanjem
- ✚ spajkanje z vloženo spajko in posrednim ogrevanjem.



Slika 69: Tehnika spajkanja

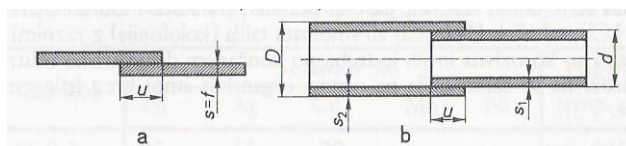
Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 576

Oznake na Sliki 69 pomenijo:

1 – spajka, 2 – talilo, 3 – ogrevanje, T_d – delovna temperatura, t_1 – temperatura spajke in t_2 – temperatura osnovnega materiala.

Spajkan spoj nastane:

- ✚ z izmenjalno difuzijo ali adhezijo atomov spajke in osnovnega materiala
- ✚ s kristalizacijo tekoče spajke.



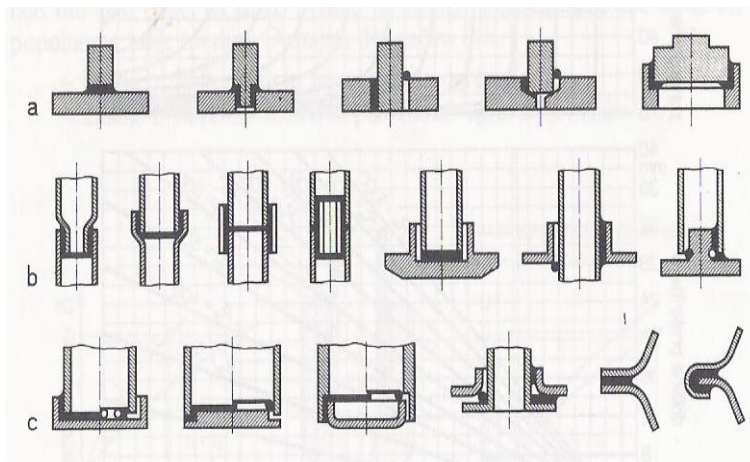
Slika 70: Prekrovno spajkanje pločevine (a) in cevi (b)

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 577

Spajkani spoj dimenzioniramo glede na strižno trdnost (τ) tako, da se izenači strižna trdnost spoja z natezno trdnostjo osnovnega materiala v najšibkejšem prerezu.

$$u = R_m / \tau \cdot s \quad (17)$$

u – prekritje v mm, s – debelina materiala v mm, R_m – natezna trdnost osnovnega materiala v N/mm^2 in τ – strižna trdnost spajkanega spoja v N/mm^2 .



Slika 71: Oblike spajkanih spojev

a – spajkanje čepov, b – spajkanje cevi in prirobnic ter c – spajkanje posod

Vir: Strojnotehnoški priročnik, 1998, 578

Po obliki spajkanega spoja ločimo spajkanje z ozko režo (0.05 do 0.3 mm, izjemoma do 0.5 mm ali več) in varilno spajkanje (s špranjami v obliki V ali X spoja). Pri varilnem spajkanju se spajka dovaja v obliki žice navite na kolut.

Glede na temperaturo tališča spajke razlikujemo dva načina spajkanja, in sicer mehko ali nizko temperaturno spajkanje in trdo oziroma visoko temperaturno spajkanje.

Pri postopku *mehkega spajkanja* so glavne kemične sestavine spajke kovine, ki imajo temperaturo tališča pod $450^{\circ}C$, npr. kositer Sn (20–75 %), bizmut (Bi), cink (Zn), kadmij (Cd), pa tudi manjše količine antimona (Sb) in srebra (Ag).

Spajke za *trdo spajkanje* imajo tališče nad $450^{\circ}C$. Glavne sestavine spajke so čisti baker, medenina (Cu-Zn), (CuZnNi), novo srebro (CuNiZn) s temperaturo tališča $890-920^{\circ}C$ in specialne spajke na osnovi srebra, niklja ter bakra. Če vsebuje spajka 8 % ali več srebra Ag, govorimo o srebrovih spajkah.

Visokotemperaturno spajkanje poteka v vakuumu pri temperaturah nad $900^{\circ}C$. Postopki spajkanja in kemijske sestave spajk so predpisane s standardi.

Talila so v obliki tekočin, past ali praškov in so po kemični sestavi kloridi, npr. $ZnCl_2$ s prosto HCl, salmijak (NH_4Cl), smolnata talila (kolofonija) z različnimi dodatki. Talila so lahko korozivna in jih je treba po končanem delu skrbno odstraniti. Nekorozivna so samo talila na osnovi organskih smol brez halogenskih dodatkov.

Za trdo spajkanje so talila na osnovi borove kisline H_3BO_3 z dodatki fluoridov (za temperature 550 do $800^{\circ}C$) ali brez fluoridov (za temperature 750 do $1100^{\circ}C$).

Po načinu ogrevanja spajke razlikujemo spajkanje z vročo spajko, spajkanje s plamenskim ogrevanjem, spajkanje s potapljanjem v raztaljeno spajko, spajkanje v pečeh, uporovno ogrevanje in indukcijsko ogrevanje z visokofrekvenčnim tokom. Visokotemperaturno spajkanje poteka v zaščitni atmosferi in pri temperaturi nad 900 °C.

Pri vakuumskem spajkanju uporabimo vakuum namesto zaščitne atmosfere. Na ta način se prepreči oksidacija (posebno v primerih, če je material občutljiv za oksidacijo) in izboljša omočljivost tekoče spajke. Najpogosteje se uporablja v avtomobilski in letalski industriji (Panjan, 2009, 44).

Postopki spajkanja so lahko avtomatizirani in jih razdelimo glede na:

- ✚ tališče spajke
- ✚ način dodajanja spajke
- ✚ način ogrevanja
- ✚ glede na obliko spoja.

Splošna pravila za kvalitetno spajkanje so naslednja:

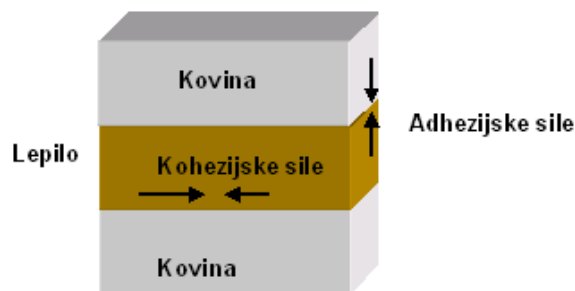
- ✚ dobra priprava površine osnovnega materiala ali špranje (suha in čista površina)
- ✚ uporaba talil za čiščenje in zaščito površine pred oksidacijo
- ✚ ogretje na delovno temperaturo spajkanja
- ✚ pravilno dodajanje spajke.

5.3 LEPLJENJE

Lepljenje je nerazdružljivo spajanje konstrukcijskih elementov, kjer je dodajni material *lepilo*. V primerjavi z ostalimi postopki spajanja poteka lepljenje običajno pri temperaturi okolice ali pri samo nekoliko povišani temperaturi.

Lepila na osnovi umetnih mas so npr. enokomponentna (fenolna smola) ali večkomponentna (epoksidna in poliestrska lepila), medtem ko so anorganska lepila na osnovi mineralnih ali keramičnih sestavin. V lepilih so še nekateri dodatki npr. polnila, mehčala, topila, trdila, pospeševala, zavirala itd.

Lepilni spoj nastane zaradi adhezijskih sile med lepilom in osnovnim materialom ter zaradi kohezije med molekulami lepila (Strojnotehnološki priročnik, 1998, 583).



Slika 72: Lepljeni spoj kovina/lepilo/kovina

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/SIV/lepljenje.html> (05. 04. 2011)

Za izvedbo kakovostnega lepilnega spoja je pomembna ustrezna *izbira lepila* glede na *vrsto materiala, priprava površine* in *nanos lepila*. Površina mora biti suha in čista, da se lepilo dobro oprijema površine. Zato kovinsko površino najprej razmastimo, nato pa po potrebi obrusimo in jedkamo. Po nanosu lepila sledi stiskanje lepljenih delov in sušenje spoja. V tehnološki proizvodnji je vsekakor pomembna tudi ustrezna oprema za nanos lepila glede na material in obliko izdelkov, saj je kakovost izdelkov odvisna tudi od kakovosti lepljenih spojev.

Konstruktivsko lepljenje se uporablja za tesnenje, popravila, lepljenje matic, vijakov, ležajev, varovanje vijajčnih zvez, pokrovov, površinsko zaščito proti koroziji, obrabi, pri vzdrževalnih delih in manjših popravkih različnih predmetov.

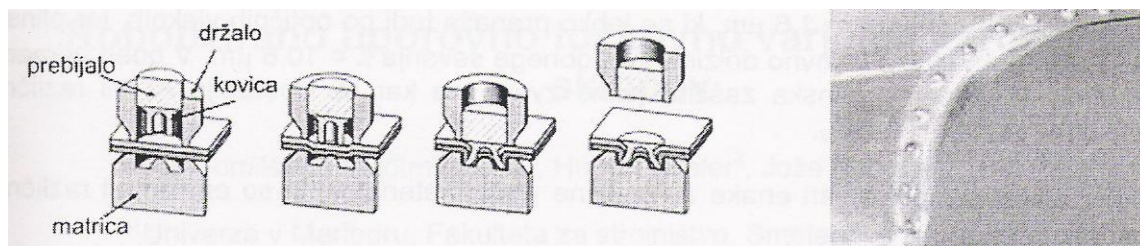


Več o pripravi in izvedbi lepljenja ter prednosti in slabosti lepljenih spojev na spletnem naslovu <http://www.lepljenje.si/nasveti-in-priporocila/splosno-o-lepljenju/oblikovanje-spojev/>

5. 4 KOVIČENJE

Nerazstavljljive in nepropustne zveze pločevin, profilov in trakov iz enakega ali različnega materiala pa lahko dosežemo tudi s *kovičenjem*. To je postopek spajanja z uporabo kovice, ki se pri nastajanju kovične zveze deformira. Kovice so lahko izdelane iz medenine, bakra, aluminijevih zlitin ali jekla in so različnih oblik, npr. polne, votle, polvotle, slepe, eksplozijske ipd.

Prebijalno kovičenje s polvotlo kovico se uporablja v primerih, ko mora biti ena stran spoja površinsko gladka. Na Sliki 73 je primer uporabe kovičenja na kabini tovornega vozila.



Slika 73: Prebijalno kovičenje
Vir: Dan varilne tehnike, 2005, 11

Nosilnost kovičnega spoja je odvisna od materiala, oblike in dimenzije uporabljene kovice, kakor tudi od stopnje deformacije oziroma zagozditve spojenih elementov.

Za manj zahtevna kovičenja lahko uporabljamo ročno kovično orodje in klasične kovične stroje, za kovičenje zahtevnejših spojev in trdnostno problematičnih materialov pa je najprimernejša uporaba orbitalnih strojev za kovičenje (<http://www.mdm2000.si/sl/kovicenje>, 16. 03. 2011).

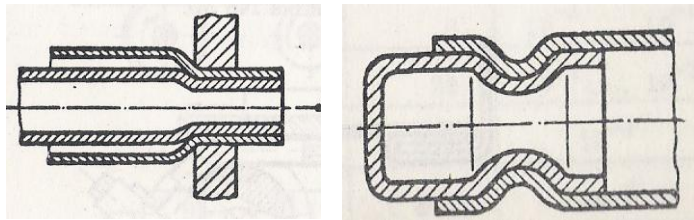
Naprave za kovičenje delujejo na principu radialnega in orbitalnega kovičenja ter so primerne za izdelavo kovičnih zvez s premerom kape kovice od 1 do 30 mm. Opremljene so s CNC krmiljenjem za nadzor procesa kovičenja.



Naprave in pogoje za kovičenje si oglejte na spletnem naslovu
http://www.mb-naklo.si/ponudba_avtomatizacija_agme.php

5.5 SPAJANJE ELEMENTOV S PREOBLIKOVANJEM

Posamezne kovinske dele pločevine, cevi ali žice lahko spajamo s preoblikovanjem z lokalno plastično deformacijo. Na primer, žico lahko spajamo s preoblikovanjem v žične vrvi, dva cevasta dela lahko spojimo na ta način, da ju hkrati povlečemo skozi vlečno matrico (Slika 74 levo) ali z žlebljenjem, kot prikazuje Slika 74 desno.



Slika 74: Spajanje cevi z vlečenjem (levo) in z žlebljenjem (desno)
Vir: Tehnologija preoblikovanja, 1978, 105

Za preoblikovanje potrebne sile so lahko mehanskega, hidravličnega ali elektromagnetnega izvora.

Pregibanje je način zaupogibanja robov, pri katerem spojimo dva konca pločevine ali pa na enem samem kosu pločevine ojačimo rob. Spajanje pločevinastih delov s pregibanjem se uporablja predvsem pri izdelavi kovinske embalaže, *z robljenjem* pa za ojačevanje robov ali kot priprava za prepogibanje, varjenje ali lotanje (Golgranc, 1978, 106).

Povzetek

Tehnologija spajanja kovinskih in nekovinskih materialov vključuje postopke *varjenja*, *navarjanja*, *spajkanja*, *kovičenja*, *lepljenja* in *spajanje elementov s preoblikovanjem*. V tehnološki proizvodnji in v ostalih industrijskih panogah je najbolj razširjeno varjenje, spajkanje in kovičenje.

Varivost je *tehnološka lastnost*, ki popiše in oceni obnašanje osnovnega materiala med varjenjem, sposobnost njegovega zvarjanja in možnost doseganja zahtevanih mehanskih lastnosti zvarjenih spojev.

Glede na uporabljeno energijo za varjenje razlikujemo med postopki talilnega varjenja in postopki varjenja z mehansko energijo.

Najbolj razširjeni postopki talilnega varjenja so: plamensko varjenje, postopki obločnega varjenja (RO, MIG/MAG, TIG, EPP) in varjenje z laserjem.

Pri talilnem varjenju je za doseg kakovostnega zvarnega spoja pomembna:

- ✚ izbira ustreznega postopka varjenja glede na vrsto osnovnega materiala, obliko, nosilnost in vrsto konstrukcije
- ✚ izbira optimalnih parametrov varjenja
- ✚ izbira dodatnega materiala
- ✚ priprava osnovnega materiala oziroma varjenca.

Med postopki varjenja z mehansko energijo je najpomembnejše varjenje z ultrazvokom, ki je primerno tudi za nekovinske materiale, npr. za keramiko in za umetne mase.

Spajkanje je uporabno za vse kovine in zlitine, sintrane izdelke ter keramiko. Spajka ima drugačno kemijsko sestavo kot osnovni material in ima vedno nižje tališče.

Za doseg zadovoljivega *spajkanega* spoja je pomembna dobra omočljivost med spajko in osnovnim materialom, ki je vedno v trdnem stanju. Talila očistijo stične površine in povečajo površinsko napetost osnovnega materiala oziroma zmanjšajo površinsko napetost spajke ter povečajo njeno omočljivost. Pri spajkanju v režo je zaradi ustreznega kapilarnega tlaka pomembna širina reže. Kapilarni tlak spajke je odvisen od čiste površine, delovne temperature, ustrezne sestave spajke in talila ter ustrezne dimenzije reže.

Spajkan spoj nastane z izmenjalno difuzijo ali adhezijo atomov spajke in osnovnega materiala ter s kristalizacijo tekoče spajke.

Glede na temperaturo spajke razlikujemo med mehkim, trdim in visoko temperaturnim spajkanjem.

Nekatere konstrukcijske elemente lahko spajamo tudi z *lepljenjem*. Postopek ima v primerjavi z drugimi postopki spajanja določene prednosti in slabosti, posebno pri trajnih obremenitvah ter nekoliko povišani temperaturi. Kakovost spoja je odvisna od vrste lepila, priprave površine, nanašanja lepila ipd.

Kovičenje se uporablja predvsem v industriji vozil in letal. Nosilnost kovičnega spoja je odvisna od materiala kovice, vrste in oblike kovice ter od dimenzije kovice.



Vprašanja za preverjanje razumevanja

Pojasnite, zakaj je pri talilnem varjenju jekla pomembna koncentracija ogljika in legirnih elementov v varjencu.

Na spletnem naslovu <http://www.ipro.si/varjenje.html> si oglejte nekatere postopke talilnega varjenja in za varjenje tanke nerjavne pločevine debeline 5 mm, izberite ustrezen postopek ter ustrezno opremo za varjenje.

Argumentirajte vašo odločitev in izbiro.

Na spletnem naslovu <http://www.avp.si/avtomati-za-varjenje> si oglejte kombinacijo varjenja po MAG/MIG in MAG/EPP postopku.

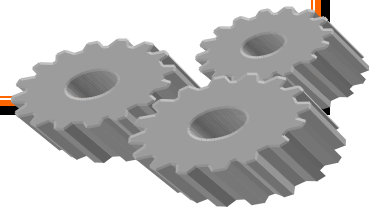
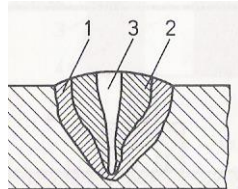
Za kovičenje tanke jeklene pločevine izberite ustrezno obliko kovic.

Uporabite spletno stran

http://lacc.uni-mb.si/Strojni_elementi_1_UNI/slikovno_gradivo/5%20-%20Kovicni%20spoji.pdf

Zakaj moramo pri izbiri varilnih parametrov pri uporovnem varjenju upoštevati debelino in električno upornost varjencev ter razdaljo med zvarnimi točkami? Pojasnite.

