

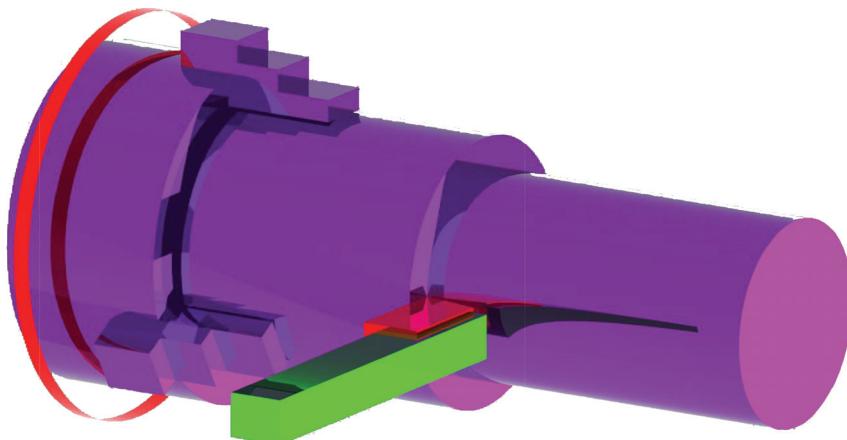


UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET



REMONTNE MAŠINE I RADIONIČKA PRAKSA

Prof. dr Milan TOMIĆ





Milan Tomić

REMONTNE MAŠINE I RADIONIČKA PRAKSA



UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

NOVI SAD, 2018

EDICIJA „OSNOVNI UDŽBENIK“

Osnivač i izdavač edicije
Univerzitet u Novom Sadu
Poljoprivredni fakultet
Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad

Godina osnivanja
1954.

Glavni i odgovorni urednik edicije
Dr Nedeljko Tica, redovni profesor
Dekan Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu

Članovi komisije za izdavačku delatnost
Dr Ljiljana Nešić, redovni profesor, predsednik
Dr Branislav Vlahović, redovni profesor,član
Dr Milica Rajić, redovni profesor,član
Dr Nada Plavša, vanredni profesor,član

Udžbenik odobren odlukom Nastavno-naučnog veća Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu od 24.05.2018. god. Sva prava zadržava izdavač.

CIP-Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

631.3:631.173(075.8)

TOMIĆ, Milan

Remontne mašine i radionička praksa/ Milan Tomić.-Novi Sad: Poljoprivredni fakultet, 2018 (Žitište: Sito print). – 298 str.: ilustr.; 30 cm.- (Edicija Osnovni udžbenik)

Tiraž 20.-Bibliografija.

ISBN 978-86-7520-433-6

а) Польопривредна механизација - Одржавање

Autor:
Prof. dr Milan TOMIĆ,

Glavni i odgovorni urednik:
Dr Nedeljko Tica, redovni profesor
Dekan Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu

Tehnički urednik:
Prof. dr Milan Tomić,
Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu

Korektura teksta:
Mr Jelena Knežević Tomić

Recenzenti
Prof. dr Lazar Savin
Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu
Prof. dr Mirko Simikić
Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu

Izdavač
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet,
Novi Sad.

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje.
Sva prava zadržava izdavač.

Štampa: Štamparija „Sitoprint“, Žitište

Štampanje odobrio:
Komisija za izdavačku delatnost,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

Tiraž:
20 komada

Mesto i godina štampanja:
Novi Sad, 2018.

PREDGOVOR

Udžbenik ***Remontne mašine i radionička praksa*** napisana je prema programu predmeta istog naziva koji slušaju studenti druge godine Poljoprivrednog fakulteta smera Poljoprivredna tehnika.

Udžbenik sadrži 5 poglavlja:

1. Uvod u remontne mašine i radioničku praksu,
2. Merenje i kontrola u proizvodnom mašinstvu,
3. Obrada materijala skidanjem strugotine,
4. Obrada materijala bez skidanja strugotine i
5. Tehnologija spajanja metala.

Težnja autora je bila da se gradivo izloži na što jednostavniji i najprihvativiji način, te je udžbenik bogato ilustrovan velikim brojem slika.

Koncepcija udžbenika bazirana je na dugogodišnjem iskustva autora u radu sa studentima Poljoprivrednog fakulteta, smera Poljoprivredna tehnike, na predmetima Remont i održavanje poljoprivredne tehnike i Remontne mašine i radionička praksa.

Autor se zahvaljuje recenzentima ove knjige, prof. dr Lazaru Savinu i prof. dr Mirku Simikiću na korisnim sugestijama, kao i mr Jeleni Knežević Tomić na izvršenoj korekciji teksta.

Unapred se zahvaljujem čitaocima i korisnicima ove knjige na dobronamernim primedbama i sugestijama.

Novi Sad, 25.04.2018. god.

Autor

SADRŽAJ

1. UVOD U REMONTNE MAŠINE I RADIONIČKU PRAKSU	9
2. MERENJE I KONTROLA U PROIZVODNOM MAŠINSTVU	11
2.1. OSNOVNA PRAVILA MERENJA	14
2.2. GREŠKE MERENJA	15
2.3. PODELA SREDSTAVA ZA MERENJE	21
2.4. KARAKTERISTIKE SREDSTAVA ZA MERENJE	22
2.5. MERENJE DUŽINA	24
2.5.1. Jednostruka merila dužina	24
2.5.2. Višestruka merila dužina	32
2.6. KOMPATORI	46
2.7. MERENJE UGLOVA	50
2.7.1. Jednostruka merila uglova	51
2.7.2. Višestruka merila uglova	56
2.8. KONTROLA PROFILA	61
2.8.1. Direktne metode kontrole profila	61
2.8.2. Indirektne metode kontrole profila	63
2.9. MERENJE I KONTROLA ZAVOJNICA	64
2.9.1. Tolerancijska merila za zavojnice	65
2.9.2. Merenje spoljnog prečnika zavojnice	67
2.9.3. Merenje prečnika jezgra zavojnice	67
2.9.4. Merenje srednjeg prečnika zavojnice	68
2.9.5. Merenje koraka zavojnice	70
2.9.6. Merenje ugla profila	71
2.9.7. Kontrola profila zavojnice	72
2.10. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA	72
2.10.1. Merenje debljine zupca	74
2.10.2. Merenje širine međuzublja	75
2.10.3. Merenje preko zuba zupčanika	77
2.10.4. Merenje koraka zupca	78
2.10.5. Kontrola profila zupca	79
2.11. KONTROLA KVALITETA OBRAĐENIH POVRŠINA	81
2.11.1. Hrapavost	81
2.11.2. Kontrola hrapavosti	82
2.11.3. Ispitivanje ravnosti površina	84
3. OBRADA MATERIJALA SKIDANJEM STRUGOTINE	86
3.1. UVOD	86
3.2. OSNOVI PROCESA REZANJA	87
3.2.1. Proces stvaranja strugotine	88

3.2.2. Sila rezanja i otpor rezanja	89
3.2.3. Brzina rezanja	95
3.2.4. Postojanost oštice alata	99
3.2.5. Temperatura rezanja	103
3.2.6. Vrste strugotine	107
3.3. OBRADA NA STRUGU	108
3.3.1. Osnove obrade na strugu	108
3.3.2. Karakteristike reznog alata	110
3.3.3. Režim obrade na strugu	114
3.3.4. Mašine za obradu struganjem	114
3.3.5. Pomoći pribor	122
3.4. OBRADA GLODANJEM	127
3.4.1. Osnove obrade na glodalici	127
3.4.2. Karakteristike reznog alata	129
3.4.3. Režim obrade na glodalici	131
3.4.4. Otpor rezanja pri obradi na glodalici	133
3.4.5. Mašine za obradu glodanjem	135
3.4.6. Pomoći pribor	140
3.5. OBRADA BUŠENJEM	148
3.5.1. Osnove obrade na bušilici	148
3.5.2. Karakteristike reznog alata	150
3.5.3. Otpori rezanja pri obradi bušenjem	155
3.5.4. Mašine za obradu bušenjem	157
3.6. OBRADA RENDISANJEM	161
3.6.1. Osnovi obrade rendisanjem	161
3.6.2. Karakteristike reznog alata	162
3.6.3. Mašine za obradu rendisanjem	163
3.7. OBRADA NA MAŠINAMA ZA ODSECANJE (TESTEROM)	166
3.7.1. Osnovi obrade na testeri	166
3.7.2. Alat za obradu na testerama	167
3.7.3. Mašine za obradu odsecanjem (testere)	169
3.8. OBRADA BRUŠENJEM	173
3.8.1. Osnove obrade na brusilici	173
3.8.2. Alat za obradu na brusilici	174
3.8.3. Mašine za obradu brušenjem	177
3.8.4. Obrada glaćanjem	183
4. OBRADA MATERIJALA BEZ SKIDANJA STRUGOTINE	187
4.1. UVOD	187
4.2. LIVENJE	187
4.2.1. Karakteristike materijala za livenje	188
4.2.2. Livenje u peščanim kalupima	190
4.2.3. Livenje u metalnim kalupima	205
4.2.4. Ostali postupci livenja	208

4.3. OBRADA METALA PLASTIČNOM DEFORMACIJOM	211
4.3.1. Uvod	211
4.3.2. Osnovi obrade deformacijama	211
4.3.3. Obrada metala kovanjem	215
4.3.3.1. Zagrevanje materijala	216
4.3.3.2. Ručno kovanje	217
4.3.3.3. Mašinsko kovanje	219
4.3.4. Oblikovanje lima	227
4.3.4.1. Oblikovanje lima odvajanjem	227
4.3.4.2. Oblikovanje lima plastičnom deformacijom	232
5. TEHNOLOGIJA SPAJANJA METALA	243
5.1. UVOD	243
5.2. ZAVARIVANJE	243
5.2.1. Fizičke osnove zavarivanja	244
5.2.2. Elementi zavarenih spojeva	244
5.2.3. Položaj zavarivanja	250
5.2.4. Podela postupaka zavarivanja	251
5.2.5. Gasno zavarivanje	252
5.2.5.1. <i>Gasni plamen</i>	252
5.2.5.2. <i>Oprema za gasno zavarivanje</i>	255
5.2.5.3. <i>Tehnika zavarivanja</i>	263
5.2.6. Elektrolučno zavarivanje	264
5.2.6.1. <i>Električni luk</i>	264
5.2.6.2. <i>Elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom (REL postupak)</i>	266
5.2.6.3. <i>Elektrolučno zavarivanje u zaštitnim gasovima</i>	275
5.2.6.4. <i>Elektrolučno zavarivanje pod praškom</i>	283
5.2.6.5. <i>Zavarivanje plazmom</i>	286
5.2.6.6. <i>Zavarivanje elektronskim snopom</i>	288
5.2.6.7. <i>Zavarivanje laserskim zracima</i>	289
5.2.7. Elektrootporno zavarivanje	289
5.2.8. Zavarivanje trenjem	292
5.2.9. Zavarivanje primenom ultrazvuka	293
5.3. LEMLJENJE	294
6. LITERATURA	297

1. UVOD U REMONTNE MAŠINE I RADIONIČKU PRAKSU

Težnja čoveka da zadovolji svoje stalno rastuće potrebe uslovile su da se od prvih primitivnih oruđa (strela, sekira...), preko prvih mašina (grnčarski točak, parna mašina...) dosegne do nivoa konstrukcije i tehnologije izrade najsavremenijih mašina među kojima su poljoprivredne mašine i oprema. Sve do sada konstruisane mašine kao i one koje će biti konstruisane u budućnosti, moraju imati odgovarajuće eksplatacione, estetske i tehnoške karakteristike. Eksplatacione karakteristike se odnose na njihovu funkcionalnost, trajnost, pouzdanost, proizvodnost i sl., dok tehnoške karakteristike podrazumevaju da mora postojati ekonomska opravdanost njihove proizvodnje. Kvalitet mašina ne zavisi samo od kvaliteta konstrukcije već i od nivoa tehnologije same izrade.

Tehnologija (grč. Tekhnologia-sistemsko delovanje) podrazumeva metode i postupke pri preradi sirovina u gotove proizvode (Klajn I., 2006.). Tehnologija mehaničke obrade proučava problematiku izrade i oblikovanja gotovih delova mehaničkim putem. Postupci mehaničke obrade dele se na obradu sa uklanjanjem viška materijala (skidanjem strugotine) i bez uklanjanja viška materijala (bez skidanja strugotine - livenje i obrada plastičnom deformacijom) (Nedić, 2007.). U mašinogradnji, tehnologijom su obuhvaćena istraživanja i razvoj metoda obrade, izbora pripremka, kvaliteta obrađene površine, tačnosti obrade, baziranja i pozicioniranja pripremka, metode oblikovanja površina, konstrukcija i izrada alata i pribora...

Tehnologija obuhvata nematerijalne i materijalne tehnoške procese.

Nematerijalni tehnoški procesi podrazumevaju proučavanje problematike transformacije ili prerade energije i informacija, transporta i organizacije transporta, skladištenja, čuvanja i ispitivanja materijala i proizvoda.

Materijalni tehnoški procesi podrazumevaju tehnologije prerade sirovina i izrade polufabrikata i proizvoda različitih tipova i namena (alatnih mašina, automobila, traktora, poljoprivrednih mašina...). Materijalnim tehnoškim procesima utiče se na promenu:

- suštine materije (dobijanje gvožđa, čelika, bakra i drugih metala, granulata za izradu sinterovanih delova...),
- oblika, dimenzija i karakteristika delova i proizvoda i
- strukture materijala i estetskog izgleda proizvoda (termička i hemijskotermička obrada, površinska zaštita, tehnologija modifikovanja površina...).

Prerada materijala i oblikovanje različitih delova, podsklopova i sklopova ostvaruje se primenom različitih tehnologija mašinogradnje, kao što su tehnologije: materijala, obrade, termičke i hemijsko-termičke obrade, montaže, površinske zaštite i modifikovanja površina.

Tehnologija obrade proučava problematiku izrade i oblikovanja gotovih delova. Zavisno od osnovnih principa uklanjanja viška materijala i oblikovanja gotovih delova (korišćenjem mehaničke ili drugih vidova energije) tehnologije obrade se dele na:

- tehnologije mehaničke obrade i
- nekonvencionalne postupke obrade.

U tehnologije obrade spadaju i novi postupci obrade kao što su postupci: visokoproduktivne obrade, obrade na suvo, brze izrade prototipa, mikro obrade, nano obrade...

Tehnologija mehaničke obrade proučava problematiku izrade i oblikovanja gotovih delova mehaničkim putem (delovanjem alata na predmet obrade). Postupci mehaničke obrade mogu biti:

- sa uklanjanjem viška materijala (sa skidanjem strugotine) i
- bez uklanjanja viška materijala (bez skidanja strugotine).

Materijalna dobra, sa gledišta tehnologije, mogu se razvrstati na: sirovine, poluproizvode i gotove proizvode.

Sirovina je svaka materija namenjena daljoj preradi. Sirovina može biti mineralnog, životinjskog ili biljnog porekla.

Poluproizvod je delimično prerađena sirovina namenjena daljoj preradi ili ugradnji u proizvod. Poluproizvod se često naziva još i repromaterijal.

Gotov proizvod je potpuno prerađena sirovina koja se može direktno upotrebljavati.

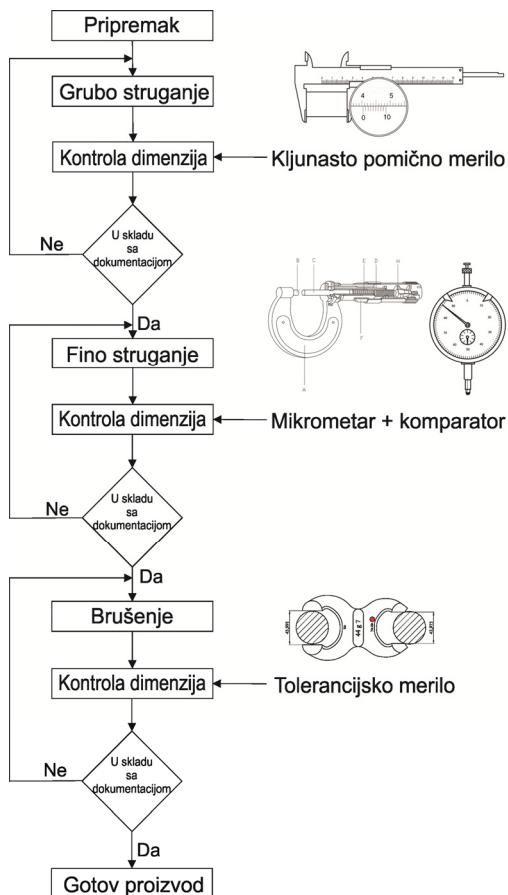
Često je teško razgraničiti pojmove poluproizvoda i gotovog proizvoda. Materijali kao što su limovi, žice, cevi i profili čelika su gotovi proizvodi za valjaonice čelika, ali su poluproizvodi i sirovine za metaloprerađivačku industriju, koja preradom tih materijala proizvodi mašine, motore, mostove, kotlove i slično.