Primerjajte obliko varov, ki so prikazani na spodnji sliki in jih komentirajte. Glede na obliko vara ocenite za var številka 1, 2 in 3 postopek varjenja.



6 POSTOPKI LOČEVANJA

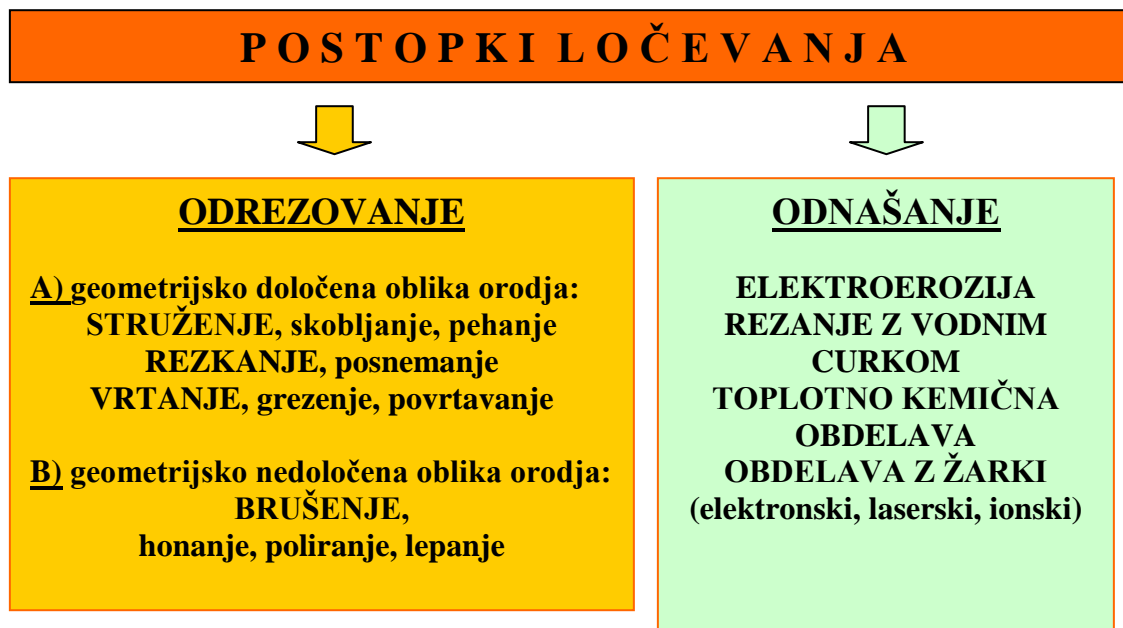
Uvod v poglavje

Postopki *ločevanja* so postopki obdelave, pri katerih spreminjamo obdelovancu obliko in dimenzijo na ta način, da v materialu obdelovanca lokalno prekinemo medsebojno vez. V primerjavi s postopki preoblikovanja se masa obdelovanca zmanjša in je končni produkt vedno lažji od surovca.

V tehnološki proizvodnji so najpomembnejši postopki ločevanja *odrezovanje* in *odnašanje*. *Odrezovanje* je postopek obdelave, ki omogoča zelo natančno obliko izdelkov in ustrezno kvaliteto površine. Zahtevano obliko obdelovanca dosežemo tako, da od začetnega kosa oziroma surovca z orodjem v obliki klina odvezujemo del materiala v obliki *odrezkov*.

Glede na geometrijo uporabljenega orodja lahko postopke razdelimo na postopke, pri katerih ima uporabljeno rezalno orodje natančno *določeno geometrijo* (struženje, rezkanje, vrtanje, grezenje, povrtavanje, skobljanje, pehanje) in na postopke z *nedoločeno geometrijo* orodja (brušenje, honanje in lepanje).

Nadaljnja delitev postopka odrezavanja je možna glede na število rezil orodja, npr. *enorezilni* in *večrezilni* postopek odrezavanja. Pri enorezilnem postopku reže orodje le z enim rezilom (struženje, pehanje), medtem ko ima pri večrezilnem postopku orodje več rezil, vendar reže samo del rezil, npr. rezkanje, posnemanje, premočrtno in krožno žaganje. Pri tem je prerez odrezka različen in se spreminja.



Slika 75: Delitev postopkov ločevanja

Vir: Lasten

Med postopke ločevanja sodijo tudi nekateri ročni, najstarejši postopki odrezavanja, kot so npr. piljenje, kosmačenje, strganje, žaganje, razstavljanje, ščetkanje, čiščenje ipd. Le-ti so sicer

povezani z nekaterimi značilnimi izdelovalnimi postopki, vendar se v avtomatizirani proizvodnji uporabljajo le izjemoma, predvsem v orodjarstvu, pri montaži in pri nekaterih vzdrževalnih delih.

Odrezani delci oziroma odrezki običajno predstavljajo manjvreden odpadek, posebno pri uporabi hladilno-mazalnih tekočin in jih brez dodatnih stroškov ni mogoče uporabiti za predelavo, zato njihovo shranjevanje obremenjuje okolje. Zaradi teh razlogov bi se obdelave z odrezavanjem morali izogibati in jo nadomeščati npr. s postopkom preoblikovanja. Vendar to ni vedno mogoče, zato obdelavo z odrezavanjem še vedno uvrščamo med pomembne izdelovalne postopke. Omogoča nam zelo natančno izdelavo in kakovostno površino tudi pri izdelkih zapletenih oblik.

Postopki ločevanja z *odnašanjem* materiala so rezultati razvojnih prizadevanj obdelave materialov v primerih, ko so bili obdelovanci težko obdelovalni materiali zapletenih oblik.

Za spremembo oblike in dimenzije obdelovanca izkoriščamo neposredno delovanje energije na površino obdelovanca ter ne orodja v obliki klina.

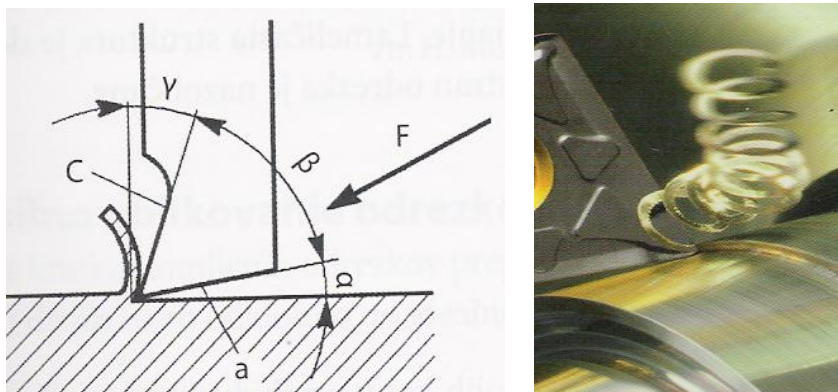
Uporabljena energija je lahko npr. v obliki mehanske energije (rezanje z vodnim curkom), električne energije (obdelava z elektroerozijo), toplotno kemične energije (plamensko rezanje), svetlobne energije (lasersko rezanje).

6.1 ODREZOVANJE

Odrezovanje je eden izmed najvažnejših tehnoloških postopkov obdelave. Omogoča nam natančno izdelavo izdelkov zapletenih oblik in kakovostno površino. Zahtevano obliko obdelovanca dobimo tako, da od začetnega kosa oziroma surovca odvzamemo z *orodjem v obliki klina* del materiala v obliki *odrezkov*.

Odrezek nastaja v rezalni ravnini; pogoj za nastanek odrezka je relativno gibanje med obdelovancem in rezalnim orodjem. Ločevanje odrezka od obdelovanca poteka z ustrezno izbrano *vrsto ter geometrijo rezalnega orodja* in pri določenih obdelovalnih *pogojih* na *obdelovalnih strojih*.

Na Sliki 76 je prikazana geometrija rezalnega orodja in nastajanje odrezka. Rezalno orodje sestavlja *prosta ploskev a*, ki je obrnjena proti trenutni ploskvi obdelave in *cepilna ploskev c*, preko katere drsi odrezek. Obe ploskvi v prerezu tvorita rezalni rob orodja in medsebojno oklepata *kot klina β* .



Slika 76: Odrezek in geometrija rezalnega orodja pri struženju

Vira: Odrezavanje, 2010, 9

Vir: IRT, 1/2008

Kot med obema rezalnima robovoma orodja je *kot rezalne konice* ε . *Prosti kot* α , je kot med prosto ploskvijo orodja in trenutno ploskvijo obdelave, medtem ko je *cepilni kot* γ kot med navpičnico na trenutno ploskev obdelave in cepilno ploskvijo orodja.



Na spletni strani: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> si oglejte geometrijo rezalnega orodja.

Vrsta in geometrija rezalnega orodja, vključno z obdelovalnimi pogoji, neposredno vplivajo na:

- + rezalne sile
- + kakovost obdelane površine
- + obrabo orodja
- + produktivnost
- + stroške oziroma ceno obdelave.

Pri postopkih odrezavanja na obdelovalnem stroju razlikujemo tri osnovna gibanja in sicer: *glavno gibanje*, *podajalno gibanje* ter *globino rezanja*.

Glavno gibanje opravlja rezalno orodje ali obdelovanec in omogoča nastanek odrezka. Relativno hitrost med orodjem in obdelovancem v smeri glavnega gibanja imenujemo *hitrost rezanja* (v_c).

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n \text{ [mm/s]} \quad (18)$$

d – premer obdelovanca v mm, n – vrtilna frekvenca glavnega vretena obdelovalnega stroja v s^{-1} .

Podajanje (f) oziroma podajalno gibanje imenujemo podajanje rezalnega orodja ali obdelovanca v rez. Glede na smer gibanja obdelovanca ali rezalnega orodja je podajanje lahko vzdolžno ali prečno.

Globino (a_p) rezanja ali nastavitveno gibanje imenujemo primaknitev orodja v obdelovanec ali obratno na mesto, kjer bomo obdelovali. Nastavitev je običajno v milimetrih.

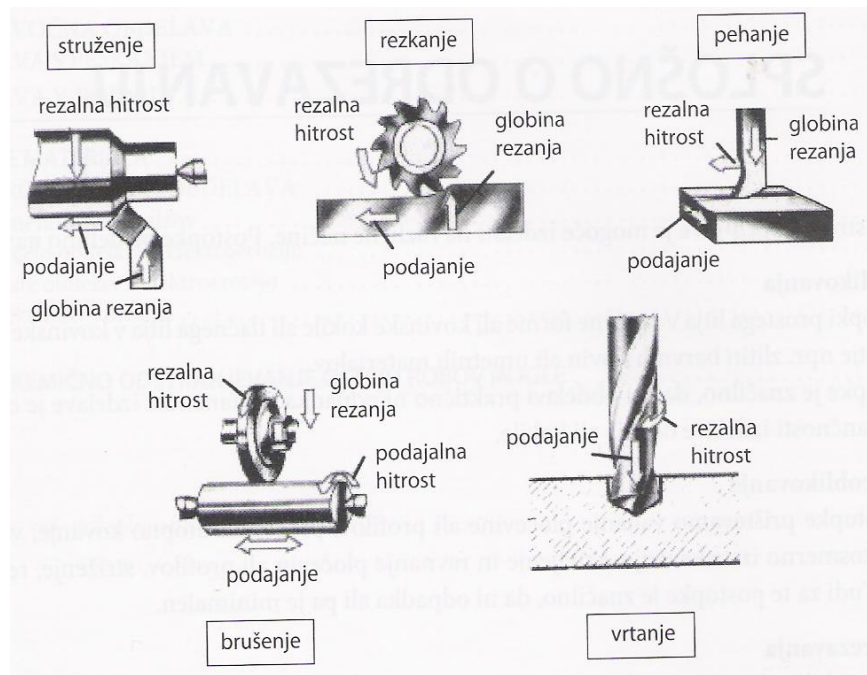


Rezalno hitrost, podajanje in globino rezanja izbiramo glede na material obdelovanca, glede na material ter geometrijo orodja in glede na zahtevano kakovost obdelane površine.

Na izbiro postopka odrezavanja vplivajo:

- + zahtevana geometrijska oblika obdelovanca
- + natančnost obdelave
- + zahtevana kakovost obdelane površine
- + vrsta materiala obdelovanca,
- + mehanske lastnosti materiala obdelovanca
- + ekonomičnost obdelave.

Na Sliki 77 so za postopke odrezavanja (struženje, rezkanje, pehanje, brušenje in vrtanje) prikazane »smeri« rezalne hitrosti, podajanja in globine rezanja.



Slika 77: Postopki odrezavanja

Vir: Odrezavanje, 2010, 8

Glede na sposobnost obdelovanca za spremembo oblike, dimenzije in površine je pomembna njegova tehnološka lastnost, ki jo imenujemo *obdelovalnost*, in je odvisna od:

- ✚ kemične sestave, mikrostrukture, mehanskih lastnosti, obdelovanca
- ✚ od obdelovalnih pogojev, vključno z geometrijo ter vrsto rezalnega orodja.

V strokovni literaturi (Fritsch,) ocenjujejo obdelovalnost materiala s kriteriji, kot so:

- ✚ hrapavost obdelane površine
- ✚ oblika odrezkov
- ✚ obraba in obstojnost rezalnega orodja
- ✚ velikost rezalnih sil.



Kdaj ima material dobro *obdelovalnost*?

Material ima boljšo obdelovalnost, če ga lahko obdelujemo z *večjo rezalno hitrostjo* in se pri tem izmerijo *manjše rezalne sile* ter *manjša hrapavost* obdelane površine ob *ugodni obliki odrezkov* ter čim *manjši obrabi* rezalnega orodja.

Pomožni kriteriji so še: temperatura v rezalni coni, poraba moči obdelovalnega stroja, stroški obdelave, celotni čas obdelave ipd.

Kakovost površine obdelovanca oziroma *hrapavost* (R_a) obdelane površine je predpisana že z načrtom obdelovanca. Z ustrežno odločitvijo pri izbiri obdelovalnih pogojev dosežemo zahtevano kakovost obdelane površine in tako znižamo stroške nadaljnje finejše obdelave, ali pa le-ta ni več potrebna.

Teoretična hrapavost površine je posledica uporabljenega postopka obdelave in geometrije orodja. Dejanska hrapavost se od teoretične razlikuje in je odvisna od:

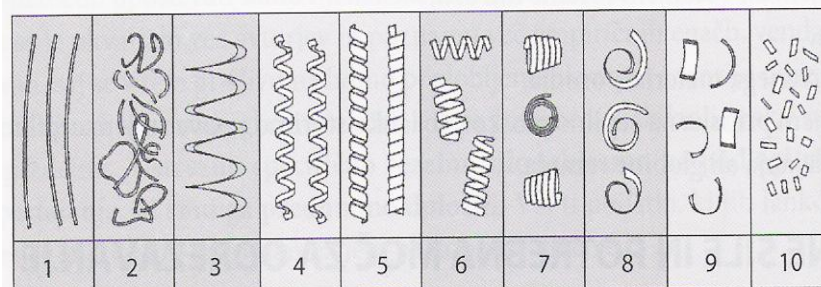
- ✚ mehanskih lastnosti in vrste materiala obdelovanca
- ✚ obdelovalnih pogojev (rezalne in podajalne hitrosti, hlajenja ter mazanja)
- ✚ vrste ter geometrije uporabljenega rezalnega orodja
- ✚ obdelovalnega stroja, vpenjanja, ipd.

Pri obdelavi nastopijo razlike med geometrično in dejansko geometrijsko obliko površine. Ta odstopanja od oblike so razdeljena na hrapavost površine (mikroslika površine) in valovitost ali oblikovne napake površine (makroslika površine).

Odstopanje dejanske površine od geometrično pravilne, se lahko izmeri z ustreznimi merilniki hrapavosti. Rezultat je podan kot izračunana aritmetična srednja vrednost hrapavosti R_a – merilo povprečnih odklonov vrhov od srednje linije profila hrapavosti (Kopač, 2008, 151).

Pri nastajanju odrezka se nedeformirani material obdelovanca pred rezalnim robom orodja preoblikuje v deformirani odrezek.

Na obliko odrezkov vplivajo obdelovalni pogoji (rezalna hitrost, podajanje, vrsta in geometrija orodja, globina rezanja, hlajenje) ter material obdelovanca (mikrostruktura, trdnost, trdota).



Slika 78: Oblike odrezkov

Vir: Odrezavanje in odnašanje, 1995, 54

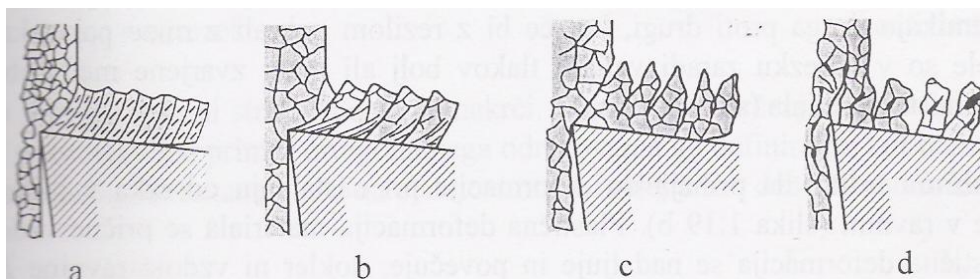
Na Sliki 78 so prikazane subjektivne ocene neprimernih in zadovoljivih oblik odrezkov.

Nepriemerne oblike odrezkov so:

1 – dolgi trakovi, 2 – zviti odrezki in 3 – široki dolgi odrezki v obliki navojev.

Zadovoljive oblike odrezkov so: 4 – ozki odprti navoji, 5 – ozki stisnjeni navoji, 9 – luske in 10 – drobni odrezki.