2. MERENJE I KONTROLA U PROIZVODNOM MAŠINSTVU

Kada se govori o proizvodnji mašinskih elemenata, potrebna je velika preciznost i tačnost u izradi. Međutim, nemoguće je proizvesti deo absolutno tačnih dimenzija ili oblika. Stoga je neophodno unapred računati na mogućnost pojave odstupanja. Da bi se odstupanje moglo utvrditi, potrebno je koristiti odgovarajuće merne alate i uređaje, obezbediti njihovo pravilno korišćenje i primeniti odgovarajuću mernu tehniku.

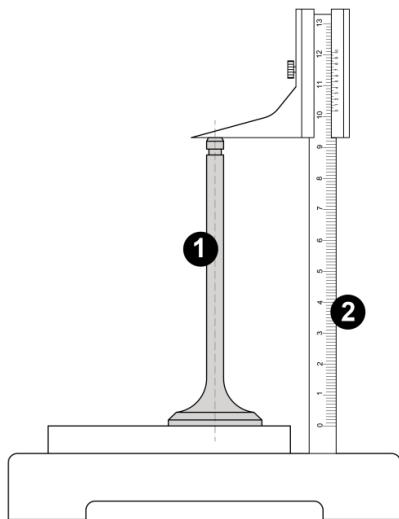
Ciklus obrade i izrade nekog predmeta sačinjen je iz niza operacija koje se obavljuju jedna za drugom. Bez obzira na njihov redosled, tačnost izvođenja svake operacije je potrebno proveriti merenjem, odnosno odgovarajućom kontrolom.

Merni pribor za kontrolu i merenje se bira u zavisnosti od tačnosti izrade, oblika i dimenzija predmeta. Na slici 2.1. data je blok šema međufazne kontrole tokom izrade proizvoda.



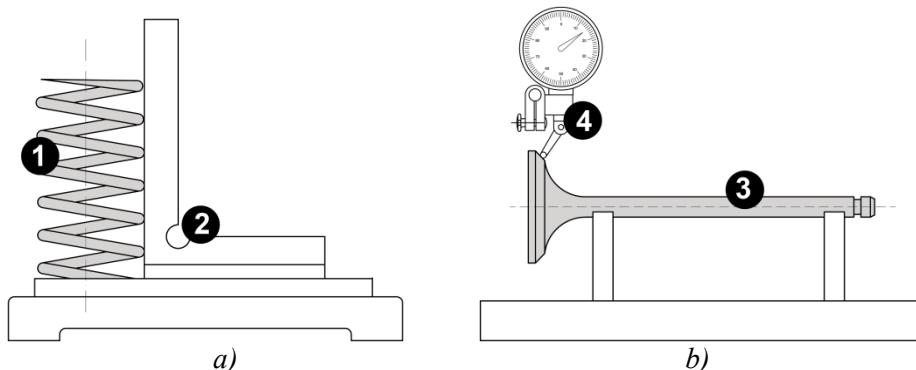
Sl. 2.1. Blok šema faze merenja i kontrole u različitim fazama izrade proizvoda

Merenje predstavlja rezultat upoređivanja neke fizičke veličine (čija vrednost želi da se utvrdi), sa drugom istorodnom, standardnom, veličinom koja je usvojena za jedinicu mere. Vrednost merene veličine, dobijene merenjem, naziva se rezultat merenja. Rezultat merenja se izražava jedinicom mere i brojem (numerička vrednost koja govori koliko je puta jedinica mere sadržana u nekoj mernoj veličini). Na slici 2.2 prikazan je primer merenja ukupne visine ventila motora (poz. 1) primenom visinomera (poz. 2).



Sl. 2.2. Primer merenja visine ventila
primenom visinomera
1-ventil motora, 2-visinomer

S druge strane, zadatak kontrola u procesu proizvodnje nije da utvrdi apsolutnu vrednost neke veličine, već odstupanje od vrednosti zadate tehničkom dokumentacijom, kao i odstupanje od zadatog položaja i oblika predmeta. Na slici 2.3a prikazan je primer tehničke kontrole upravnosti zavojne opruge (poz. 1) primenom ugaonika (poz. 2) a na slici 2.3b kontrola položaja (upravnosti) pečurke ventila u odnosu na njegovo stablo (poz. 3) primenom komparatora (poz. 4).



Sl. 2.3. Primer tehničke kontrole
a- kontrola upravnosti opruge, b-kontrola upravnosti pečurke ventila
1-zavojna opruga, 2-ugaonik, 3-ventil motora, 4-komparator

Merenje i kontrola se mogu svrstati u dve grupe:

- Merenje i kontrola u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji i defektaži¹ i
- Merenje i kontrola u masovnoj proizvodnji.

Na slici 2.4. dati su primeri mernih instrumenata koji se koriste u pojedinačnoj (a) i masovnoj proizvodnji (b).



Sl. 2.4. Primeri mernih instrumenata

a-komparator namenjen kontroli u pojedinačnoj proizvodnji, b- kontrolna merila za ožljebljena vratila i rupe u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji

¹ Defektaža predstavlja utvrđivanje stanja radne ispravnosti nekog elementa tehničkog sistema prethodno izuzetog sa mašine (mašina je rasklopljena). Defektaža se izvodi na detaljno očišćenoj mašini ili mašinskom delu. Značaj defektaže koja prethodi opravci ogleda se u mogućnosti donošenja pravilne procene mogućnosti ponovne ugradnje delova, potrebe za njihovim osveženjem (restauracijom) ili škartiranja pojedinih istrošenih elemenata. Prilikom formiranja defektažnog sistema, kao osnovno pravilo se nameće definisanje mernih mesta na proveravanom delu (broj i raspored), izbor mernog instrumenta i jedinstvenost kriterijuma prilikom kontrole. U toku defektaže neretko se obavljaju montažni radovi ograničenog obima, kako bi se utvrdili zazor između spregnutih elemenata ili specifičan položaj između njih. Postupak defektaže koji se sprovodi u toku velike opravke je specifičan. Sprovodi se na rasklopljenoj mašini u vidu pojedinačne kontrole svakog dela mašine. U toku defektaže delova mašine (koja je upućena na veliku opravku) utvrđuju se nastali kvarovi i propisuju odgovarajući tehnološki postupci opravke. Demontirani delovi mašina se u toku defektaže grupišu u tri grupe:

- ispravni delovi koji se mogu ponovo ugraditi,
- neispravni delovi koji se opravljaju ili osvežavaju i
- delovi za škartiranje koji se ne mogu opravljati (umesto kojih se ugrađuju novi delovi).

Prilikom defektaže kvarovi se javljaju u vidu: pohabanosti (umanjenja mase i dimenzija), deformacije oblika, loma, pukotina, kao i u vidu fizičko-hemijskih promena materijala. U cilju obezbeđivanja tačnosti i jednobraznosti sprovođenja kontrolnih zahvata, neophodno je pre samog izvođenja defektaže propisati pojedinačna mesta kontrole, metodiku merenja, maksimalne dozvoljene vrednosti habanja i kriterijume za škartiranje.

2.1. OSNOVNA PRAVILA MERENJA

Tačnost merenja zavisi od raznih faktora. Tokom merenja važi opšte pravilo da za merenje neke dimenzije treba koristiti merni alat koji ima bar 10 puta veću tačnost merenja od one koju zahteva izrada te dimenzije (npr. za kontrolu mere od 0,1 mm treba upotrebiti alat sa tačnošću od $0,01 \text{ mm}^2$).

Osnovne izvore nesigurnosti tokom merenja treba tražiti u nizu mogućih uzroka, kao što su specifičnost samog merenja, nesigurnost mernih instrumenata, starost uređaja, uslovi sredine³, rad analitičara...

Kada je u pitanju merenje dužine izvori nesigurnosti mogu nastati usled:

- greške dodira - prijanjanja (ove greške nastaju usled toga što merni instrument ne prijava u potpunosti na površinu dela koji se meri već između dodirnih površina postoji film ulja ili vazdušni jastuk),
- istrošenosti mernog instrumenta,
- elastične deformacije instrumenta ili predmeta merenja (usled prekomernog pritiska pri merenju⁴),
- promene dimenzija zbog uticaja temperature i sl.

² Kada se prirodan broj napiše kao decimalan, tako da decimalna mesta iza zareza zauzimaju nule, onda to u matematičkom smislu nema nikakvog uticaja na brojčanu vrednost. Međutim, u tehnički merenja broj decimala uključujući i nule ukazuju na tačnost merenja, a nju određuje poslednja decimalna brojčana vrednosti posmatrane jedinice mere (0,10 – poslednja nula pokazuje da je za merenje korišćen merni instrument koji ima tačnost merenja jedan stoti deo milimetra. U ovom slučaju stvarna vrednost izmerene veličine nalazi se u opsegu 0,095 i 1,105 mm).

³ Značajan uticaj na rezultat merenja ima temperatura sredine (predmeta merenja) u kojoj se obavlja merenje. Naime, promena temperature za Δt utiče na promenu dužine nekog tela za: $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$, gde je: α - koeficijent temperaturne dilatacije materijala, Δt - temperaturska razlika, l - dužina dela koji se meri. Temperaturni koeficijent dilatacije iznosi za čelik $11\text{--}13 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$, aluminijum $23 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$, bakar $17 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$, olovo $29 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$, nikl $13 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$, nerđajući čelik $17,3 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$, silicijum karbib $2,77 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}$.

⁴ Pritisak pri merenju ne sme da pređe granicu elastičnosti materijala koji se međusobno dodiruju. U suprotnom dolazi do trajnih deformacija mernog instrumenta i predmeta merenja. Potreban pritisak merenja je utoliko manji ukoliko je manja površina dodira. Prekomeren pritisak merenja izaziva elastične deformacije (istezanje, savijanje, uvijanje) mernog predmeta kao i instrumenta.

Pravila za izvođenje preciznih merenja

- Ne započinjati merenje ako za to nema dovoljno vremena.
- Temeljno upoznati osobine, tačnost, mogućnosti korišćenja mernog instrumenta (proučiti sva priložena uputstva o rukovanju i održavanju).
- Izjednačiti temperaturu prostorije, mernog instrumenta i predmeta koji se žele meriti ($20\text{--}22^{\circ}\text{C}$).
- Merni instrument zaštititi od direktnog dejstva topote.
- Merne instrumente podesiti primenom drugih instrumenata više tačnosti (npr. paralelnim graničnim merilima).
- Merni instrument ne hvatati prljavim rukama.
- Nakon završenog merenja merne površine instrumenta zaštititi odgovarajućim zaštitnim sredstvima.
- Nekorišćene objektive i okulare smestiti u za to određene pregrade u kutijama za pribor.
- Merne instrumente čuvati na predviđenim mestima.
- Nakon završetka merenja isključiti osvetljenje, dovod struje, vode i gasa.

NAPOMENA: Besprekorna čistoća mernog pribora je glavni preduslov za izvođenje preciznih merenja i dugotrajno korišćenje skupocenih preciznih instrumenata (Za čišćenje mernih površina koristiti samo jelensku kožu (nikako krpe, četke...)).

2.2. GREŠKE MERENJA

Prilikom svakog merenja javlja se određena greška. U osnovi, greška se definiše kao veličina odstupanja izmerene vrednosti od stvarne vrednosti. Po prirodi greška može biti apsolutna ili relativna, a prema svom tipu sistematska ili slučajna.

Apsolutna greška opisuje odstupanje izmerene od prave vrednosti neke veličine. Izražava se u jedinicama u kojima je izražena i merena veličina⁵:

⁵ Naprimjer: kada je stvarni prečnik rukavca nekog vratila 60,0 mm a izmerena vrednost 59,5

$$\Delta x = x_i - \bar{x}$$

gde je:

x_i – izmerena vrednost,

\bar{x} – srednja vrednost (srednja vrednost je ujedno najbliža stvarnoj vrednosti)

Relativna greška je brojna vrednost koja se iskazuje kao deo absolutne greške u veličini stvarne vrednosti ili srednje vrednosti više merenja⁶:

$$\delta x_i = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}}$$

Relativna greška se često izražava u procentima:

$$\delta x_i [\%] = \frac{|\Delta x_i|}{\bar{x}} \cdot 100$$

Sistematska greška je specifičan tip greške koju je moguće ustanoviti i koja sistematski menja vrednost seta merenja za neku određenu vrednost. Ova greška ima uvek isti znak i veličinu (tipičan primer je mikrometar kod koga se javlja sistemska greška nastala kao posledica ne izvršenog prethodnog nulovanja skale. Takav mikrometar može standardno da dodaje neku vrednost - na primer 0,08 mm. Ukoliko se mere različiti prečnici rukavca vratila izmerena vrednost će sistematski biti uvećana za 0,08 mm). Ukoliko se ovakva greška prepozna, moguće je izmerenu vrednost modifikovati, tj. preračunati i dobiti pravu vrednost merenja.

Slučajne greške se ne mogu unapred predvideti. Veličina ovakvih grešaka umanjuje se povećanjem broja ponavljanja merenja iste veličine.

Prilikom analize greške neophodno je utvrditi da li je greška pozitivna ili negativna. Pod pozitivnom greškom se podrazumeva slučaj kada je dobijeni rezultat merenja veći od stvarne merne veličine. Kod negativne greške se radi o rezultatu merenja koji je manji od stvarne merne veličine.

Greška pri merenju može nastati usled:

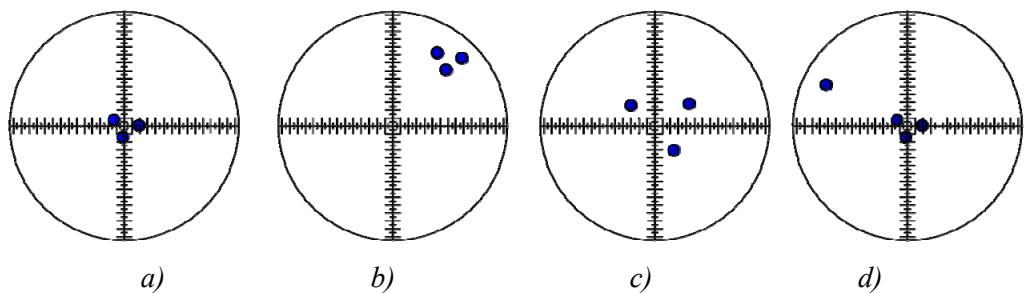
- greške prouzrokovane merilom (greške podele, greške zbog rasipanja, greške usled istrošenosti, greške koje potiču od nedovoljno čvrste konstrukcije),
- greške koja potiče od ljudskog faktora (greške usled neobavljenog nulovanja, greške usled izbora neodgovarajućeg izbora mernog pribora, greške zbog pogrešnog postavljanja ili premeštanja, greške paralakse),

mm, tada je absolutna greška -0,5 mm).

⁶ Na prethodnom primeru relativna greška iznosi $\Delta d/d=0,0083$ ili 0,83%

- greške prouzrokovane uticajem ambijenta (greške prouzrokovane temperaturom ambijenta, greške zbog vlažnosti, greške zbog neprikladnog osvetljenja, greške usled nečistoće mernog pribora i radnog predmeta, greške koje potiču od vibracija).

Pojam tačnost merenja opisuje veličinu ukupnog odstupanja izmerenih vrednosti od prave veličine. Kod veoma preciznih merenja karakteristično je da je slučajna greška mala. Naime, kod ovih merenja uzastopnim ponavljanjem merenja jedne iste veličine, očitane vrednosti se "veoma malo" međusobno razlikuju (sl. 2.5a). Precizna merenja ne moraju uvek da budu i tačna. Ukoliko merni instrument pravi stalnu i sistematsku grešku onda takav instrument ugrađuje u svako merenje grešku koja je uvek ista. Za takav instrument se kaže da je precizan ali netačan (sl. 2.5b). Tačna i neprecizna merenja su ona koja imaju vidnu disperziju rezultata oko prave vrednosti (merenja su relativno ujednačena sa pozitivnim i negativnim odstupanjima u odnosu na pravu vrednost, sl. 2.5c). Poseban vid greške pri merenju je tzv. promašeno merenje ili omaška. Ovakva greška merenja se prepoznaje značajnim odstupanjem od prave ili srednje vrednosti više merenja. Ovakve rezultate merenja potrebno je odbaciti (2.5d).



Sl. 2.5. Greške merenja

a-precizna i tačna merenja, b-precizna i netačna merenja, c-tačna i neprecizna merenja, d-tačna i precizna merenja sa „omaškom“

Izražavanje rezultata merenja neke veličine mora biti takvo da sadrži informaciju o izmerenoj vrednosti i o grešci sa kojom je to merenje izvršeno. Za jedno direktno merenje rezultat se izražava u obliku:

$$x = x_1 \pm \Delta x$$

gde je:

x_1 – izmerena vrednost,

Δx – greška merenja određena polovinom vrednosti najmanjeg podeoka na mernom

instrumentu.