Primerne oblike odrezkov so oblike: 6 – široki kratki navoji, 7 – spirale in 8 – polžasti odrezki.



Slika 79: Vrste odrezkov

Vir: Odrezavanje in odnašanje, 1995, 50

Na Sliki 79 so štiri osnovne vrste odrezkov in sicer: *tekoči* (a), *lamelni* (b), *narezani* (c) in *lomljeni* (d).




Tekoči odrezki (a) nastanejo pri plastičnih materialih ali pa tudi pri manj plastičnih, če se odrezek zaradi velike hitrosti rezanja ogreva, obenem pa je tudi cepilni kot γ dovolj velik.

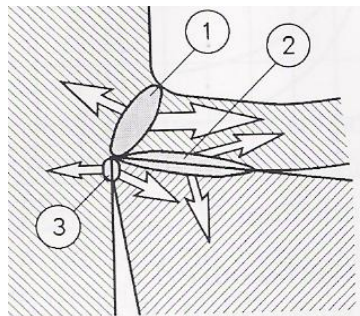
Pri lamelni (b) vrsti odrezkov je zunanja stran nazobčana, lamele so dobro spojene.

Narezani (c) odrezki sestavljajo lamele, ki so sicer sprijete, vendar se z zunanje strani odrezka v notranjost širijo razpoke, ker se je v rezalni coni material močno deformacijsko utrdil.

Lomljeni (d) odrezki nastajajo pri obdelavi krhkih materialov, npr. sive litine ali pa pri obdelavi manj plastičnih materialov z majhnimi rezalnimi hitrostmi.

Na Sliki 80 so prikazane toplotne razmere med tvorbo odrezka in sicer:

-  v strižni coni (1)
-  na cepilni ploskvi (2)
-  na prosti ploskvi (3) orodja.



Slika 80: Toplotne razmere pri nastajanju odrezka

Vir: Odrezavanje in odnašanje 1995,74

V strižni coni (1) se v toploto pretvarja deformacijsko delo, potrebno za tvorbo odrezka. Torno delo, ki je potrebno za premagovanje trenja med odrezkom in cepilno ploskvijo orodja, se pretvarja v coni (2) v toploto. V coni (3) se v toploto pretvarja torno delo, ki se porablja za premagovanje trenja med obdelano površino obdelovanca in obrabno ploskvijo na prosti ploskvi orodja.

Toplotna obremenitev rezalnega roba orodja je odvisna od *materiala obdelovanca* in od *obdelovalnih pogojev*, kakor tudi od *vrste in geometrije* uporabljenega orodja.

Toploto, ki nastaja zaradi deformacijskega dela in trenja med rezanjem, odvajamo s hlajenjem orodja. Naloga hladilnih sredstev je hlajenje, mazanje (za zmanjšanje trenja na delovnih površinah orodja) ter odnašanje odrezkov. Za hlajenje in mazanje uporabljamo razne hladilne emulzije, včasih pa tudi zrak, pomešan z drobno razpršenim rezalnim oljem. Smernice in priporočila za izbiro hladilnih in mazalnih sredstev so na voljo pri proizvajalcih sredstev ali pa so sestavni del dokumentacije obdelovalnih strojev. Dejstvo je, da hladilna in mazalna sredstva obremenjujejo okolje, čeprav se proizvajalci sklicujejo na okolju prijazna sredstva in so pri obdelavi nekaterih materialov nujno potrebna. Na primer, pri slabo obdelovalnih materialih, kakor tudi pri obdelavi nerjavnega jekla in aluminijevih zlitin, zaradi lepljenja na orodje.

Glede na zahteve standarda za okolje SIST EN ISO 14001 : 2005 in SIST EN ISO 14004 : 2005, tudi nekatera samomazalna rezalna orodja zmanjšujejo trenje v rezalni coni in na ta način pripomorejo k zmanjšani uporabi hladilnih tekočin.

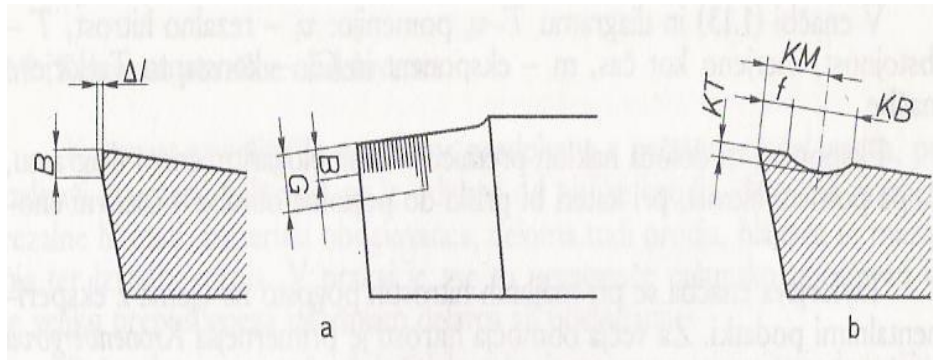
Vsako orodje, tudi oplaščeno, se pri delu obrablja. Poleg tega so rezalna orodja med procesom odrezovanja pri nastajanju odrezka obremenjena z rezalnimi silami. Na dotikalnih točkah med orodjem in obdelovancem oziroma odrezkom, se zaradi trenja lahko povišajo temperature, kar vodi do zvarjanja oziroma do *adhezijske obrabe* orodja.

Za orodja iz hitroreznih jekel je značilna mehanska oziroma *abrazivna obraba*, ko trši delci materiala obdelovanca »poškodujejo« površino orodja.

Difuzijska obraba je značilna predvsem za orodja iz karbidnih trdin, ko zaradi visokih temperatur nastopi difuzija atomov železa, kar ima za posledico spremembo mikrostrukture volframovih karbidov (WC).

Če so v področjih visokih temperatur (700 do 800 °C) prisotni še atomi kisika, govorimo o *oksidacijski obrabi*. Zaradi oksidacije se pojavijo mikrostrukturne spremembe, kar vodi do luščenja oksidiranih površin orodja.

Obraba orodja se lahko pojavi na prosti ali na cepilni ploskvi in vpliva na spremembo geometrije orodja ter posledično poslabša kakovost površine in poveča rezalne sile.



Slika 81: Obraba orodja na prosti ploskvi – a in obraba v obliki kotanje na cepilni ploskvi – b

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 293

Najpomembnejša je obraba proste ploskve, pri kateri nastane obrabna ploskev širine B, včasih na posameznih mestih lahko tudi do širine G, pri tem pa se orodje skrajša za Δl , kot je prikazano na Sliki 81 a.

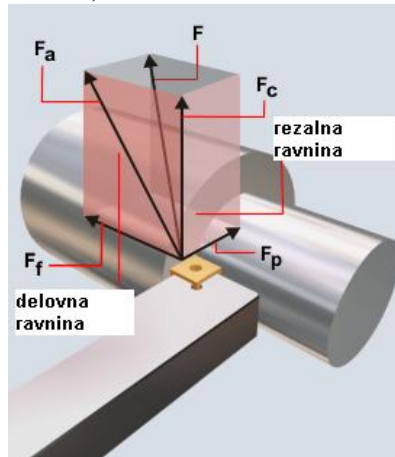
Značilna obraba cepilne ploske je v obliki kotanje, ki je za razdaljo f odmaknjena od rezalnega roba (Slika 81 b). Pri obdelavi slabo obdelovalnih materialov in pri majhnih rezalnih hitrostih se lahko pojavi obraba rezalnega roba tudi na cepilni ploskvi. Pri napredovanju obrabe se združi z obrabo na prosti ploskvi, kar ima za posledico zaokrožitev rezalnega roba.

Obstojnost rezalnih orodij običajno definiramo kot čas učinkovitega dela orodja in jo izražamo v minutah (čas obstojnosti) ali pa v milimetrih, npr. pot obstojnosti svedra. Poleg materiala orodja in materiala obdelovanca ima na obstojnost največji vpliv rezalna hitrost. Njuno odvisnost podaja Taylorjeva enačba, ki ju v praksi največkrat uporabljamo.

$$v_c \cdot T^m = C_v, \quad (19)$$

kjer pomenijo: v_c - rezalna hitrost, T – obstojnost, merjeno kot čas, m – eksponent obstojnosti, ki je odvisen od materiala obdelovanca, vrste in geometrije orodja ter od hladilnega sredstva, C_v – konstanta Taylorjeve enačbe.

Pri oblikovanju odrezkov delujejo na orodje *rezalne sile*. Rezalno silo lahko razstavimo na tri komponente, in sicer: glavno rezalno silo F_c v smeri rezalne hitrosti, podajalno silo F_f v smeri podajalne hitrosti ter odzivno silo F_p (Slika 82).



Slika 82: Osnovne komponente rezalne sile pri struženju
Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (03. 03. 2011)

Glavno rezalno silo F_c , ki je tudi največja, lahko ocenimo na osnovi specifične rezalne sile f_z pri prerezu odrezka $A = 1\text{mm}^2$.

$$F_c = f_z \cdot A \quad [\text{N}] \quad (20)$$

kjer pomenijo: f_z – specifična rezalna sila [N/mm^2] in A – prerez odrezka [mm^2].

Enačba 20 omogoča samo približno oceno glavne rezalne sile, ker je le-ta odvisna od materiala obdelovanca in prereza odrezka.

V tehnološki praksi izračunamo prerez odrezka A po enačbi:

$$A = b \cdot h = a \cdot f \quad [\text{mm}^2] \quad (21)$$

kjer pomenijo: b – debelino odrezka, h – širino odrezka, a – globino rezanja in f – podajanje.

Velikost *rezalnih sil* je pomembna vrednost za oceno obdelovalnosti materiala, izbiro obdelovalnih pogojev, konstruiranje obdelovalnih strojev in za analizo razmer v rezalni coni pri oblikovanju odrezka.

Na velikost rezalnih sil vplivajo:

- ✚ mehanske lastnosti in mikrostruktura materiala obdelovanca
- ✚ vrsta in geometrija rezalnega orodja
- ✚ obdelovalni pogoji, predvsem rezalna hitrost, podajanje, globina rezanja in hlajenje.

Skladno z razvojem novih tehnologij potekajo na področju rezalnih materialov, iz katerih so izdelana rezalna orodja, nenehna razvojna prizadevanja. Sodobni obdelovalni stroji so računalniško vodeni, visoko produktivni in hitro prilagodljivi. Rezalna orodja omogočajo obdelavo različnih materialov v zelo strogih tolerančnih mejah in z velikimi rezalnimi hitrostmi.



Na spletnem naslovu <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> si oglejte sodobne obdelovalne centre

Materiali rezalnih orodij morajo zadostiti nekaterim zahtevam glede lastnosti, kot sta npr. velika trdota in odpornost proti obrabi ter ustrezno žilavost da lahko prenašajo vibracije in sunkovite obremenitve.

Največji napredek v izboljšanju lastnosti rezalnih materialov, kot so hitrorezna jekla in karbidne trdine, je bil dosežen s postopki večplastnega oslojevanja ali prekrivanja z nanosi tankih trdih zaščitnih plasti, npr. titanovega nitrída (TiN) in titanovega karbonitrída (TiCN).

Rezalna orodja se razlikujemo glede na:

- + geometrijsko obliko in število rezil (enorezilna, dvo in več rezilna)
- + vrsto materiala, iz katerega so izdelana
- + vrsto trde prevleke.



Materiali sodobnih rezalnih orodij so:

hitrorezna jekla (HS), cermeti in karbidne trdine (KT), rezalna keramika, polikristalinični diamant (PKD) ter kubični borov nitrid (CBN).

Hitrorezna jekla se uporabljajo predvsem za izdelavo več rezilnih orodij, kot so npr. svedri, rezkala, grezila, žage in eno rezilna orodja za struženje, pehanje ter skobljanje. Pri tem je rezalni del orodja iz enakega materiala kot nosilni del, medtem ko je pri obračalnih ploščicah rezalni del nameščen na nosilne elemente, kot je npr. prikazano na Sliki 85, stran 82. Od hitroreznih jekel zahtevamo visoko trdoto, ustrezno žilavost in obstojnost proti obrabi v vročem stanju.

Danes se uporabljajo kakovostna hitrorezna jekla, ki so izdelana s postopkom sintranja. Zaradi enakomerno porazdeljenih in drobnozrnatih karbidov imajo npr. rezkala izboljšane lastnosti. Orodja iz hitroreznih jekel so običajno oplaščena s prevleko titanovega nitrída (TiN).

Cermeti oziroma kovinska keramika vsebujejo keramične komponente, kot so oksidi, karbidi, nitridi, boridi, karbonitridi in silicidi. Kot vezivo se uporabljajo kovine kobalt (Co), nikelj (Ni) in molibden (Mo).

Zaradi keramičnih faz imajo cermeti dobre uporabne lastnosti, kot so velika trdota in obrabna ter temperaturna obstojnost. Kovinske sestavine, ki povezujejo keramične faze v enoviti material, cermetom zagotavljajo žilavost, odpornost proti temperaturnim udarom ter prevodnost.

Rezalna orodja iz cermetov (Slika 83) so posebno primerna za končno fino obdelavo jekla in litin z velikimi rezalnimi hitrostmi pri majhnih podajanjih in globinah rezanja, kar poveča kakovost in gospodarno obdelavo na sodobnih obdelovalnih strojih.

Karbidne trdine (KT) so cermeti in vsebuje karbide volframa (WC), titana (TiC), tantala (TaC) in kovino kobalt (Co) ali nikelj (Ni) kot vezivo. Zaradi značilnih lastnosti so karbidne trdine uvrščene v posebno skupino materialov (standard ISO 513). Glavni odliki karbidnih trdin sta velika trdota, ki jo obdržijo tudi pri temperaturi nad 1000 °C in odpornost proti obrabi ob sorazmerno ugodni žilavosti.

Karbidne trdine se uporabljajo za izdelavo vseh vrst rezalnih orodij, ki so toplotno močno obremenjena, kot so rezalne ploščice, rezkala in svedri.

Osnovne oblike rezalnih ploščic so kvadratne, trikotne, pravokotne, romboidne, mnogokotne in okrogle. Lahko pa so tudi drugih posebnih oblik, npr. za struženje navojev, zarezovanje in za posebne zahteve (DIN 4987).



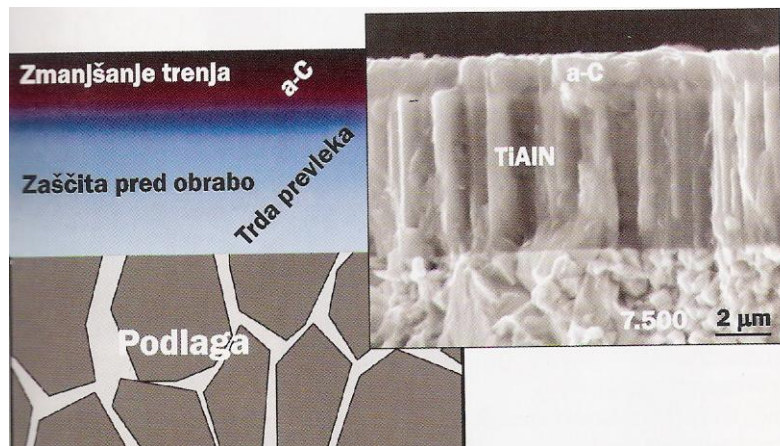
Slika 83: Rezalne ploščice

Vir: <http://global.kyocera.com/news/2008/1202.html> (21. 03. 2011)

<http://www.ngkntk.co.jp/english/product/machine/cermet/index.html> (21. 03. 2011)

Vir: Tehnična keramika 2, 1993, 374

Pri tem naj omenimo, da v določenih primerih prevlečene karbidne trdine pri visoko hitrostni obdelavi režejo bolj učinkovito, če niso hlajene. Rezalni rob orodja se pri visoko hitrostnem rezkanju trdega materiala lahko segreje več kot na 1000 °C. Zaradi velike centrifugalne sile rezkala bo prispelo do kontaktne površine z obdelovancem le malo hladilno-mazalne tekočine, pa še ta se zaradi visoke temperature rezalnega roba večji del upari preden prispe do vroče cone orodja. To pomeni, da »suha obdelava« zahteva spremenjeno geometrijo orodja in ustrezno površinsko prevleko (Slika 84), ki zmanjša trenje in prepreči sprijemanje materiala obdelovanca (Panjan, 2003, 73).



Slika 84: Kombinacija trde prevleke (TiAlN) in tanke plasti trdega maziva (a-c)

Vir: IRT, 2003, 71

Največji napredek v izboljšanju lastnosti karbidnih trdin je bil dosežen s postopki večplastnega oslojevanja ali prekrivanja z nanosi tankih, trdih zaščitnih plasti titanovega karbida (TiC), titanovega nitrida (TiN), titanovega karbonitrida (TiCN), aluminijevega oksida (Al₂O₃) in hafnijevega nitrida (HfN).



Glavne skupine karbidnih trdin, označevanje, uporabnost, priporočila in smernice za pravilno izbiro glede na material obdelovanca ter pogoje obdelave, so podani v strokovni literaturi, npr. Standard ISO 513, Strojnotehnološki priročnik, Krautov strojniški priročnik, prodajni katalogi rezalnih orodij in na spletnem naslovu:

http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/karbidne_trdine.html (14. 02. 2011).

Keramična rezalna orodja (Slika 83 desno) se uporabljajo za grobo in gladilno struženje ter rezkanje jekla in litin.

Izbiramo lahko med *oksidno (bela)* keramiko in *mešano (črna)* keramiko. Oksidna ali bela keramika (oznaka CA), je na osnovi korunda Al_2O_3 s trdoto HV 1800 do 2400. Z dodatkom ZrO_2 se oksidni keramiki izboljšata žilavost in obrabna odpornost.

Med mešano ali črno keramiko (oznaka CM) uvrščamo rezalna orodja iz aluminijevega oksida (Al_2O_3) in neoksidov, kot so dodatki TiN, TiC in WC. Dodatki povečajo korundu toplotno prevodnost in odpornost proti toplotnemu šoku, povečajo trdoto (HV 2100 do 2400) in izboljšajo lomno žilavost (ISCAR katalog, 2004, G237).

Med *neoksidno rezalno keramiko* je »poznana« kubično kristaliziran *borov nitrid (CBN)* in nitridna keramika (oznaka CN) na osnovi čistega *silicijevega nitrída (Si_3N_4)*.

Najtrši in abrazijsko najodpornejši rezalni material, *polikristalinični diamant (PKD)*, se uporablja predvsem za fino končno obdelavo neželeznih kovin in zlitin, kot so npr. baker in bakrove zlitine, cinkove zlitine za litje, titan in titanove zlitine, magnezijeve zlitine, aluminij in aluminijeve zlitine, umetne mase, keramika ipd.

Če konico iz polikristaliničnega diamanta pritrdimo na ploščico iz karbidne trdine, se obstojnost orodja izrazito poveča. Primer uporabe takšnih orodij je obdelava aluminijevih zlitin, ki imajo veliko vsebnost silicija (Panjan, 2003, 75).

Orodje iz polikristaliničnega diamanta pa ni primerno za obdelavi jekel in železovih litin. Zaradi povečane afinitete diamanta (ogljika) do jekla oziroma zaradi difuzijske obrabe postane rezalni rob orodja hitro neuporaben.

Iz omenjenih razlogov se uporablja orodje iz *kubičnega kristaliziranega borovega nitrída (CBN)*. Končna obdelava trdih in težko obdelovalnih materialov, npr. hitroreznih in legiranih kaljenih jekel ter težko obdelovalnih legiranih železovih litin s CBN ploščicami s prevleko iz TiN, lahko nadomesti tudi končno obdelavo z brušenjem, kjer se CBN uporablja kot abrazivno sredstvo.

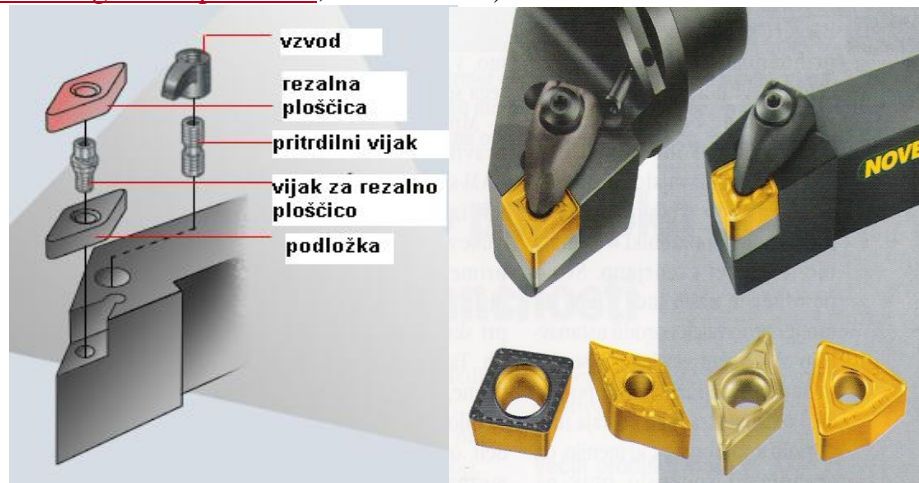
6.1.1 Struženje

Struženje je najbolj razširjen in uporabljen postopek obdelave, predvsem za okrogle obdelovance, lahko pa stružimo tudi druge, neokrogle oblike. Pri struženju se obdelovanec vrti in opravlja glavno gibanje, medtem ko podajalno gibanje opravlja rezalno orodje. Relativno gibanje med obdelovancem in rezalnim orodjem, ki je pogoj za nastanek odrezka, zagotavlja obdelovalni stroj. Glede na zahtevano obliko in kakovost izdelka razlikujemo med notranjim in zunanjim struženjem, vzdolžnim ter prečnim, neokroglim, profilnim, vrtilnim, stružimo pa lahko tudi navoje.

Po standardu DIN 8589 delimo postopke struženja glede na obliko obdelovancev in glede na kinematiko gibanja obdelovanca ter orodja. Tako je npr. pri vzdolžnem struženju, pri obdelavi zunanjih ali notranjih valjastih ploskev, podajalno gibanje vzporedno z osjo obdelovanca. Ravne ploskve stružimo prečno in je podajalno gibanje orodja pravokotno na os obdelovanca.

Za struženje uporabljamo enorezilno orodje, ki ima lahko več rezalnih robov. Pri izmenljivih obračalnih ploščicah se izrabljeni rezalni rob zavrti do naslednjega rezalnega roba, ko so vsi robovi izrabljeni, se ploščico zavrže. Na Sliki 85 (desno) je prikazano enorezilno orodje s pritrjeno obračalno rezalno ploščico.

Rezalno orodje je sestavljeno iz rezalnega dela (rezilo) in držala orodja. Rezalni del orodja je v obliki obračalne rezalne ploščice, ki ima več rezalnih robov in je mehansko pritrjena na držalo orodja. Pritrjevalni sistem mora onemogočiti vse morebitne premike rezalne ploščice (<http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html>, 03. 03. 2011).



Slika 85: Elementi za pritrnitev rezalne ploščice na držalo orodja

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (02. 04. 2011)

Vir: Euroteh, 2005, 81

Držalo orodja povezuje rezalno ploščico z obdelovalnim strojem. Izdelano je iz konstrukcijskega jekla in se sestoji iz nosilca rezila orodja ter ročaja orodja. Ročaji orodja so glede na vrsto obdelovalnega stroja različnih oblik, zato so standardizirani (DIN 4983). Pri stružnicah so običajno pravokotni in valjasti.

Zaradi stabilnosti mora biti rezalna ploščica toga vpeta na držalo orodja. Na Sliki 85 je prikazan primer pritrditve z vzvodom. Pritrjevalni sistem mora onemogočiti vse morebitne premike rezalne ploščice, kar je še posebej pomembno pri grobi obdelavi, kjer nastopajo velike rezalne sile.

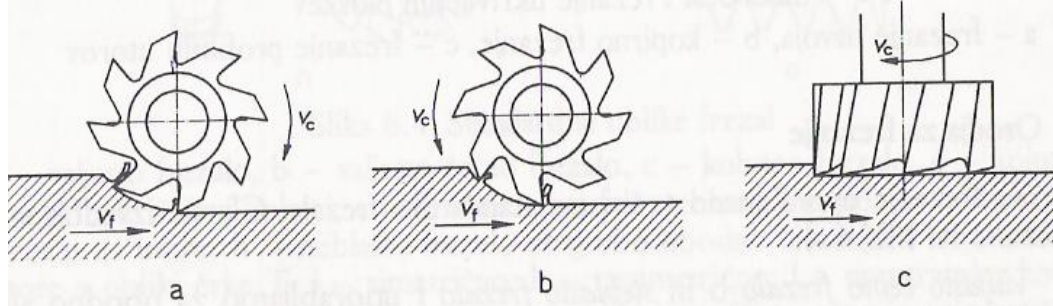
Med enorezilne postopke odrezavanja uvrščamo tudi *skobljanje* in *pehanje* (Slika 77 na strani 74), kjer je glavno gibanje sestavljeno iz premočrtnih delovnih in povratnih gibov. Ker orodje med povratnim gibom običajno ne dela, je postopek časovno negospodaren in ga v sodobni tehnološki proizvodnji nadomešča rezkanje.



Posnetke posameznih postopkov struženja, rezkanja, vrtanja in obdelovalne stroje oziroma CNC obdelovalne centre si oglejte na spletni strani <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (03. 03. 2011).

6.1.2 Rezkanje

Rezkanje je postopek odrezavanja z večrezilnimi orodji in s spremenljivim prerezom odrezka. V tehnološki proizvodnji je poleg struženja najbolj uporabljeni postopek odrezavanja.

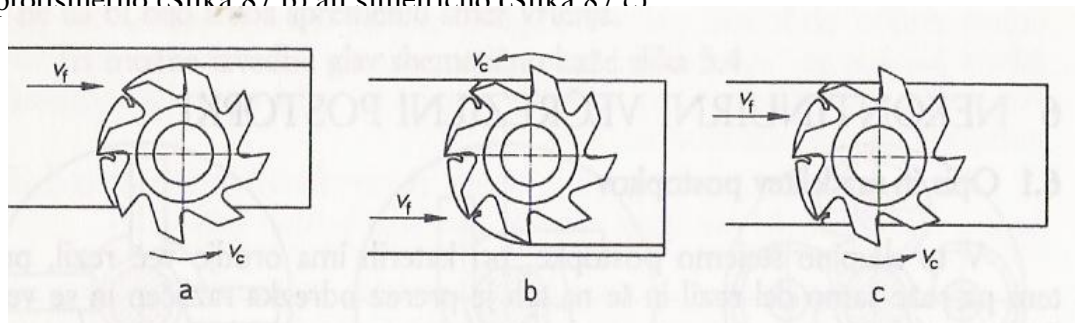


Slika 86: Obodno protismerno (a), obodno istosmerno (b) in čelno (c) rezkanje

Vir: Strojnotehnoški priročnik, 1998, 375

Glavno gibanje je vrtilno in ga vedno opravlja orodje, ki se imenuje *rezkalo*. Podajalna gibanja so lahko različna in so odvisna od izbranega načina rezkanja. Podajalno gibanje (v_f) je mogoče izbrati v treh koordinatnih smereh. Največkrat je premočrtno, lahko pa je tudi vrtilno in ga običajno opravlja obdelovanec, pri nekaterih rezkalnih strojih pa opravlja podajalno gibanje tudi orodje. Lahko sta vključeni tudi dve podajalni gibanji hkrati in je potem eno od gibanj vrtilno. Razlikujemo med *obodnim* (Slika 86 a in b) in *čelnim* rezkanjem (Slika 86 c). Glede na medsebojno gibanje rezkala in obdelovanca je obodno rezkanje lahko *protismerno* (Slika 86 a) in *istosmerno* (Slika 86 b).

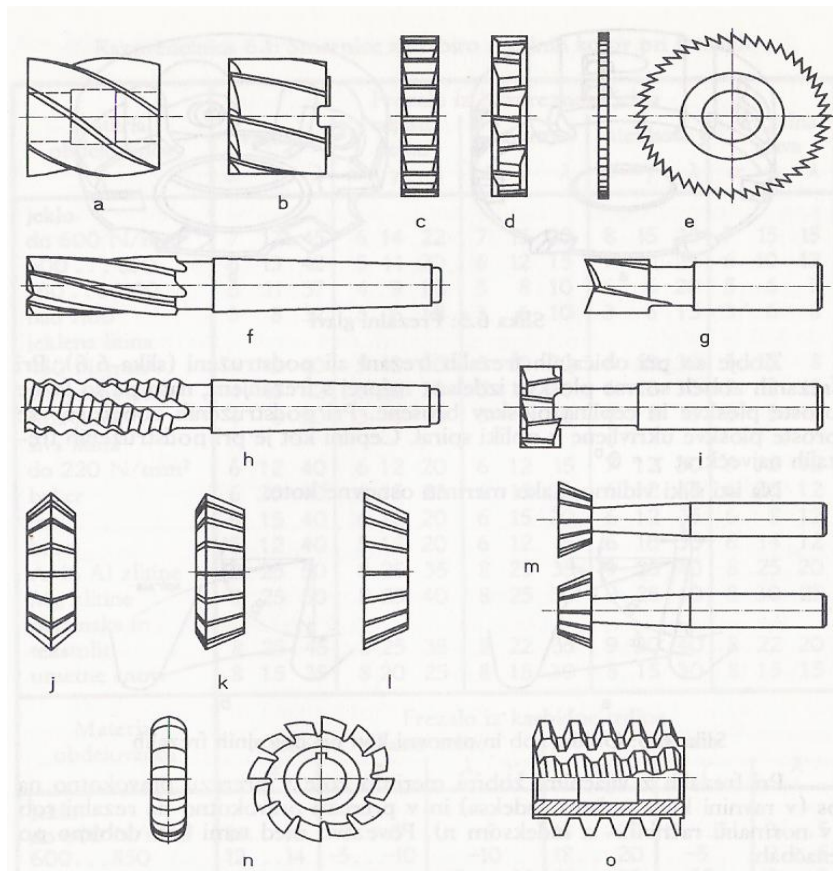
Čelno rezkanje lahko uporabimo samo za ravne ploskve in je prav tako lahko istosmerno (Slika 87 a), protismerno (Slika 87 b) ali simetrično (Slika 87 c)



Slika 87: Čelno rezkanje: istosmerno (a), protismerno (b) in simetrično (c)

Vir: Strojnotehnoški priročnik, 1998, 376

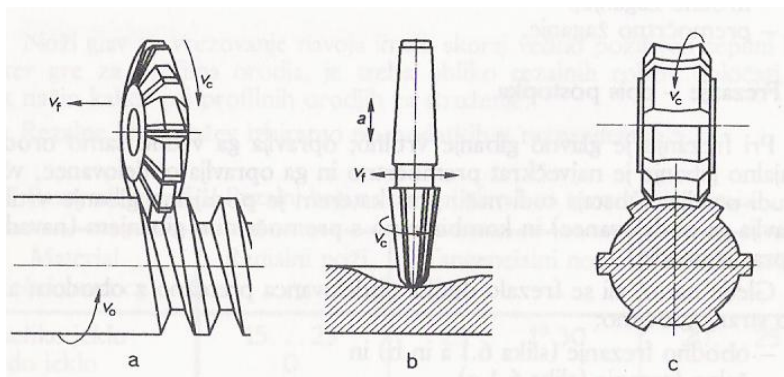
Ker lahko izbiramo med različnimi načini rezkanja in številnimi standardiziranimi orodji, lahko z rezkanjem izdelujemo tudi zapletene oblike obdelovancev. Na splošno so standardizirana orodja nekoliko cenejša od posebnih orodij.



Slika 88: Standardne oblike rezkal

Vir: Strojnotehnološki priručnik, 1998, 377

Na Sliki 88 so prikazane nekatere oblike standardiziranih rezkal in sicer: a – valjasto, b – valjasto čelno, c – kolutno, d – kolutno s križnimi zobmi, e – krožna žaga, f – stebelasto, g – dvorezilno rezkalo za utore, h – stebelasto rezkalo za grobo obodno rezkanje, i – rezkalo za utore v obliki črke T, j – simetrično, k – nesimetrično, l – enostransko kotno rezkalo, m – stebelasto za utore v obliki lastovičjega repa in prizmatičnih utorov, n – profilno konveksno in o – kotalno rezkalo.



Slika 89: Primeri rezkanja ukrivljenih ploskev

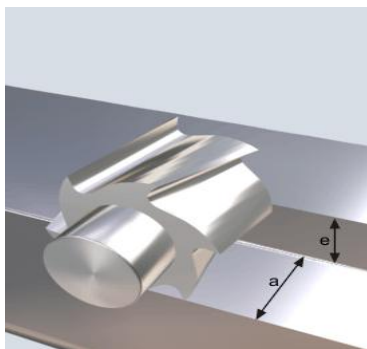
Vir: Strojnotehnološki priručnik, 1998, 376

Za rezkanje velikih ravnih ploskev se uporabljajo različne izvedbe rezkalnih glav z rezili iz karbidnih in oksidnih trdin (Slika 90).



Slika 90: Rezkalni glavi z vstavljenimi rezili

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (30. 03. 2011)



Slika 91: Globina (e) in širina (a) rezkanja

Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (30. 03. 2011)

Izbira najugodnejših obdelovalnih pogojev rezkanja vključuje:

- ✚ rezalno hitrost v_c
- ✚ globina rezkanja a_p
- ✚ podajanje na en zob rezkala f_z
- ✚ število zob rezkala z .

Iz izbranih pogojev nato izračunamo vrtilno frekvenco glavnega vretena n_c , podajalno hitrost v_f pri premočrtnem podajalnem gibanju in vrtilno frekvenco podajalnega gibanja pri okroglem rezkanju.

$$\text{Frekvenco glavnega vretena: } n_c = v_c / \pi d$$

$$\text{Podajalna hitrost pri premočrtnem podajalnem gibanju: } v_f = f_z \cdot z \cdot n_c$$

(22)

$$\text{Vrtilno frekvenco podajalnega gibanja: } n_o = f_z \cdot z \cdot n_c / \pi d_0$$

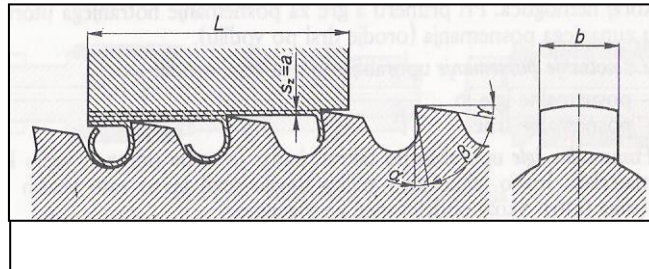
Podajalno hitrost v_f izbiramo glede na:

- ✚ vrsto dela
- ✚ material obdelovanca in material orodja
- ✚ zahtevano kakovost obdelane površine
- ✚ število zob rezkala.

Pri rezkanju se rezalne sile ves čas spreminjajo, ker se med vrtenjem rezkala spreminja tudi prerez odrezka.