Rezultat merenja se može izraziti i preko relativne greške merenja:

$$x = x_1 \pm \delta x$$

gde je:

x_1 – izmerena vrednost,

δx – relativna greška merenja

U slučajevima kada se rezultat merenja predstavlja srednju vrednost više od pet uzastopno ponovljenih merenja rezultat merenja se izražava:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_x$$

gde je:

\bar{x} – srednja vrednost merenja,

σ_x – srednja kvadratna greška merenja

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta x_i^2}{N-1}}$$

gde je:

x_i – vrednost merenja,

N – broj ponavljanja merenja

U slučajevima kada rezultat merenja predstavlja srednju vrednost manje od pet uzastopno ponovljenih merenja rezultat merenja se izražava:

$$x = \bar{x} \pm |\Delta x_{\max}|$$

gde je:

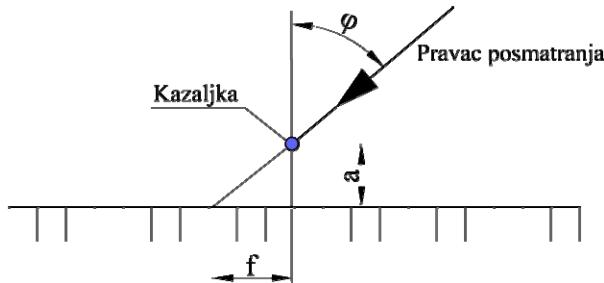
\bar{x} – srednja vrednost merenja,

Δx_{\max} – najveća greška merenja

Primeri grešaka merenja

Primer 1.

Greška merenja koja nastaje ukoliko se položaj kazaljke na skali ne očitava upravno na ravan skale naziva se paralaksa (sl. 2.6). Ova greška se javlja kao posledica nepoklapanja ravni merne skale i kazaljke.



Sl. 2.6. Paralaksa

Veličina ove greške može se izraziti preko jednačine:

$$f = a \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

gde je:

a - rastojanje između kazaljke i skale,

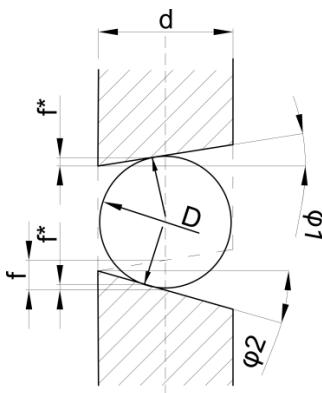
φ - ugao posmatranja.

Da bi se izbegla greška merenja usled paralakse, skala mernih instrumenata često se postavlja (štampa) na ogledalo. Ukoliko se pri posmatranju, vrh kazaljke poklopi sa njegovom slikom u ogledalu znači da se posmatranje vrši upravno na skalu mernog instrumenta, čime je eliminisana greška merenja nastala usled paralakse.

Primer 2.

U slučaju kada merne površine nisu upravne na pravac (osu) merenja, javlja se greška merenja (sl. 2.7). Ovaj slučaj, kao i druge varijante ovog slučaja pojavljuju se

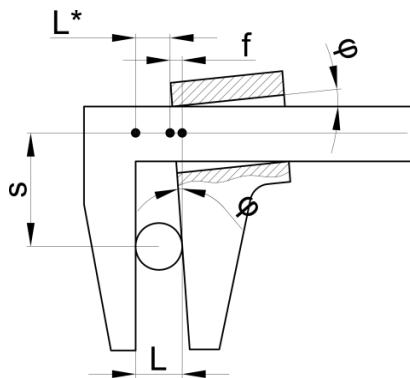
kod mikrometra.



Sl. 2.7. Greške pri merenju usled neparalelnih mernih površina

Primer 3.

Prekomeren zazor između kliznih površina mernog instrumenta (sl. 2.8) dovodi do greške merenja⁷.



Sl.2.8. Greška usled istrošenosti vođice pomicnog merila

Najtačnije merenje se postiže samo onda, ako se dužina koja se meri nalazi u pravolinijskom produžetku merne dužine skale. Ovaj princip merenja se zove još i komparatorski ili Abeov princip.

⁷ Veliki zazor između kliznih površina može nastati kao posledica nesolidne izrade, montaže ili pohabanosti.

2.3. PODELA SREDSTAVA ZA MERENJE

U savremenim uslovima proizvodnje primenjuju se različite metode merenja koje se mogu podeliti na:

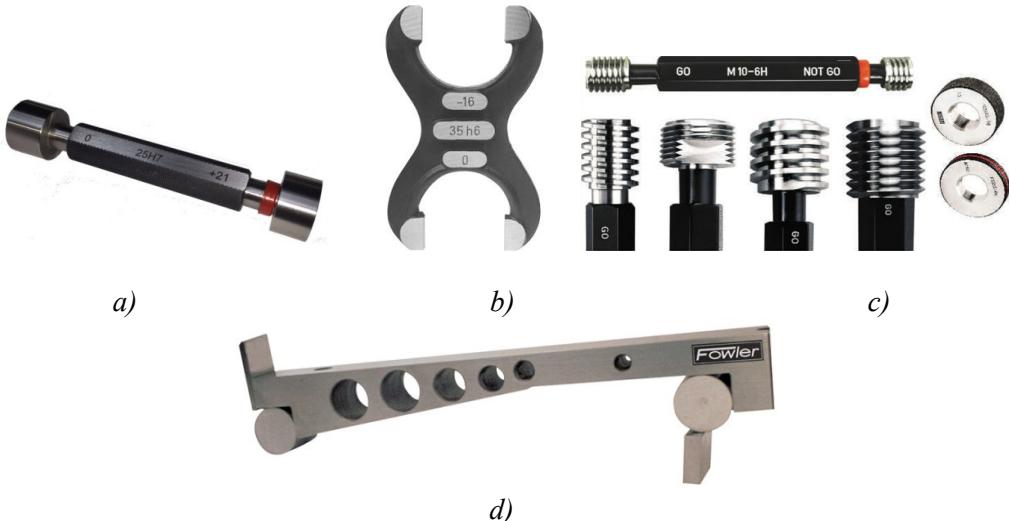
- Apsolutni metod merenja,
- Uporedni metod merenja,
- Neposredni metod merenja,
- Posredni metod merenja,
- Kompleksni metod merenja,
- Diferencijalni metod merenja,
- Metod merenja sa dodirom i
- Metod merenja bez dodira.

Apsolutni metod merenja omogućuje direktno očitavanje rezultata merenja sa skale mernog instrumenta (kljunasto merilo, mikrometar, lenjir sa crtama i dr.). Kod *uporednog metoda merenja* merni predmet se upoređuje sa graničnim merilom ili nekim posebno izrađenim etalonom. Veličina izmerenog predmeta je algebarski zbir veličine graničnog merila ili etalona i veličine odstupanja koje je očitano pri merenju (minimetar, optimer i dr.). *Neposredni način merenja* podrazumeva da se neposredno na skali mernog instrumenta određuje veličina mernog predmeta ili njegovo odstupanje od etalona ili graničnog merila. *Posredni način merenja* omogućuje da se do rezultata merenja dođe posrednim putem. Kod ove metode absolutnim ili uporednim merenjem neke druge veličine koja je u funkcionalnoj zavisnosti sa traženom merom, dolazi se do njene veličine-vrednosti (merenje ugla primenom sinusnog lenjira). *Kompleksni metod merenja* se koristi pri kontroli delova složenih geometrijskih oblika. Kod ove metode merenja istovremeno se proverava nekoliko mernih elemenata na delu, kao i njihov međusobni položaj. *Diferencijalni metod merenja* služi za kontrolu složenih delova. Pri ovoj metodi, svaki element mernog predmeta se meri posebno (npr. kod ožljebljene osovine posebnom merkom se meri podela i oblik žlebova, a posebnom račnom se kontroliše spoljni prečnik osovine). Primenom *metode meranja sa dodirom*, predmet merenja dolazi u kontakt sa mernim instrumentom. Nasuprot ovome, kod *merenja bez dodira* ne dolazi do neposrednog kontakta između mernih završetaka mernog instrumenta i merne površine predmeta.

Sredstva za merenje mogu se podeliti na:

- jednostruka merila i
- višestruka merila.