Posnemanje je postopek odrezavanja, ki je sicer nekoliko podoben rezkanju in ga lahko uspešno uporabimo namesto skobljanja, pehanja, rezkanja, finega struženja in povrtavanja.

(<http://www2.sts.si/arhiv/tehnoprojekt3/Posnemanje/posnemanje.htm>) (16. 03. 2011)



Slika 92: Osnovni princip posnemanja
Vir: Strojnotehnološki priručnik, 1998, 397

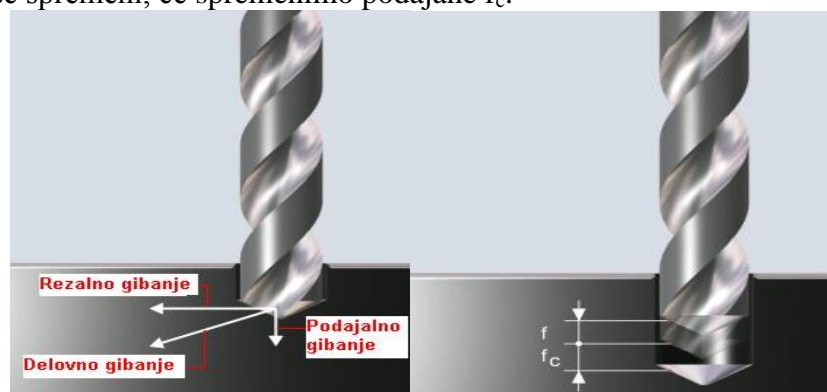
Orodje ima veliko število rezil, vendar reže hkrati samo manjše število rezil. Glavno gibanje je skoraj vedno premočrtno in ga opravlja orodje.

Glede na način posnemanja sta glavni obliki notranje in zunanje posnemanje. Na Sliki 92 je prikazan primer notranjega posnemanja utora, ko hkrati režejo trije zobje.

6.1.3 Vrtanje

Vrtanje je postopek odrezavanja z dvorezilnim orodjem, ki se imenuje *sveder* in izdeluje izvrtino v polni material. Orodje opravlja glavno in podajalno gibanje. Glavno gibanje je vrtenje orodja okrog svoje osi, podajalno gibanje je premočrtno in v smeri osi orodja.

Na stružnici ali vrtalno rezkalnem stroju lahko glavno ali podajalno gibanje opravlja tudi obdelovanec. Podajanje je premik orodja v rez in ga definiramo s podajalno hitrostjo f_c (Slika 93). Debelina odrezkov se spremeni, če spremenimo podajane f_c .

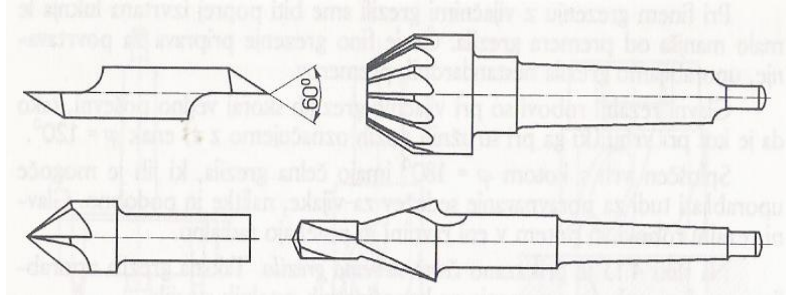


Slika 93: Glavna gibanja orodja in podajalna hitrost f_c pri vrtanju
Vir: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html> (31. 03. 2011)

Pri vrtanju razlikujemo tri osnovne načine dela, in sicer:

- ✚ navadno vrtanje z globino vrtanja do 5 premerov svedra
- ✚ globoko vrtanje za globoke izvrtine
- ✚ vrtanje z jedrom (izrežemo samo ozek zunanji pas izvrtine z jedrom v sredini).

Med postopke odrezavanja za izdelavo izvrtin poleg vrtanja uvrščamo tudi *grezenje* in postopek *povrtavanja*, ki je v bistvu fino grezenje. Grezenje je širjenje že obstoječe izvrtine. Pri tem dosežemo izboljšano kakovost površine in ožje tolerance ali pa izdelamo profilno obliko izvrtine.



Slika 94: Stožčasta grezila

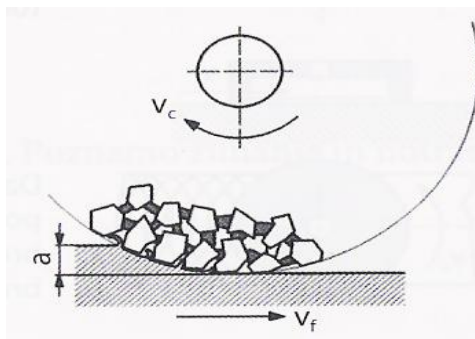
Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 342

Pri obdelavi izvrtin z enorezilnim grezilom uporabimo podobno orodje kot pri notranjem struženju. Pri povrtavanju odrezujemo le tanko plast materiala z namenom, da izboljšamo natančnost in kakovost površine izvrtine. Uporablja se predvsem pri izdelavi preoblikovalnih orodij. Povrtala imajo običajno večje število rezil.

6.1.4 Brušenje

Brušenje je mnogorezilni postopek odrezovanja. Uporablja se za končno fino obdelavo že predhodno obdelanih površin, z orodjem, ki se imenuje brus.

Brusi so izdelani v celem ali pa so sestavljeni iz brusnih segmentov. Rezila brusa so abrazivna zrna, povsem nepravilne naključne oblike in porazdelitve ter povezana z vezivom in dodatki (Slika 95). Na primer, brus s premerom 200 mm in širino 40 mm, ki je sestavljen iz brusnih zrn z zrnatostjo 50, ima na svojem obodu čez 200 000 rezil (Muren, 1995, 460). Kot rezila oziroma brusna zrna se uporabljajo naslednji materiali: *kurund* (Al_2O_3), *silicijev karbid* (SiC), *kubični borov nitrid* (CBN) ali *diamant*. Zaradi velike trdote omenjenih materialov, lahko brusimo vse materiale, ne glede na njihovo trdoto. Tako npr. CBN omogoča brušenje tudi težko obdelovalnih visoko legiranih jekel, s trdoto nad 55 HRC pri rezalni hitrosti do 500 m/s (Krajnik in Kopač, 2004).

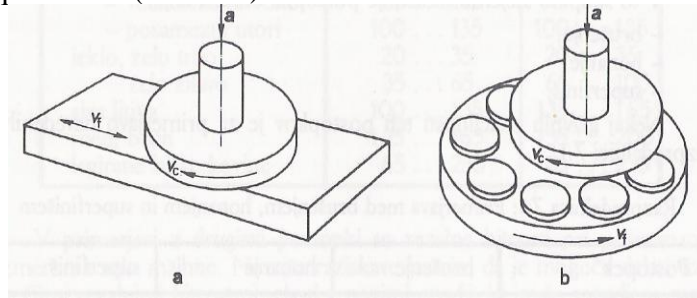


Slika 95: Tvorba odrezkov pri obodnem brušenju

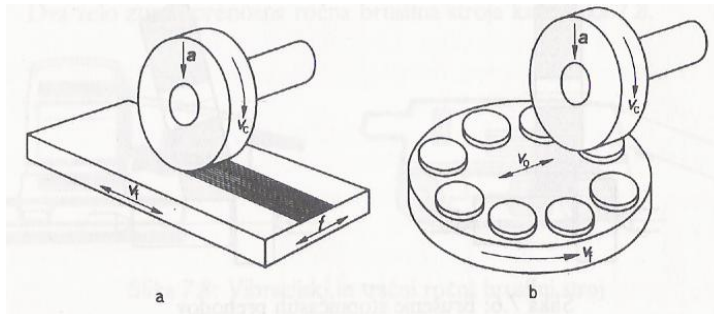
Vir: Odrezavanje in odnašanje, 1995, 460

Osnovni način brušenja (Slika 96) in sicer, brušenje s čelno stranjo brusa (samo za ravne površine) in brušenje z obodom brusa (Slika 97). Pri izbiri ustreznega načina brušenja sta odločilni oblika obdelovanca in zahtevana kakovost brušene površine. Glavno gibanje (v_c)

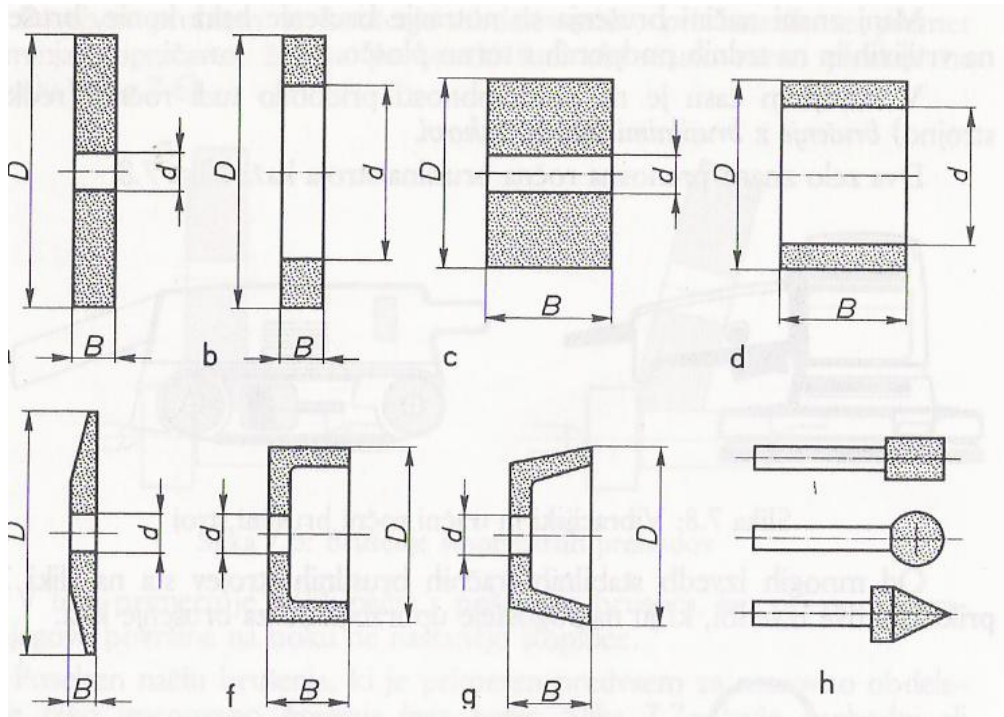
opravlja vedno orodje, podajalno gibanje (v_f) pa obdelovanec ali pa oba hkrati. Podajalno gibanje je lahko premočrtno ali pa vrtilno (Slika 96).



Slika 96: Čelno brušenje ravnih ploskev
Vir: Strojnotehnološki priručnik, 1998, 410



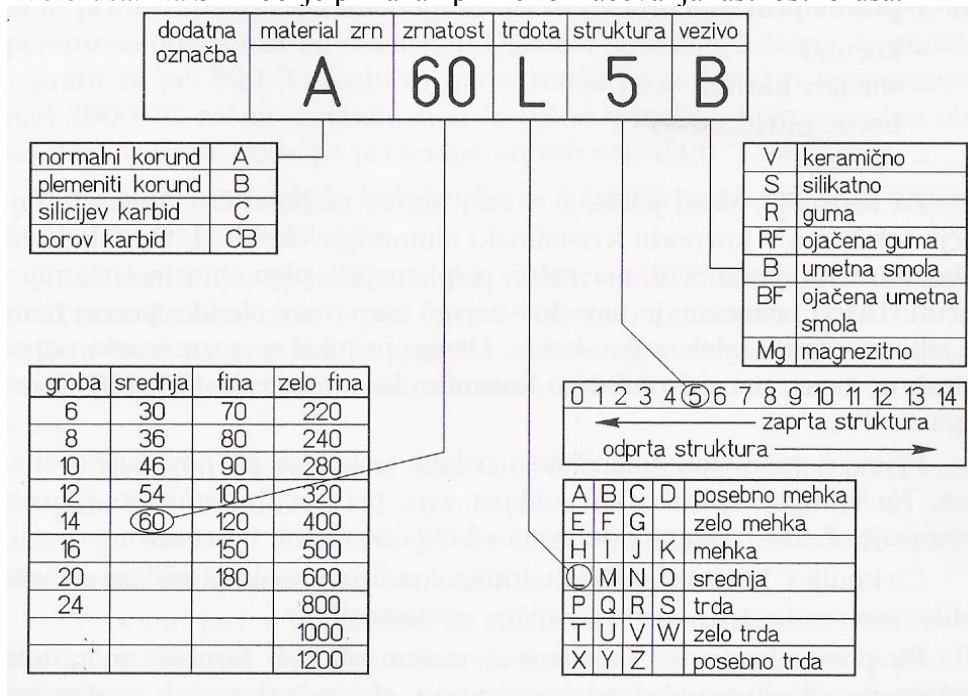
Slika 97: Obodno brušenje ravnih ploskev
Vir: Strojnotehnološki priručnik, 1998, 411



Slika 98: Standardne oblike brusov
Vir: Strojnotehnološki priručnik, 1998, 414

V praksi se uporabljajo predvsem standardne oblike brusov, ki so prikazani na Sliki 98 in sicer: a – kolutni brus, b – prstanasti, c – valjasti, d – obročasti, e – kožnikasti, f in g – skledasti in h – stebelasti.

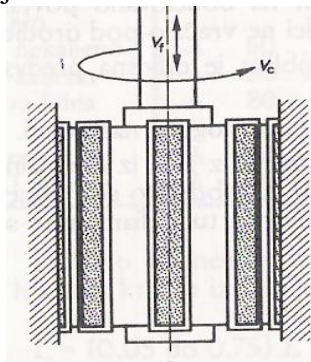
Brusna orodja so označena z nalepko, na kateri so navedeni, npr. material zrn, zrnatost, trdota, struktura in vezivo brusa. Na Sliki 99 je prikazan primer označevanja lastnosti brusa.



Slika 99: Primer označevanje standardiziranih brusov

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 415

Honanje je podobno brušenju in ga skoraj izključno uporabljamo za končno notranjo obdelavo valjev za motorje. Obdelovanec med obdelavo miruje, podajalno gibanje opravlja vedno orodje in je premočrtno, naprej in nazaj. Posebnost je križna oblika sledov obdelave na obdelani površini, ki je zelo ugodna za dobro mazanje valjev.



Slika 100: Osnovni princip honanja

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 429

V avtomobilski industriji je pomembno dvofazno platojsko honanje valjev, kjer najprej z diamantnim orodjem z veliko zrnatostjo, npr. D150 obdelamo izvrtino na mero, nato pa z orodjem z zrnatostjo 280 posnamemo samo vrhove hrapavosti (Strojnotehnološki priročnik, 1998, 430).

Na honanje ima velik vpliv hladilno-mazalna tekočina, ki odplavlja tudi nastale odrezke. Posebno obliko finega honanja imenujemo tudi „superfinaš“ oziroma *kratkogibno* honanje. Uporabljamo ga predvsem za najfinejšo obdelavo zunanjih valjastih ploskev, npr. za dele gredi, ki se vrtijo v ležajih, pa tudi za ravne ploskve.

Na tem mestu naj omenim še tako imenovane postopke odrezavanja z *nevezanim orodjem*. Odrezki nastajajo na ostrih robovih abrazivnih zrn naključne oblike, podobno kakor pri brušenju. Osnovna značilnost postopkov z nevezanim orodjem je, da abrazivna zrna med seboj niso povezana, ampak so vodena s curkom zraka ali z nosilno ploskvijo. V skupino postopkov z nevezanim orodjem uvrščamo:

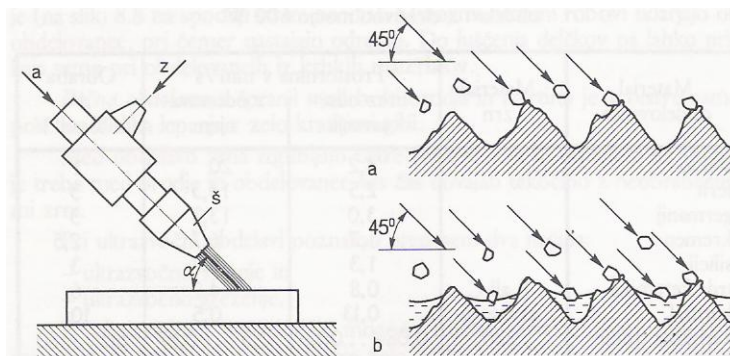
- ✚ lepanje
- ✚ poliranje
- ✚ ultrazvočno obdelavo
- ✚ peskanje
- ✚ lepanje s peščenim curkom
- ✚ obdelavo v bobnih.

Lepanje je postopek najfinejše obdelave za doseg izredno kakovostne površine (hrapavost pod $0,05 \mu\text{m}$) in natančne oblike $\pm 0,2 \mu\text{m}$. Uporablja se za ravne, valjaste in krogelne ploskve. Drobna zrna, nepravilnih oblik so porazdeljena v tekočini ali pasti in so nanesena na nosilec ali kalup. Orodje za lepanje so zrna silicijevega karbida, korunda ali umetnega diamanta. Glede na grobo ali fino obdelavo moramo poleg ustrezne velikosti zrn upoštevati še pritisk in hitrost obdelave, da preprečimo pregrevanje (Strojnotehnološki priročnik, 1998, 441).

Poliranje je postopek ročne obdelave za doseg površinskega sijaja. Polirno pasto sestavljajo drobna brusna zrna in voski ali različne maščobe kot vezivo.

Obdelava s *peskanjem* je način obdelave, pri katerem abrazivna zrna brusilnega materiala, ki so pomešana s curkom zraka ali tekočine udarjajo ob površino obdelovanca. Na ta način lahko npr. pri ulitkih ali odkovkih očistimo površino in zmanjšamo ali povečamo hrapavost, npr. pred kromanjem ali nikljanjem površine. Curek, ki je proti površini obdelovanca usmerjen pod kotom 45° dobimo tako, da v šobo (š) dovajamo zrak (a) pod tlakom in abrazivna zrna ali mešanico zrn ter tekočine (z).

Pri gladkih površinah se zrna zadirajo v površino in hrapavost povečajo, medtem ko pri hrapavi površini obdelovanca zrna udarjajo ob vrhove hrapavosti. Na ta način s svojimi ostrimi robovi z vrhov odrezujejo drobne delčke in zmanjšajo in hrapavost.



Slika 101: Obdelava površine s curkom abrazivnih zrn

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 446

Postopek *glajenja v bobnih* uporabljamo za čiščenje površine oziroma za posnemanje ostrih robov, ki so posledica predhodnega izdelovalnega postopka, npr. struženja ali štancanja. Postopek je primeren za velikoserijsko proizvodnjo, kjer se na ta način površina očisti in pripravi za nadaljno protikorozijsko zaščito.

6.2 ODNAŠANJE MATERIALA

Pri postopkih obdelave z odnašanjem materiala spremenimo obliko in dimenzijo obdelovanca z neposrednim delovanjem energije in ne z orodjem v obliki klina. Uporabljena energija deluje neposredno na površino obdelovanca in odnaša delce materiala. Energija je lahko v obliki:

- ✚ električne energije (obdelava z elektroerozijo)
- ✚ mehanske energije (rezanje z vodnim curkom)
- ✚ toplotno kemične energije (plamensko, plazemsko rezanje)
- ✚ svetlobne energije (lasersko rezanje).

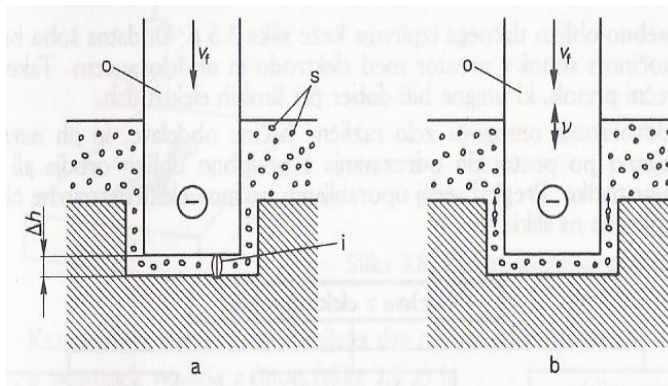
Glavne prednosti postopkov obdelave z odnašanjem materiala so:

- ✚ možnost izdelave zelo zapletenih oblik, tudi na tankih obdelovancih
- ✚ odsotnost notranjih napetosti zaradi obdelave
- ✚ uporabimo lahko mehansko, električno, kemično ali toplotno energijo.

6.2.1 Elektroerozijska obdelava

Elektroerozijska obdelava, oziroma obdelava z iskrenjem je med vsemi postopki odnašanja materiala najbolj pomembna in razširjena v tehnološki proizvodnji, čeprav jo že pogosto nadomešča visokohitrostna obdelava. Na splošno se v orodjarstvu običajno kombinirajo postopki odrezavanja s postopki elektroerozijske obdelave.

Pri elektroerozijskem postopku sta obdelovanec in orodje spojena z virom električne energije ter predstavljata elektrodi, med katerima poteka proces razelektritve skozi dielektrik v katerega sta potopljena. Razelektritev v obliki iskre je fizikalni pojav, ki poteka v več fazah. Pri tem prihaja do odnašanja tako obdelovanca kakor tudi orodja oziroma elektrode. Na obdelovancu je odnašanje zaželeno, medtem ko je na drugi elektrodi, ki je orodje, nezaželeno in naj bo čim manjše. Material orodja – elektrode je baker oziroma grafit. Načrtovanje in modeliranje elektrod je avtomatizirano, kar občutno skrajša čase izdelave elektrode in poveča zanesljivost pri obdelavi.



Slika 102: Obdelava z elektroerozijo

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 459

Na Sliki 102 je prikazan osnovni princip obdelave z elektroerozijo. Orodje elektroda (o) se pomika navzdol proti obdelovancu s podajalno hitrostjo v_f , vendar pri tem ostaja vedno v delovni razdalji $\Delta h = 0,01$ do $0,2$ mm. Na mestu, kjer je razdalja najmanjša (zaradi neravnosti površin), preskoči iskra, ki povzroči uparjanje delčka materiala obdelovanca. Zaradi hladilnega učinka dielektrične tekočine se erodirani material hitro kondenzira in se odvaja v obliki drobnih delcev z dielektrično tekočino (mineralna ali sintetična olja).

Z nihanjem orodja elektrode in z dodatnim izpiranjem preprečujemo kratek stik med orodjem in obdelovancem. Orodje niha s frekvenco 50 Hz. Zaradi nihanja orodja nastane v dielektrični tekočini gibanje, ki omogoča hitrejšo izmenjavo dielektrične tekočine oziroma odvajanje delcev obdelovanca.

Pomembne vplivne količine, ki vplivajo na kakovost obdelane površine, produktivnost in obrabo orodja so:

- ✚ jakost toka
- ✚ trajanje impulza
- ✚ frekvenca impulzov.

Pri večji *jakosti toka* se sicer odnašanje materiala obdelovanca poveča, vendar se povečata tudi hrapavost površine in obraba orodja.

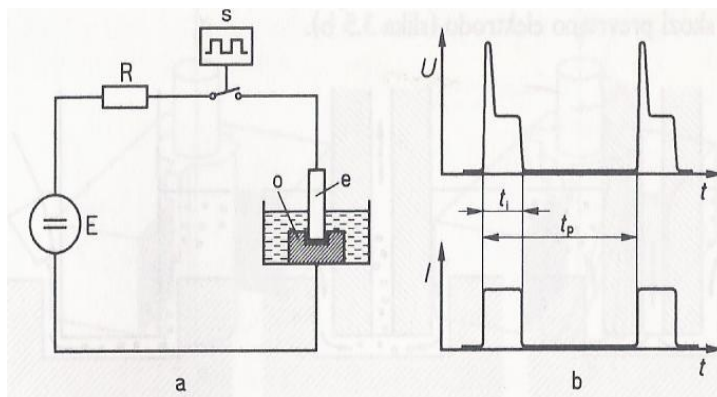
Pri *kratkih razelektritvah* je odnašanje materiala večje na pozitivni elektrodi, zato naj bo orodje negativna elektroda in obratno. Pri daljših impulzih je večje odnašanje na negativni elektrodi, kar pomeni, da naj bo orodje pozitivna elektroda. Pri vsaki razelektritvi ostane na obdelovancu majhen krater. Zato imajo površine, obdelane z elektroerozijsko obdelavo, hrapavo, kotanjasto površino. Vsekakor pa lahko na hrapavost oziroma na kakovost površine vplivamo z nastavitvijo, npr. pri majhni energiji razelektritve so površine gladke, podaljša pa se čas obdelave.

Tabela 2: Vpliv spreminjanja fizikalnih količin na rezultate elektroerozijske obdelave

FIZIKALNE KOLIČINE	HRAPAVOST POVRŠINE	OBRABA ORODJA	ODNAŠANJE MATERIALA
povečanje jakosti toka	naraščanje	naraščanje	naraščanje
podaljšanje trajanje impulza	zmanjševanje	zmanjševanje	vmesno
zmanjšanje frekvence	nespremenljivo	naraščanje	zmanjševanje

Vir: Prirejeno po Strojnotehnološki priročnik, 1998, 457

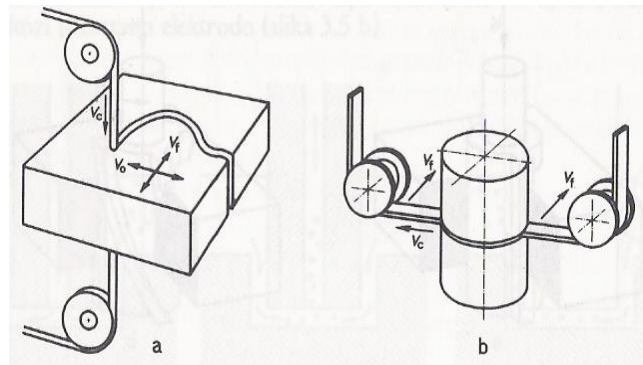
Iz zgoraj omenjenega lahko ugotovimo, da na kakovost elektroerozijske obdelave lahko vplivamo z obliko impulza, kar nam omogočajo impulzni generatorji. Slika 103 je prikazuje shemo impulznega generatorja, kjer delo neposredno krmili elektronsko prekinjalo (s). Na ta način lahko spreminjamo jakost razelektritve, trajanje in frekvenco impulza.



Slika 103: Shema impulznega generatorja

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1998, 459

Pri *žični elektroeroziji* je orodje oz. elektroda tanka žica. Med žico in obdelovancem je vmesni prostor, skozi katerega preskakujejo iskre. Numerično krmiljeni stroji omogočajo rezanje po poljubno oblikovani krivulji.



Slika 104: Elektroerozijsko rezanje z žico (a) in s trakom (b)

Vir: Strojnotehnoški priročnik, 1998, 462



Stroje za žično in potopno erozijo si lahko ogledate na spletni strani

http://www.mb-naklo.si/ponudba_stroji_agieCharmilles.php

Prednosti rezanja z žično erozijo in uporabo (tudi na geometrijsko zahtevnih modelih) si oglejte na spletni strani

http://www.kovikor.si/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=42 (02. 04. 2011)

http://www.solidcam.si/solidcam_edm.aspx (20. 04. 2011)

http://prorackon.si/documents/cnc_zicna.html (02. 04. 2011)

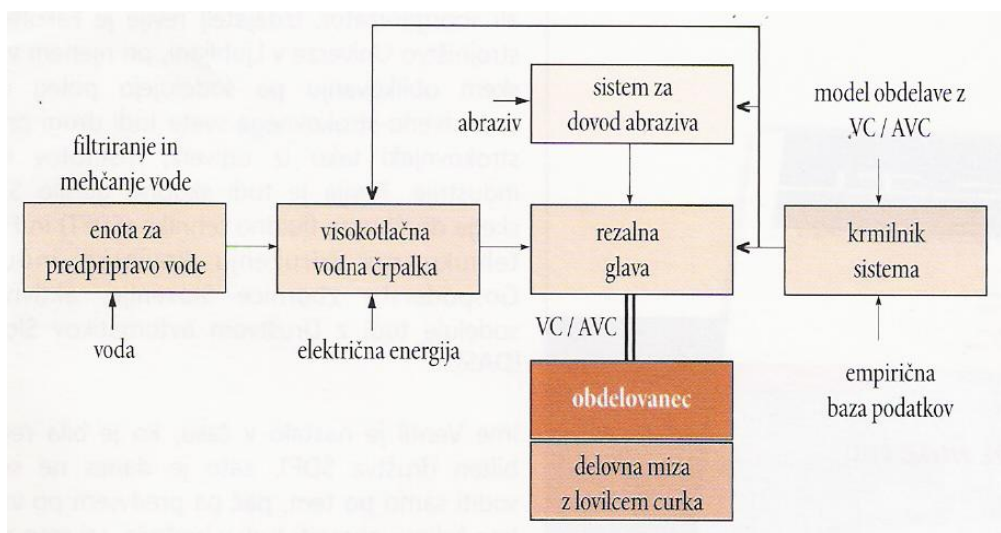
http://www.mikron.si/prod_excetek.html (02. 04. 2011)



6.2.2 Rezanje z abrazivnim vodnim curkom – AVC (Abrasive Water Jet Cut-AWJ)

Medtem ko ima vodni curek dokaj omejeno področje uporabe (čiščenje, odstranjevanje barv in rje, rezanje mehkejših materialov ipd.) lahko z abrazivnim vodnim curkom režemo skoraj vsak material (razen kaljenega stekla), ne glede na njegove mehanske lastnosti, različnih debelin in trdot. To so jekla, neželezne kovine in zlitine, umetne mase, guma, kompoziti, les, kamen, marmor, steklo ter keramiko. Postopek se uporablja na področjih maloserijske in velikoserijske proizvodnje posebno tam, kjer je nujna hitra prilagodljivost orodja za rezanje 2D oblik. Na tržišču so že večsni stroji, ki omogočajo rezanje zapletenih oblik. Postopek je prilagodljiv, hiter, natančen in tudi uporabniku prijazen.

Postopek *rezanja z vodnim curkom* je obdelava z neposrednim delovanjem mehanske energije. "Orodje" je visokohitrostni curek vode z dodanim abrazivom, ki z veliko hitrostjo udarja na površino materiala in deluje kot vodna erozija (Sliki 105 in 106).



Slika 105: Shema sistema za obdelavo z abrazivnim vodnim curkom

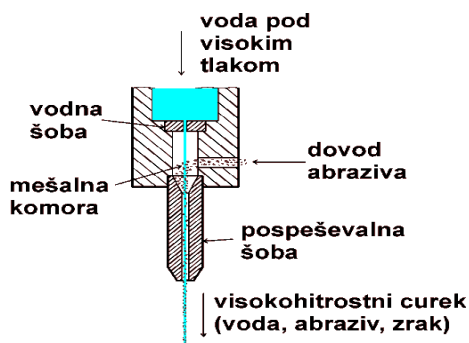
Vir: IRT, 2006, 81

Sistem za rezanje z abrazivnim vodnim curkom sestavljajo:

- ✚ visokotlačna vodna črpalka
- ✚ rezalna glava
- ✚ sistem za dovod in doziranje abraziva
- ✚ delovna miza
- ✚ lovilce curka po obdelavi
- ✚ krmilni sistem.

Z visokotlačno črpalko se tlak vode dvigne, odvisno od uporabe, do 400 MPa. Rezalna glava je sestavljena iz vodne šobe, mešalne komore in pospeševalne (fokusirane) šobe, ki je nameščena pod mešalno komoro. Visokohitrostni curek vode z abrazivom in zrakom nastane v mešalni komori rezalne glave in predstavlja orodje (Slika 106).

V fokusirani šobi se abrazivni delci pospešijo do hitrosti, ki omogoča odnašanje materiala obdelovanca. Obdelovanec je običajno vpet na delovno mizo, podajalno gibanje opravlja rezalna glava.



Slika 106: Shema rezalne glave

Vir: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Nekonvencionalni%20mehanski%20postopki%20obdelave%20-%20Prvi%20del.pdf> (31. 03. 2011)



Slika 107: Stroj za rezanje z abrazivnim vodnim curkom

Vir: IRT, 2006, 90

Celoten sistem za obdelavo je računalniško krmiljen in nastavlja optimalne obdelovalne pogoje, kot so podajalna hitrost, tlak vode, masni tok abraziva ipd.

Razvojna prizadevanja so v smeri zmogljivejših sistemov s črpalkami, ki bi zagotovile tlak do 6000 barov in bi bilo rezanje možno samo z vodo.

Na obdelovancu po končanem rezanju ni toplotno prizadetega območja. Površina reza je lahko groba ali gladka, odvisno od hitrosti rezanja. Postopek se uporablja tudi v maloserijski proizvodnji, ker omogoča rezanje in izrezovanje poljubnih, najzahtevnejših dvodimenzionalnih oblik.

Z ekološkega vidika je postopek rezanja z abrazivnim vodnim curkom prijazen do okolja, saj uporablja le materiale naravnega izvora, kot sta voda in abrazivni pesek.



Slika 108: Rezanje z vodnim curkom

Vir: <http://www.informacija.net/razrez-abrazivni-vodni-curek> (31. 03. 2011)



Predstavitev rezanja z abrazivnim vodnim curkom (AVC) si oglejte na spletni strani

<http://www.xrez.si/?viewPage=99>

<http://vodnirez.virtek.si/>

6.2.3 Toplotno kemična obdelava

V industrijski proizvodnji se postopek plamenskega oziroma avtogenega rezanja še vedno veliko uporablja, predvsem pri razrezu in pripravi materiala za nadaljnjo obdelavo z odrezavanjem ali pred varjenjem za pripravo zvarnih robov.

Za ločevanje materiala se uporablja toplotna energija kemične reakcije pri zgorevanju plina. Visoka temperatura povzroči nadaljno oksidacijo materiala obdelovanca z dodatnim kisikom in taljenje. Curek plina iz gorilnika izpihuje nastalo talino iz zareze.

Pri oksidaciji nastali oksidi morajo imeti nižje tališče od obdelovanca. Iz teh razlogov za plamensko rezanje niso primerni aluminij in aluminijeve zlitine, ker je tališče aluminija pri temperaturi 660°C , tališče aluminijevega oksida (Al_2O_3) pa 2050°C . Najprimernejši material za plamensko rezanje je konstrukcijsko malo ogljično jeklo, debeline 5 do 300 mm oziroma do 600 mm, glede na izvedbo gorilnika.

Za plamensko rezanje se poleg kisika najpogosteje uporabljajo plini, kot so acetilen, propan-butan plin ali zemeljski plin. Gorilniki za strojno plamensko rezanje imajo sistem za interno hlajenje.

Novejši rezalniki za plamensko rezanje so računalniško vodeni in omogočajo veliko produktivnost ter ponovljivost (Standard EN 28 206). Razvoj in visoka stopnja avtomatizacije na področju upravljanja strojev za rezanje morata slediti strogim zakonskim predpisom glede zaščite okolja in delavca na delovnem mestu (Orban J., 2008).