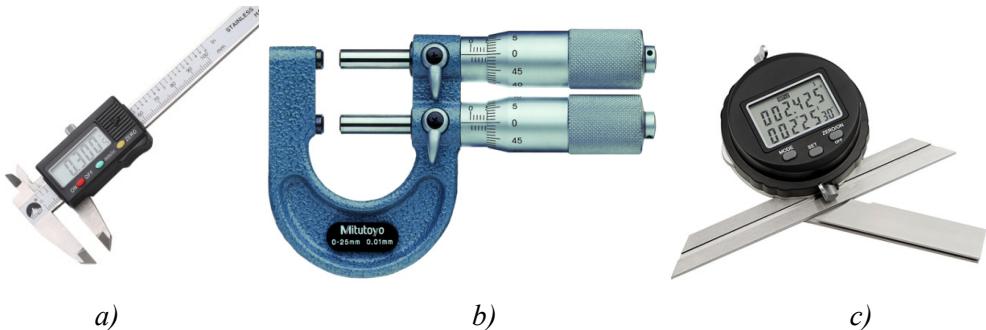
Jednostruka merila služe za merenje samo jedne merne veličine. U ovu grupu spadaju granična i tolerancijska merila. Na slici 2.9 prikazana su različita jednostruka merila za merenje dužine (a, b), kompleksno jednostruko merilo za merenje unutrašnjih navoja (c) i jednostruko merilo ugla (d).



Sl. 2.9. Jednostruka merila

a-kontrolni čep, b-kontrolna račva, c-kontrolni čep za unutrašnji navoj, d-sinusni lenjir

Višestruka merila služe za merenje više mernih veličina u granicama njihovog opsega pokazivanja. Rezultati merenja su izraženi u apsolutnim mernim jedinicama. Na slici 2.10 prikazana su različita višestruka merila dužne (a, b) i ugla (c).



Sl. 2.10. Višestruka merila

a-kljunasto pomicno merilo, b-mikrometar, c-univerzalni uglomer

2.4. KARAKTERISTIKE SREDSTAVA ZA MERENJE

Za pravilan izbor mernog instrumenta neophodno je poznavati dozvoljenu toleranciju za merenu veličinu. Maksimalna (očekivana) greška pri merenju ne treba

da prelazi 1/5 ili 1/10 dozvoljene tolerancije. Pored poznavanja dozvoljene tolerancije za mernu veličinu potrebno je poznavati i karakteristike samog mernog instrumenta. Osnovne karakteristike mernih instrumenata su:

- vrednost podeoka na skali,
- veličina pokazivanja,
- osetljivost,
- opseg pokazivanja i
- opseg merenja.

Vrednost podeoka na skali predstavlja promenu merne veličine koja odgovara promeni pokazivanja za jedan podeok (npr. kod kljunastog pomičnog merila vrednost podeoka na skali iznosi najčešće 1 mm, dok kod mikrometra ta vrednost iznosi najčešće 0,01 mm). *Veličina pokazivanja* je očitana merna veličina na skali i predstavlja proizvod broja podeoka na skali, brojano od nulte tačke i vrednosti podeoka na skali. *Osetljivost* je odnos promene registrovanja u mm i promene merne veličine (npr. kod mikrometra, gde vrednost podeoka na skali iznosi 10 μm , a razmak podeoka je 0,635 mm osetljivost je $0,635/0,01 = 63,5$ (neimenovan broj)). Tačnost očitavanja uglavnom zavisi od razmaka između podeoka na mernoj skali. Ovaj razmak treba da iznosi 0,75 - 2,5 mm, da bi se omogućilo lako procenjivanje 1/10 razmaka među podeocima). *Opseg pokazivanja* je razlika između najveće i najmanje vrednosti mernih veličina koje se mogu očitati na mernoj skali (npr. kod mikrometra opseg merenja najčešće iznosi 25 mm, a kod mernog sata 3; 5 ili 10 mm). *Opseg merenja* je deo opsega pokazivanja u kome greška ostaje u određenim granicama (npr. merni sat ima u parcijalnom opsegu merenja od 0,1 mm grešku od 5 μm a u celokupnom opsegu merenja ta greška iznosi 15 μm). Kod većine dužinskih instrumenata, opseg merenja se poklapa sa opsegom pokazivanja. Ukoliko je merni instrument opremljen podesivim - pomoćnim mernim stalkom, tada postoji i takozvani opseg primene koji je jednak zbiru opsega podešavanja i opsega pokazivanja.

2.5. MERENJE DUŽINA⁸

Za merenje dužina u proizvodnoj praksi se koriste različiti jednostruki i višestruki merni instrumenti.

2.5.1. Jednostruka merila dužina

a) *Granična merila*

Granična merila predstavljaju jednostruka merila za merenje dužina. Najčešće su to štapolika tela, kod kojih odstojanje krajnjih površina predstavlja određenu dužinsku meru i koja se spajanjem mogu kombinovati u različitim dužinama. Krajnje površine ovih merila mogu biti ravne, cilindrične ili loptaste.

U praksi široku primenu imaju paralelna granična merila. Paralelna granična merila imaju ravne i paralelne krajnje površine. Poprečni presek je pravougaoni ili okrugao. Primena paralelnih graničnih merila dolazi do izražaja u slučajevima kada se merenje vrši posrednim putem. Pri tehničkim merenjima dužina, najveća moguća tačnost se postiže upoređivanjem sa paralelnim graničnim merilima.

Paralelna granična merila se izrađuju od specijalne legure čelika otporne na habanje, koroziju, vlagu i toplotu. Za merenje dužina do 10 mm merila su dimenzija poprečnog preseka 9x30 mm, dok su za merenje dužina preko 10 mm dimenzija preseka 9x35 mm. Za specijalne svrhe se može upotrebiti tvrdi metal ili kvarc.

Materijal za izradu graničnih merila mora da bude visokog kvaliteta, tako da

⁸ Za jedinicu merenja dužine usvojen je metar. Definicija prametra koji se čuva u Sevres-u kod Pariza je usvojena 1927 godine, a određena je još 1889 godine na prvoj generalnoj konferenciji za težine i mere i glasi: "Jedinica dužine je metar, definisan razmakom na 0°C, osa dveju srednjih crta povučenih na šipki od platine sa iridijumom, deponovanom u međunarodnom birou za težine i mere i proglašenoj za prototip metra od strane prve generalne konferencije za težine i mere, pod uslovom da je taj obrazac podvrgnut normalnom atmosferskom pritisku i poduprt sa dva valjičića prečnika najmanje 1 cm koji su smešteni simetrično u istoj horizontalnoj ravni na razmaku od 571 mm". Greške koje se javljaju kod prametra mogu iznositi do 0,2 ^m a uzrokovane su nepreciznošću izrade repernih crta.

Kako savremeni nivo tehnike postavlja sve više zahteve u pogledu tačnosti teži se zameni za prametar usvajanjem neke konstante koja se nalazi u prirodi. Tako, usvojena je konstanta koja se nalazi u prirodi, a to je talasna dužina (crvena svetlosna linija kadmijuma λ_{cd}). Određeno je da je $1\text{m} = 1.553.164,13 \lambda_{cd}$ u suvom vazduhu koji sadrži 0,3% CO_2 pri barometarskom pritisku od 760 mmHg i temperaturi od 15°C očitano na vodoničnim termometru i standardne akceleracije zemljine teže = 9,80665 m/sec^2 . Na taj način korišćenjem interferencije svetlosnih talasa izbegnuto je mehaničko prenošenje mera sa prametra, a postiže se tačnost merenja do (\pm) 0,025 μm .

nakon kaljenja⁹ ne menja zapreminu i da zadrži homogenu strukturu. Materijal mora da se dobro polira i da ima dobru sposobnost prijanjanja. Površina materijala treba da ima odgovarajuću tvrdoću i da je otporna na habanje i koroziju. Takođe, materijal mora da ima odgovarajući koeficijent temperaturne dilatacije. Koeficijent temperaturne dilatacije materijala treba da iznosi:

$$\Delta l = (11,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$$

Merila se izrađuju u garniturama od po: 112, 105, 103, 88, 79, 46, 36, 32, 18 i 9 komada koji se kombinuju. Na slici 2.11 prikazana je garnitura paralelnih graničnih merila sastavljena od 46 elemenata.



Sl. 2.11. Garnitura paralelnih graničnih merila

Paralelnna granična merila se izrađuju u 4 stepena tačnosti:

- K stepen: služi za podešavanje mašina za merenje, preciznih komparatora, najtačnijih merila, kao etalon mera za upoređenje ostalih graničnih merila.
- O stepen: služi za podešavanje sprava za merenje i kontrolu kontrolnika.

⁹ Kaljenjem se povećava tvrdoća i čvrstoća čelika. Po pravilu se dobro kale alatni čelici i čelici za cementaciju posle dodavanja ugljenika. Kaljenje se izvodi zagrevanjem čelika do temperature kaljenja, a potom hlađenjem na odgovarajući način. Temperatura kaljenja zavisi od vrste čelika, pa se pri kaljenju i drugim termičkim obradama treba pridržavati temperature koju propisuju standardi ili proizvođači čelika. Alatni ugljenični čelici se kale na oko 800 °C. Hlađenje čelika u procesu kaljenja može se obaviti u različitim sredstvima. Ugljenični čelici se kale u vodi, a legirani u ulju ili drugim rashladnim sredstvima.

- I stepen: služi za primenu u izradi steznih alata, podešavanje radioničkih merila, podešavanje radioničkih mernih instrument.
- II stepen: služi za podešavanje mašina alatki, za izradu steznih alata i pri izradi standardnog alata.

U tabeli 2.1 data je tačnost izrade paralelnih graničnih merila prema ISO 3650 standardu.

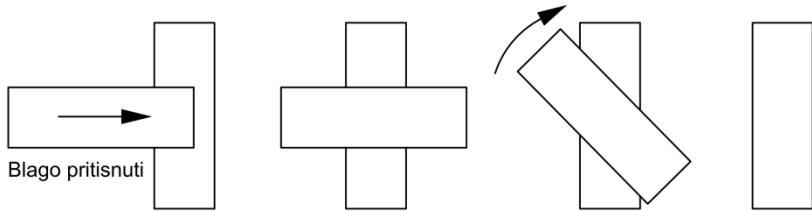
Tab. 2.1. Tačnost izrade paralelnih graničnih merila (ISO 3650)

Nominalna dužina l_n (mm)	K stepen		0 stepen		I stepen		II stepen	
	$\pm t_c$ μm	$\pm t_v$ μm						
0,5 < $l_n \leq 10$	0,2	0,05	0,12	0,1	0,2	0,16	0,45	0,3
10 < $l_n \leq 25$	0,3	0,05	0,14	0,1	0,3	0,16	0,6	0,3
25 < $l_n \leq 50$	0,4	0,06	0,2	0,1	0,4	0,18	0,8	0,3
50 < $l_n \leq 75$	0,5	0,06	0,25	0,12	0,5	0,18	1	0,35
75 < $l_n \leq 100$	0,6	0,07	0,3	0,12	0,6	0,2	1,2	0,35
100 < $l_n \leq 150$	0,8	0,08	0,4	0,14	0,8	0,2	1,6	0,4
150 < $l_n \leq 200$	1	0,09	0,5	0,16	1	0,25	2	0,4
200 < $l_n \leq 250$	1,2	0,1	0,6	0,16	1,2	0,25	2,4	0,45
250 < $l_n \leq 300$	1,4	0,1	0,7	0,18	1,4	0,25	2,8	0,5
300 < $l_n \leq 400$	1,8	0,12	0,9	0,2	1,8	0,3	3,6	0,5
400 < $l_n \leq 500$	2,2	0,14	1,1	0,25	2,2	0,35	4,4	0,6
500 < $l_n \leq 600$	2,6	0,16	1,3	0,25	2,6	0,4	5	0,7
600 < $l_n \leq 700$	3	0,18	1,5	3	3	0,45	6	0,7
700 < $l_n \leq 800$	3,4	0,2	1,7	0,3	3,4	0,5	6,5	0,8
800 < $l_n \leq 900$	3,8	0,2	1,9	0,35	3,8	0,5	7,5	0,9
900 < $l_n \leq 1000$	4,2	0,25	2	0,4	4,2	0,6	8	1

$\pm t_c$ - Granična vrednost standardne devijacije za bilo koju nominalnu dužinu
 $\pm t_v$ - Dozvoljena tolerancija dužine

Najveća dužina merila koja se proizvodi iz jednog komada, iznosi 4000 mm. Najmanja dužina iznosi 0,1 mm. Dužine ispod 0,5 mm se ne proizvode u kvalitetu "K".

Spajanje graničnih merila se vrši prljubljivanjem i međusobnim trljanjem (sl. 2.12), pri čemu se ostvaruje sila prianjanja od 460 N/cm^2 . Kako bi se ovo postiglo, potreban je veoma fini sloj maziva (bezkselinskog vazelina) koji ima za cilj da ispunjava mikropore na nalegajućim površinama. Ovaj sloj je veoma mali i iznosi 0,01- 0,07 μm (pri svakom prianjanju treba računati sa greškom od 0,4 μm).



Sl. 2.12. Spajanje paralelnih graničnih merila

Prateći pribor graničnih merila je raznovrstan i služi za pridržavanje slogova graničnih merila prilikom upotrebe (2.13).



Sl. 2.13. Dodatni pribor paralelnih graničnih merila

1-različiti merni završeci, 2-slog sa mernim zavrsecima spremam za merenje spoljašnjih dimenzija, 3-visinomer

Habanje graničnih merila je uglavnom posledica uticaja prašine i nečistoća koje se pri njihovom spajaju nalaze između mernih površina i površina mernog predmeta. Pre upotrebe, granična merila je potrebno pažljivo očistiti (odmastiti pranjem u lakom benzину bez taloga), osušiti¹⁰ i ostatke vlakana ukloniti finom četkicom (odmašćivanje mernih površina ne treba vršiti rukom). Nakon upotrebe, merila treba ponovo oprati i namazati bezkiselinskim vazelinom i vratiti u ležište u kutiju. Slogove čuvati u suvim prostorijama sa približno stalnom temperaturom.

¹⁰ Flanelna krpa ne sme biti predhodno prana sapunom

Primer: Kombinovanje pločica paralelnih graničnih merila

Standardna garnitura sastoji se od elemenata sledećih dimenzija (sl. 6.11):

1,001; 1,002; 1,003; 1,004; 1,005; 1,006; 1,007; 1,008; 1,009 mm

1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09 mm

1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 mm

1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 mm

10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100 mm

Zadatak: Primenom gore pomenutih elemenata, potrebno je sačiniti dužinsku meru od 123,735 mm.

Prilikom stvaranja kombinacija uvek se krene od izbora pločice koja će ostvariti poslednju decimalnu traženu dužinsku mjeru (1,005 mm), a zatim se redom biraju pločice koje će ispuniti zahtev ostalih decimalnih mesta, npr. $1,005+1,03+1,7=3,735$ mm. U cilju ostvarivanja tražene dužinske mere (123,735 mm) potrebno je prethodno formiranom slogu (3,735 mm) dodati $123,735-3,735=120,000$ mm (postiže se odabirom još elemenata $20+100=120,000$ mm).

Konačni slog se sastoji od sledećih pet elemenata:

$$1,005+1,03+1,7+20+100=123,735 \text{ mm.}$$

Ukoliko se prilikom primene paralelnih graničnih merila koristi dodatni pribor (npr. merni završeci...) neophodno je uračunati njihove dimenzije.

b) Tolerancijska merila

U tolerancijska merila spadaju merila koja služe za kontrolu delova u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji.

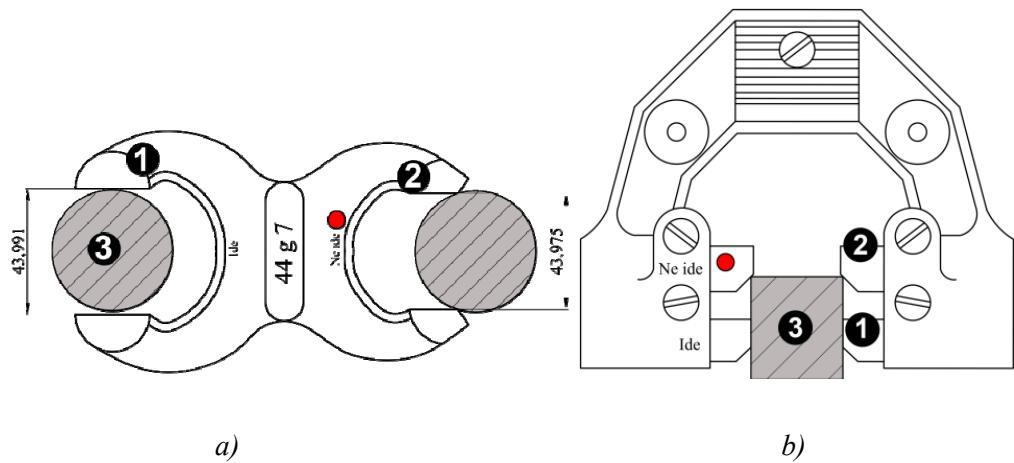
Merila se najčešće izrađuju u dva osnovna oblika:

- u obliku račvastih merila za kontrolu spoljnih dimenzija i
- u vidu čepa za kontrolu otvora (rupa).