Slika 109: CNC rezalnik za avtogeno in plazemsko rezanje
Vir: Varilna tehnika, 2009, 24

6.2.4 Elektrokemična obdelava

Elektrokemično odnašanje je postopek obdelave, pri katerem se kovinski material raztaplja v elektrolitski raztopini zaradi delovanja električnega toka z zunanjim ali brez zunanjega izvora električne energije.

Postopke elektrokemičnega odnašanja lahko razdelimo v dve osnovni skupini in sicer:

- ✚ postopki oblikovanja
- ✚ postopki površinskega odnašanja materiala.

Značilnost *elektrokemičnega oblikovanja* (*grezenje, vrtanje, struženje, rezkanje*) je brez dotična obdelava med elektrodo – orodjem in obdelovancem. Do odnašanja prihaja v vmesnem prostoru med orodjem in površino obdelovanca. Postopek je gospodaren le v primerih, ko obdelava z drugimi postopki ni možna. V tehnološki praksi, posebno v orodjarstvu, ima prednost elektroerozijska obdelava. V primerjavi z elektroerozivno obdelavo pa ima elektrokemično oblikovanje določene prednosti, kot so npr. elektroda oziroma orodje se ne obrablja, površina obdelovanca ni izpostavljena toplotnim obremenitvam, zato ni mikrostrukturnih sprememb in v večini primerov je obdelava hitrejša kakor z elektroerozijo.

Elektrokemično poliranje v kopeli uvrščamo med postopke *elektrokemičnega površinskega odnašanja*, ki ga uporabljamo za zglajevanje in poliranje površin ter za odstranjevanje nezaželenih površinskih plasti v mikro in makro področju (Strojnotehnološki priročnik, 1998, 474).

6.2.5 Obdelava z žarki

Pri obdelavi materiala z *elektronskim snopom* se močno koncentrirana kinetična energija žarka ob dotiku z obdelovancem spremeni v toploto. Zaradi visoke temperature se material obdelovanca raztali in delno uparja. Ker imajo žarki obliko stožca, izvrtine nimajo vseskozi enak premer (0,01 do 0,1 mm, globine 2 mm).

Elektronski žarki se za obdelavo z odvzemanjem materiala nekoliko manj uporabljajo, saj se glede na izvedbo naprave mora obdelovanec nahajati v vakuumu, kar je lahko ovira pri običajnem delu.

V primerjavi z obdelavo z elektronskim žarkom je *lasersko rezanje* v industrijski proizvodnji standardni postopek. Lasersko rezanje je primerno za razrez tankih pločevin in tudi debelejših materialov do 25 mm. Pri tem je toplotno vplivano področje na robu reza 0,10 do 0,20 mm.

Preden zaključimo s postopki odrezavanja in odnašanja materiala, moramo omenimo še *mikroobdelavo*, ki nam omogoča odvzemanje materiala pri izdelavi majhnih in natančno izdelanih „mikro“ sestavnih elementov, mikroorodij zrcalno gladkih površin, brez zareznihi učinkov.

To so postopki mikrorezkanja, mikrostruženja, mikroelektroerozije, obdelava z laserjem ali z elektronskim curkom in obdelava s *fokusiranim ionskim curkom*.

Od navedenih postopkov nam obdelava s fokusiranim ionskim curkom (Focussed Ion Beam-FIB) omogoča najnatančnejšo obdelavo odvzemanja različnih materialov, npr. kovine ali zlitine, keramike, umetne mase.

Premer fokusiranega ionskega curka znaša 5 nm do nekaj mikrometrov, kar pomeni, da lahko odstranjujemo material na točno določenem mestu. Tako je npr. pri izdelavi mikroizvrtin odstranjevanje materiala posledica fizikalnega razprševanja, ko se kinetična energija vpadnega ionskega curka prenese na površinske atome obdelovanca.

Fokusirani ionski curek omogoča mikroobdelavo z odvzemanjem in nanašanjem materiala, predvsem na področju mikroelektronike, ali pri izdelavi mikroorodij oziroma pri ostrenju zelo tankih konic.

Fokusirani ionski curek pa lahko uporabimo tudi za nanašanje materiala na podlago. V tem primeru se na mesto delovanja ionskega curka dovaja tudi plin, ki vsebuje element za nanos. Ionski curk namreč povzroči razkroj plinskih molekul, ki se absorbirajo na površino materiala. Postopek se imenuje nanašanje prevlek z ionskim curkom FIB-CVD (Zupanič, 2009, 40).

Povzetek

Postopki *ločevanja* so v tehnološki proizvodnji pomembni izdelovalni postopki in imajo tudi velik gospodarski pomen. Razlikujemo med postopki *odrezavanja* in postopki *odnašanja*.

Odrezavanje je postopek obdelave, ki omogoča zelo natančno obliko izdelkov in ustrezno kakovost obdelane površine. Zahtevano obliko obdelovanca dosežemo tako, da od začetnega kosa oziroma surovca z orodjem v obliki klina odvezamo del materiala v obliki *odrezkov*.

V avtomatizirani tehnološki proizvodnji so najpomembnejši postopki odrezavanja struženje, rezkanje, vrtanje in brušenje, ki potekajo na visokoproduktivnih CNC obdelovalnih strojih oziroma obdelovalnih centrih.

CNC stroj je sestavljen iz mehanskega dela, na katerem poteka obdelava, in CNC krmilja, ki obdelavo krmili.

Na izbiro postopka odrezavanja vplivajo:

- ✚ zahtevana geometrijska oblika obdelovanca
- ✚ natančnost obdelave
- ✚ kakovost obdelane površine
- ✚ vrsta materiala obdelovanca, mehanske lastnosti
- ✚ ekonomičnost obdelave.

Sposobnost materiala za odrezavanje se ocenjuje z obdelovalnostjo. Pri tem so najpomembnejši kriteriji *hrapavost* obdelane površine, *obraba* in *obstojnost* rezalnega orodja, velikost *rezalnih sil* ter *oblika odrezkov*.

Na obdelovalnost vplivajo vrsta materiala in lastnosti obdelovanca, obdelovalni pogoji, vključno z vrsto in geometrijo uporabljenega orodja.

Rezalna orodja razlikujemo glede na:

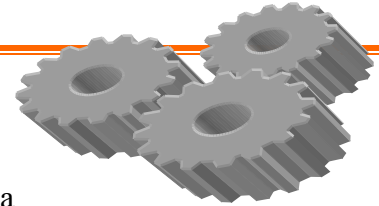
- ✚ geometrijsko obliko in število rezil (enorezilna, dvo in večrezilna)
- ✚ vrsto materiala, iz katerega so izdelana
- ✚ vrsto trde prevleke.

Pri postopkih *odnašanja* ne uporabljamo orodja v obliki klina, ampak energijo, ki je lahko mehanska, električna, kemična, toplotno kemična ali energija žarkov.

Elektroerozijska obdelava je med vsemi postopki odnašanja materiala najbolj pomembna in razširjena v tehnološki proizvodnji, predvsem v orodjarstvu in v primerih izdelave majhnih zavrtih izvrtin, čeprav jo že pogosto nadomešča *visoko hitrostna obdelava*

Postopek *rezanja z vodnim curkom* je obdelava z neposrednim delovanjem mehanske energije. Uporablja se za rezanje skoraj vseh materialov (razen kaljenega stekla), različnih debelin in trdote, tako na področjih maloserijske in velikoserijske proizvodnje.

Od postopkov *toplotno kemične obdelave* se v tehnološki praksi uporabljajo postopki rezanja, in sicer: plamensko rezanje, rezanje s plazmo in lasersko rezanje.



Vprašanja za preverjanje razumevanja

Razmislite, s katerimi ukrepi bi izboljšali obdelovalnost slabo obdelovalnemu materialu.

Navedite prednosti večslojno oplasčenih rezalnih orodij.

Pri struženju ulitkov iz aluminijeve zlitine AlSi12CuNiMg se je pojavila nepričakovana obraba rezalnega orodja, čeprav so bili obdelovalni pogoji, vrsta in geometrija orodja ustrezno izbrani. Razmislite, kaj bi po vaši presoji lahko bil vzrok za poslabšano obdelovalnost zlitine.

Razmislite in odgovorite kako in zakaj geometrija rezalnega orodja vpliva na kakovost obdelane površine.

Razmislite in pojasnite, zakaj so toplotne obremenitve rezalnih orodij pri obdelavi titanovih zlitin lahko problematične.

Katere prednosti, po vaši presoji, prinaša razvoj visokotlačnih črpalk do 6000 barov .

Vir: http://www2.sts.si/arhiv/tehn/projekt3/Alternativa/obdelava_z_elektronskim_snopom.htm

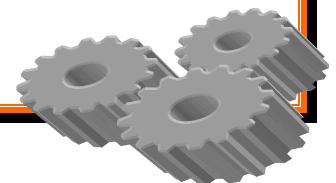
Izberite ustrezno vrsto rezalnega orodja za struženje jeklenega izdelka, trdote 59 HRC.

Razmislite in pojasnite, zakaj se na primer pri slabo obdelovalnih materialih, kakor tudi pri obdelavi nerjavnega jekla in aluminijevih zlitin, pojavi lepljenja materiala obdelovanca na orodje.

Izračunajte vrtilno frekvenco n , pri vrtanju z vijačnim svedrom premera $d = 5$ mm, če je material obdelovanca legirano jeklo ($R_m = 1100 \text{ N/mm}^2$).

Uporabite Strojnotehnološki priročnik, 1998, str. 354–355 in spletno stran

<http://www.mdm2000.si/sl/vrtanje>



7 POVRŠINSKE PREVLEKE

Uvod v poglavje

Številni izdelki, orodja, predmeti za vsesplošno uporabo, strojni in konstrukcijski sestavni deli so izpostavljeni mehanskim, toplotnim, kemičnim in elektrokemičnim vplivom okolice. Vsi ti vplivni dejavniki lahko skrajšujejo njihovo življenjsko dobo oziroma uporabnost, vplivajo na ceno izdelkov in povzročajo gospodarsko škodo. Zato je potrebno, že pri načrtovanju in konstruiranju izdelka, izbrati ustrezn material ter predlagati ustrezno površinsko prevleko oziroma zaščito.

Za proti korozijski zaščito kovinskih površin lahko izbiramo med različnimi postopki nanašanja nekovinskih in kovinskih prevlek, kot so npr:

- ✚ barvanje
- ✚ mokro ali prašno lakiranje
- ✚ emajliranje
- ✚ nanos umetne mase,
- ✚ potapljanje kovinskih predmetov v raztaljeno kovino
- ✚ metaliziranje
- ✚ galvanizacija.

Slabost zgoraj omenjenih postopkov je predvsem v tem, da prevleka ni obrabno oziroma mehansko odporna, zato se hitreje poškoduje in takrat nastopijo pogoji za napredovanje lokalne korozije.

Pri *barvanju* se kovinska površina najprej zaščiti z osnovnim, nato pa s prekrivnim premazom. Za dele, ki so izpostavljeni višjim temperaturam, zaščita z barvanjem ni primerna, zato lahko v takih primerih izberemo *emajliranje*. Vendar je slabost emajliranih prevlek krhkost in neodpornost proti udarcem. Emajli so prevleke anorganskega izvora z visokim tališčem. Glavne sestavine so oksidi, kot so npr. Al_2O_3 , MgO , SiO_2 itd. z dodatki talil. Nanosu emajla na površino očiščenega izdelka z brizganjem ali potapljanjem sledi žarjenje v pečeh pri temperaturi do $900\text{ }^\circ\text{C}$ in nato ohlajanje. Emajli so lahko prozorni ali neprozorni.

Za zaščitne nekovinske prevleke na osnovi umetnih mas se v glavnem uporabljajo termoplasti v obliki prahu, kot so npr. polietilen, polivinilklorid in poliamidi

http://www.imp-ta.si/prasno_in_mokro_lakiranje.php (30. 03. 2011).

Pri nanosu kovinskih zaščitnih prevlek uporabljamo postopek potapljanja, metaliziranja ali pa galvanizacije.

S postopkom *potapljanja* kovinskih predmetov v kopal raztaljene kovine z nizkim tališčem zaščitimo predvsem jeklene izdelke pred korozijo. Za jeklene polizdelke in izdelke se pogosto uporablja postopek pocinkanja

Na spletnem naslovu si oglejte postopek vročega pocinkanja

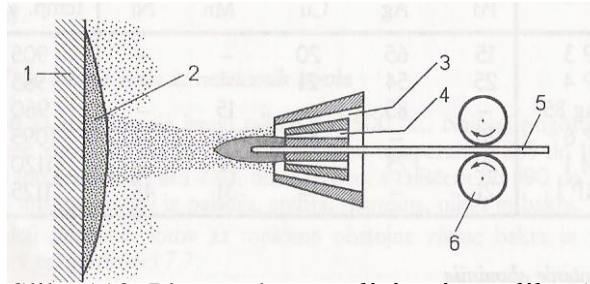
<http://www.chinks.si/index.php/vroce-cinkanje.html?lang=> (30. 03. 2011)

Nizko tališče ima tudi kositer ($232\text{ }^\circ\text{C}$). Bela ali pokositrena pločevina se uporablja za izdelavo pločevink v prehrabeni industriji.

Metaliziranje uporabljamo za zaščito površine proti koroziji in pri popravilih delno obrabljenih delov, npr. različnih orodij, lopatic mešalcev, bate kompresorjev ipd.

Pri postopku *metaliziranja* nabrizgavamo kovinski material v obliki žice ali prahu na primerno pripravljeno kovinsko ali nekovinsko podlago.

Material za nabrizgavanje lahko talimo s plamenom ali z električnim oblokom oziroma z oblokom plazme. Podlaga mora biti suha, čista in primerno hrapava. Med metaliziranjem ostane podloga nespremenjena, oprijem nabrizgane kovine ali zlitine se doseže z adhezijo. Lastnosti nabrizganih plasti so odvisne od tehnologije postopka in uporabljenega materiala za nabrizganje.



Slika 110: Plamensko metaliziranje s talilno žico

Vir: Strojnotehnoški priročnik, 1998, 580

Na Sliki 110 je prikazano plamensko metaliziranje s talilno žico. Dodajni material v obliki talilne žice (5) se v nevtralnem plamenu posebnega gorilnika in pod pritiskom zraka (3) ter plina (4) razprši po površini oziroma podlogi (1), v obliki nabrizgane plasti (2).

Postopek metaliziranja uporabljamo v primerih:

- ✚ zaščite jeklene površine proti koroziji (nanašamo cink, aluminij, kositer ali umetne mase)
- ✚ površinske zaščite proti obrabi in pri vzdrževalnih delih za popravila obrabljenih delov različnih orodij, lopatic mešalcev, bate kompresorjev ipd. (nanašanje oksidov, karbidov)
- ✚ v dekorativne namene npr. nanašanje bakra, aluminija
- ✚ za nanos izolacijskega sloja npr. keramike ali umetne mase
- ✚ za nanos električno prevodnega sloja (baker ali srebro).

Za *galvanske prevleke* se uporabljajo kovine nikelj, krom, cink ali baker. V industrijski proizvodnji so »galvanizacijske« linije računalniško vodene.

Za postopek galvanizacije potrebujemo galvansko kopel, v katero obesimo izdelke, ki jih želimo prevleči z zaščitno prevleko kot *katodo*, za anodo pa uporabimo kovino oziroma soli kovine, iz katere bo prevleka. Navadno uporabljamo več galvanskih prevlek hkrati. Namen prve, osnovne prevleke je dobra oprijemljivost oziroma spajanje s površino predmeta, medtem ko ima zgornja prevleka predvsem protikorozijski, protiobrabni ali samo dekorativni namen. Na primer, pri kromiranju je prevleka običajno trislojna, in sicer baker, nikelj, krom.



Slika 111: Galvanska kopel

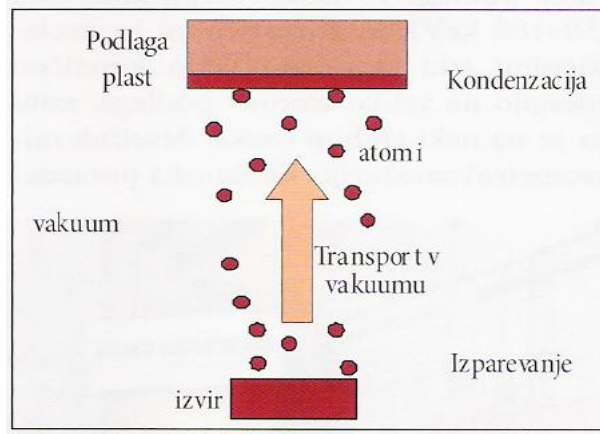
Vir: <http://www.gornik.biz/storitve.html> (30. 03. 2011)

7.1 TRDE ZAŠČITNE PREVLEKE

Vakuumski postopki, ki se uporabljajo za nanašanja trdih zaščitnih prevlek, so:

- ✚ fizikalni postopki (PVD)
- ✚ kemijski postopki nanašanja prevlek v plazmi (PA-CVD)
- ✚ plazemska ionska implantacija.

Vsi fizikalni (PVD) postopki nanašanja trdih prevlek potekajo v plazmi v treh stopnjah (Slika 112). Material za nanašanje razgradimo na atome ali molekule v obliki atomskih ali molekulskih curkov, ki se nato na podlagi oziroma na površini orodja kondenzirajo v obliki tanke površinske plasti.



Slika 112: Vakuumsko nanašanje tankih plasti

Vir: IRT, 2009, 45

Pri naprejevanju segreje osnovni material za nanos, npr. titan (Ti) ali krom (Cr). Za segrevanje lahko uporabimo elektronski curek, katodni lok ali laser. Kovinsko tarčo (izvir) obstreljujemo z ioni, s čimer atome razpršujemo v prostor med tarčo in podlago (npr. površina orodja). Če kemijski postopek nanašanja prevleke poteka v plazmi (PA-CVD), se temperatura, ki je potrebna za potek kemijske reakcije, zniža pod $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. To pomeni prednost tega postopka v primerjavi s kemijskim postopkom nanašanja iz parne faze (CVD), kjer poteka kemijska reakcija med izbranimi plini na vroči podlagi pri temperaturi $800\text{ do }1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V primerjavi s PVD postopkom pa lahko PA-CVD postopek uporabimo za nanos trdih prevlek na večja preoblikovalna orodja zapletenih oblik.

Pri postopku *plazemske ionske implantacije* površino podlage obstreljujejo z vseh strani z visoko energijskimi ioni, ki z elastičnimi in neelastičnimi trki prenesejo svojo kinetično energijo na atome podlage in se vgradijo (implantirajo) v podlago oziroma površino orodja.



Osnovna znanja o trdih površinskih prevlekah so predstavljena že v učnem gradivu Materiali http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Materiali-Kisin.pdf in na spletnem naslovu: <http://www.sc-nm.com/e-gradivo/prvi.html>, (31. 03. 2011).

Iz navedenih razlogov se bomo v nadaljevanju seznanili predvsem z nekaterimi novejšimi dognanji na področju PVD (*Physical Vapour Deposition*) trdih prevlek, povzeto po Panjan, 2006.

Trde PVD prevleke se v tehnološki proizvodnji uporabljajo že več kot 28 let, in sicer za površinsko zaščito rezalnih in preoblikovalnih orodij, orodij za brizganje umetnih mas, orodij za tlačno litje aluminijevih in magnezijevih zlitin, kakor tudi za zaščito strojnih delov. V tem času so se postopki nanašanja nenehno izboljševali. Glavna prednost PVD postopkov (*Physical Vapour Deposition* – fizikalno nanašanje iz parne faze) je nizka temperatura nanašanja, ki ne vpliva na predhodno toplotno obdelane izdelke oziroma orodja. Druga pomembna prednost pa je možnost izbire različnih postopkov nanašanja.

Skladno z razvojem trdih zaščitnih prevlek in rezalnega orodja poteka tudi razvoj visoko produktivnih, računalniško vodenih obdelovalnih strojev ter visokohitrostnih postopkov obdelave, kjer je povečana obstojnost orodja pogoj za uporabo.

Če je bilo v preteklosti povpraševanje po prevlekah s čim širšim spektrom uporabnih lastnosti, je danes ravno obratno. Razvite so nove vrste prevlek, ki so prikrojene za različne materiale obdelovancev oziroma za različne materiale orodij. Zato je optimalna izbira prevleke za učinkovito uporabo še toliko pomembnejša.

Lastnosti keramičnih, trdih PVD prevlek, debeline nekaj mikrometrov, so naslednje:

- ✚ velika trdota, tudi pri visokih temperaturah
- ✚ dobra oprijemljivost na podlago oziroma osnovni material orodja
- ✚ majhen koeficient trenja
- ✚ oksidacijska obstojnost
- ✚ slaba toplotna prevodnost
- ✚ tlačne notranje napetosti (ovirajo nastajanje razpok)
- ✚ drobnozrnata mikrostruktura.

Prva prevleka, ki je dobro izpolnjevala zahteve za zaščito rezalnih orodij in strojnih delov, ni pa primerna za zaščito orodij za preoblikovanje neželeznih kovin in zlitin, je prevleka TiN . Oksidacijsko je obstojna le do temperature $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Oksidacijsko neobstoja je tudi večkomponentna prevleka $Ti(C,N)$, zato ni primerna za obdelavo titanovih in nikljevih zlitin ter za obdelavo brez hlajenja.

Pri večkomponentni prevleki $(Ti, Al)N$ so titanovi atomi delno nadomeščeni z atomi aluminija. Prevleka je primerna za zaščito orodij za obdelavo titanovih in nikljevih zlitin, nerjavnega jekla, legiranega jekla ter železovih litin pri velikih hitrostih rezanja, pri polsuhi ali suhi obdelavi. Oksidacijska obstojnost in mehanske lastnosti prevleke so odvisne od vsebnosti aluminija in dodatkov, kot so npr. cirkonij, hafnij, vanadij, niobij, krom, molibden, volfram, bor, ogljik in silicij.

Mikrotrdota prevleke Al_2O_3 je pri temperaturi okolice le okoli 2000 HV, medtem ko je mikrotrdota pri temperaturi $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, glede na ostale prevleke največja. Prevleke Al_2O_3 se uporabljajo za zaščito rezalnih orodij za obdelavo železovih litin in maloogljčnih jekel pri velikih hitrostih rezanja.

$(Cr, Al)N$ prevleka je primerna tudi za največje toplotne in mehanske obremenitve rezalnega orodja ter je obrabno in oksidacijsko obstojnejša od $(Ti, Al)N$ prevleke. Z večplastnimi prevlekami, npr. TiN/VN oziroma TiN/NbN , lahko hkrati izboljšamo trdoto, žilavost, zmanjšamo trenje in povečamo odpornost proti obrabi, oksidaciji ter koroziji.

Zaradi velike mikrotrdote in žilavosti so večplastne prevleke primerne za zaščito orodij za hladno preoblikovanje, posebno v primerih, če je na površini še tanek nanos trdega maziva, npr. WC/C.

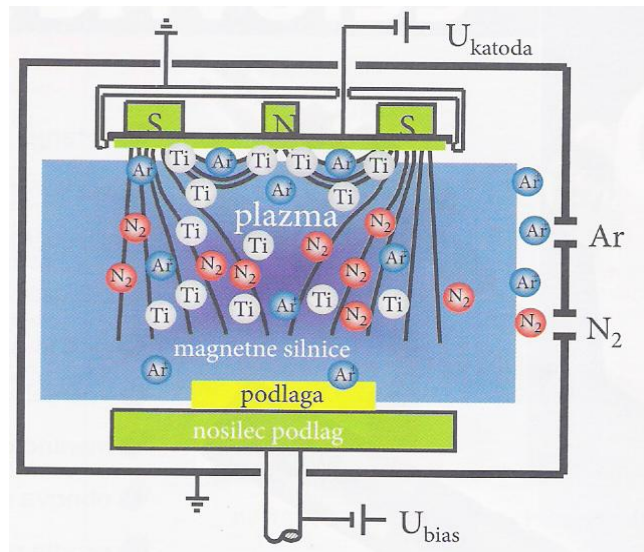
Najbolj znane »super« trde prevleke so na osnovi *diamanta* in po CVD postopku nanašanja. Diamantne prevleke se uporabljajo za zaščito rezalnih orodij za obdelavo neželeznih kovin in zlitin ter nekovinskih materialov.

Tudi nanos *kubičnih bor nitridnih (CBN)* prevlek poteka podobno kot nanos diamantnih prevlek. Bornitridne prevleke so primerne za zaščito rezalnih orodij za obdelavo železnih in neželeznih materialov. Zaradi velikih notranjih napetosti ima prevleka slabo oprijemljivost na podlago.

Med supertrde prevleke uvrščamo tudi prevleke na osnovi *titanovega diborida (TiB₂)*. Zaradi majhne topnosti v staljenem aluminiju se prevleke uporabljajo za zaščito orodij za tlačno litje aluminijevih zlitin, pa tudi za zaščito kirurških orodij, zaradi dobre korozijske obstojnosti pri sterilizaciji instrumentov.

Diamantu podobne prevleke (*diamond-like carbon – DLC*) so primerne za zaščito rezalnih orodij pri suhi obdelavi. Zaradi velikih notranjih napetosti imajo slabo oprijemljivost na različne podlage. Nanašamo jih lahko z laserskim napajanjem (PLD), z ionskim curkom, magnetronskim naprševanjem in plazemsko podprtim kemijskim nanašanjem iz parne faze (PECVD).

Na Sliki 113 je prikazan postopek priprave trdih prevlek s *pulznim naprševanjem* oziroma postopek *magnetronskega* naprševanja, ki temelji na uporabi več neuravnoteženih izvirov za naprševanje.



Slika 113: Postopek magnetronskega naprševanja
Vir: IRT, 2006, 86

Magnetno polje vsakega izvira je oblikovano tako, da se večji del magnetnih silnic »zapre« v postoru pred tarčo, kjer sta magnetno polje in zato tudi gostota plazme največja. Manjši delež magnetnih silnic se razširi v prostor proti *podlagam* oziroma proti *površini orodja*. Magnetne silnice sosednjih izvirov imajo nasprotno smer, zato se med njimi oblikuje prostor, ki zadržuje elektrone pred podlagami. Elektroni ionizirajo uparjene atome tarče in atome reaktivnega plina. Energija ionov se ob trku s podlago prenese na številne atome „nastajajoče“ prevleke. Fizikalne kemijske lastnosti napršenih prevlek so odvisne od energije, ki se prenese od ionov na „rastočo“ plast.

Omenjeni postopek omogoča izdelavo *nizkotemperaturnih trdih prevlek* pri temperaturi podlage okoli 150 °C. Nizkotemperaturne prevleke so pomembne, npr. v avtomobilski industriji za zaščito jeklenih strojnih delov, če je bila temperatura popuščanja pod 200 °C (Panjan, 2006, 88).

Povzetek

Številni izdelki in orodja, predmeti, strojni ter konstrukcijski sestavni deli so izpostavljeni mehanskim, toplotnim, kemičnim in elektrokemičnim vplivom okolice, ki skrajšujejo njihovo življenjsko dobo oziroma uporabnost, vplivajo na ceno izdelkov in povzročajo gospodarsko škodo. Zato je že pri načrtovanju in konstruiranju izdelka potrebno izbrati ustrezeni material ter predlagati ustrezno površinsko prevleko oziroma zaščito.

Za proti korozijsko zaščito kovinskih površin lahko izbiramo med različnimi postopki nanašanja nekovinskih in kovinskih prevlek, kot so npr:

- ✚ barvanje
- ✚ mokro ali prašno lakiranje
- ✚ emajliranje
- ✚ nanos umetne mase
- ✚ potapljanje kovinskih predmetov v raztaljeno kovino
- ✚ metaliziranje
- ✚ galvanizacija.

Slabost zgoraj omenjenih postopkov je predvsem v tem, da prevleka sicer zaščiti površino proti koroziji, vendar, ker prevleka ni tudi obrabno oziroma mehansko odporna, se hitreje poškoduje in takrat nastopijo pogoji za napredovanje lokalne korozije.

Obrabno in korozijsko odpornost, funkcionalnost ter s tem tudi uporabnost različnih izdelkov, predvsem pa rezalnih in preoblikovalnih orodij, izboljšamo z izbiro ustrezne površinske trde prevleke.

Lastnosti keramičnih trdih prevlek, debeline nekaj mikrometrov so naslednje:

- ✚ velika trdota, tudi pri visokih temperaturah
- ✚ dobra oprijemljivost na podlago oziroma osnovni material orodja
- ✚ majhen koeficient trenja
- ✚ oksidacijska obstojnost
- ✚ slaba toplotna prevodnost,
- ✚ tlačne notranje napetosti (ovirajo nastajanje razpok)
- ✚ drobnozrnata mikrostruktura.



Vprašanja za preverjanje razumevanja

V katerih primerih bi se odločili za postopek metalizacije in kdaj za navarjanje?

Ali menite, da je v določenih primerih metalizacija s kovinskim prahom ugodnejša in zakaj?

Po postopku metaliziranja s talilno žico je nanosni sloj odstopil od površine osnovnega materiala. Navedite možne vzroke za slabo oprijetje nabrizganega sloja.

Navedite razloge v primeru vaše odločitve za večplastno prevleko.
(Na spletnem naslovu si oglejte glavne značilnosti nekaterih prevlek.

<http://www.ijs.si/ctp/vrste%20prevlek.html-12>)

Razmislite in navedite glavne ukrepe pri odločanju za učinkovito, kakovostno ter okolju prijazno obdelavo materiala s postopkom odrezavanja.

8 LITERATURA

Berginc, B., Rot, M. Brizganje prašnatih materialov. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2007, letnik 2, št. 9, str. 139–141.

Berginc, B., Kampuš, Z., Rot, M. Brizganje prašnatih materialov 2.del. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 4/2007, letnik 2, št. 10, str. 122–124.

Brezovnik, S. et al. Robotizirano točkovno uporovno varjenje z robotom ACMA XR701. *Varilna tehnika*: 2008, letnik 57, št. 4, str. 33 – 37.

Fritsch, R. Prüfung der Zerspanbarkeit. *Zerspannung der Metalle*. Oberursel: Deutsche GF Metallkunde, 1981.

Gologranc, F. *Uvod v preoblikovanje*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani Fakulteta za strojništvo, 1978.

Gologranc, F. *Tehnika preoblikovanja*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani Fakulteta za strojništvo, 1974.

Juriševič, B. et al. Raznolikost obdelave z abrazivnim vodnim curkom na področju orodjarstva. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 3/2006, letnik 1, št. 3, str. 80–87.

Kallage, P. et al. Mobilno lasersko kaljenje – od zamisli do uresničitve. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2007, letnik 2, št. 7, str. 64–66.

Kampuš, Z. *Osnove tehnologije preoblikovanja kovin*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2006.

Kampuš, Z., Sokovič, M. *Mehanska tehnologija 1.zvezek*. Ljubljana: Univerza v Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, 1990.

Kolar, D. *Tehnična keramika 2*. Ljubljana: Zavod RS za šolstvo in šport, 1993.

Kopač, J., Sokovič, M. *Tehnika odrezavanja: sodobna rezalna orodja*. Ljubljana: UL, Fakulteta za strojništvo, 1993.

Kopač, J. *Odrezavanje*. Ljubljana: Littera picta, 2008.

Kosec, L. Orodna jekla iz prahov. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2006, letnik 1, št. 2, str. 78–84.

Kosmač, J. *Odrezavanje*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 2010.

Kovač, M. *Gradiva. Zapiski predavanj*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani Fakulteta za strojništvo, 1999.

Krajnik, P., Kopač, J. Pregled brušenja z velikimi hitrostmi in učinkovitih abrazivnih orodij. *Strojniški vestnik*: 2004, let. 50, št. 4, str. 206217.

- Leskovar, P. *Gradiva I. in II. del.* Ljubljana: Univerza v Ljubljani Fakulteta za strojništvo, 1978.
- Montanwerke W. Werkzeug-Ges.m.b.H. Struženje. *Euroteh*: 2005, letnik 4, št. 2, str.81.
- Muren, H. *Odrezavanje in odnašanje*: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1995.
- Orban, J. Stanje razvoja naprav za termično rezanje kovin. *Varilna tehnika*: 2008, letnik 57, št. 1, str. 17–24.
- Panjan, P. Zaščita orodij za suho obdelavo. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2003, letnik 2, št. 3, str. 71–75.
- Panjan, P. Novejši razvoj trdih zaščitnih PVD-prevlek. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2006, letnik 1, št. 1, str. 82–93.
- Panjan, P. Uporaba vakuumske tehnike v sodobni industriji. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2009, letnik 4, št. 5, str. 38–49.
- Petrič, M. et al. Določanje nagnjenosti h krčenju in sposobnosti napajanja Al zlitin. *Livarski vestnik*: 2009, št. 4, str. 177–187.
- Polajnar, I., Zgonik, M., Oreškovič, M. Sodobni postopki spajanja v avtomobilski industriji. *Dan varilne tehnike 2005: Zbornik referatov*. Društvo za varilno tehniko Ljubljana, 2005.
- Prosenc, V., Kisin, M. Varjenje in varivost aluminija in aluminijevih zlitin. *Dan varilne tehnike 2002: Zbornik referatov*. Društvo za varilno tehniko Ljubljana, 2002.
- Puhar, J., et al. *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Littera picta, 2007.
- Schumann, H. *Metallographie*. Leipzig: Fachbuchverlag, 1958.
- Šprajc, P. Šola varjenja 1.del. *Varilna tehnika*: 2008, letnik 57, št. 3, str. 21–25.
- Šprajc, P. Šola varjenja 5.del. *Varilna tehnika*: 2009, letnik 58, št. 3, str. 21–23.
- Šprajc, P. Šola varjenja 6.del. *Varilna tehnika*: 2009, letnik 58, št. 4, str. 21–23.
- Skupina avtorjev. *Ljevački priručnik*. Zagreb: Savez ljevača Hrvatske, 1985.
- Skupina avtorjev. *Metalurški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1972.
- Skupina avtorjev. *Strojnotehnoški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1998.
- Skupina avtorjev. *Stroji*. Velika ilustrirana enciklopedija. Ljubljana: Mladinska knjiga, 1982.
- Timings, L. *Engineering Materials*. Essex: Longman, 1998.
- Tomažič, I. in Taljat, B. Nitiranje ali utrjevanje površine. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2006, letnik 1, št. 2, str. 64–68.

Tušek, J. in Taljat, B. Primerjava laserskega navarjanja z drugimi laserskimi tehnologijami površin. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2006, letnik 1, št. 2, str. 75–77.

Tušek, J. in Košnik, A. Ultrazvočno spajanje materialov. *Euroteh: 2005*, letnik 4, št. 2, str. 66–70.

Zupanič, F. Zmogljivosti naprave fokusirani ionski curek. *IRT3000: inovacije razvoj tehnologije*, 2006, letnik 4, št. 20, str. 38–42.

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.