Tolerancijska merila se prema nameni dele na:

- radionička (služe za kontrolu delova u toku njihove izrade a koriste ih proizvodni radnici i kontrolori),
- prijemna (služe u završnoj kontroli fabrike ili tokom prijemne kontrole kupca) i
- reviziona (koriste se za proveru radioničkih i prijemnih merila).

Tolerancijska merila za spoljne dimenzije (tolerancijske račve) se izrađuju u različitim oblicima zavisno od veličine predmeta koji se meri (kontroliše). Za dimenzije 1,5-100 mm se upotrebljavaju dvostrane račve. Dvostrane račve sastoje se od strane „ide“ (sl. 2.14a, poz. 1) i strane „ne ide“ (poz. 2). Za dimenzije preko 100 mm tolerancijske račve se izrađuju kao jednostrane (sl. 2.14b). Jednostrane račve se izrađuju u obliku uzengije kod koje je sa iste strane postavljen deo „ide“ (poz. 1) i „ne ide“ (poz. 2). Na slici 2.14b prikazana je jednostrana tolerancijska račva sa podesivim razmakom između mernih završetaka. Podešavanje razmaka se vrši primenom paralelnih graničnih merila. Slog paralelnog graničnog merila, čija je dimenzija jednaka donjoj dopuštenoj veličini predmeta postavi se između mernih završetaka dela „ne ide“ (poz. 2) i pomoću regulacionog vijka se podesi njihov razmak. Isti postupak se ponovi postavljanjem sloga graničnih merila čiji je razmak jednak gornjoj dopuštenoj veličini predmeta između mernih završetaka dela „ide“ (poz. 1).



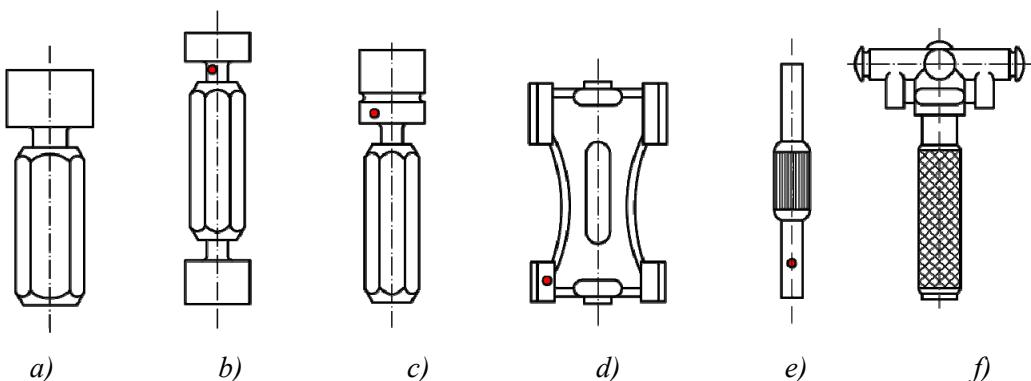
Sl. 2.14. Tolerancijska račva
a) dvostрана, b) jednostrana
1-strana „ide“, 2-strana „ne ide“, 3-predmet koji se kontroliše

Primer korišćenja kontrolne račve (sl. 2.14a)

U masovnoj proizvodnji proizvodi se osovina prečnika $\Phi 44g7$. Tolerancijsko polje $g7$ znači da se osovina treba nalaziti u granicama 43,975-43,991 mm. Primenom odgovarajuće kontrolne račve (sa razmakom mernih završetaka u traženoj granici odstupanja) najpre se postavi strana „ide“ preko osovine. Ukoliko strana „ide“ može da pređe preko osovine to znači da je prečnik osovine ispod gornje granice odstupanja ($\leq 43,991$ mm). Zatim se postavi strana „ne ide“ preko osovine. Ukoliko ova strana ne može da pređe preko osovine to znači da je prečnik osovine iznad donje granice odstupanja ($\geq 43,975$ mm). Za takvu osovinu se kaže da je u dozvoljenim granicama odstupanja. Međutim, ukoliko strana račve „ide“ ne može da pređe preko osovine to znači da je njen prečnik iznad gornje granice i da ga je potrebno doraditi (naknadno).

skinuti sloj materijala), a ukoliko strana „ne ide“ može da pređe preko osovine to znači da je prečnik osovine ispod donje granice odstupanja (ovakva osovina je škart).

Tolerancijska merila za unutrašnje prečnike (rupe) nazivaju se tolerancijski čepovi. Tolerancijski čepovi se izrađuju u različitim oblicima (sl. 2.15). Mogu biti jednostrana (a, c), dvostrana (b, d, e), loptasta (f), pljosnata (d) i u obliku merne šipke (e). Pored osnovnih oblika postoji i čitav niz oblika prilagođenih praktičnoj primeni.



Sl. 2.15. Različiti oblici kontrolnih čepova

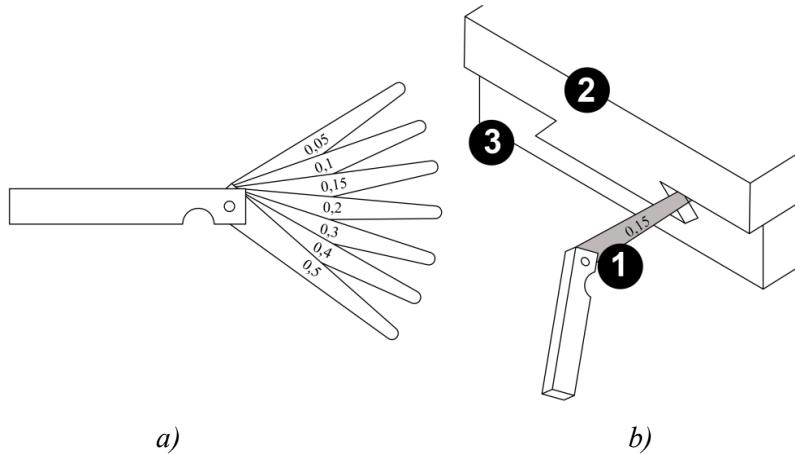
Materijal za izradu tolerancijskih merila treba da bude dobro obradiv, otporan na habanje i koroziju zbog čega se merni završeci ovih merila oblažu tvrdim metalom, što im produžava vek trajanja i do 40 puta.

c) Ostala jednostruka merila dužine

Pored opisanih graničnih i tolerancijskih merila postoje još neka specifična jednostruka merila. Za merenje zazora kod ležišta, vođica i drugih mašinskih elemenata, koriste se merila za zazore (merni listići ili tzv. špijuni). Merilo se sastoji od tankih čeličnih traka sa kaljenim vrhovima.

Debljina pojedinih traka se kreće od 0,05 - 1,00 mm. Rasponi debljina obično iznose 0,05 ili 0,1 mm.

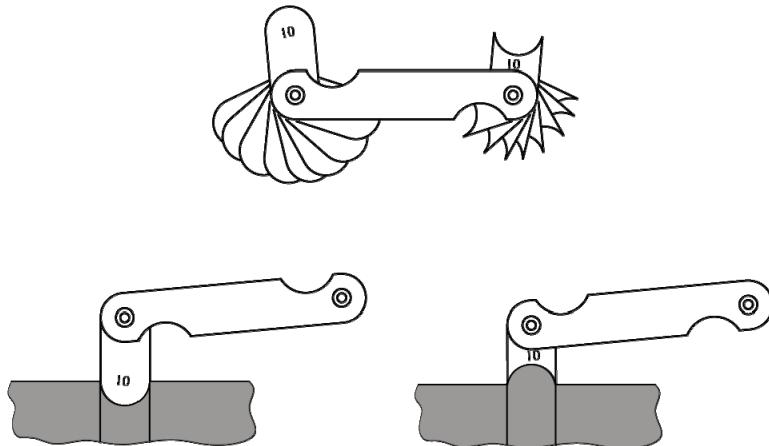
Na slici 2.16a prikazan je standardna garnitura mernih listića, a na slici 2.16b primena mernih listića (poz. 1) tokom merenja zazora između klizača (poz. 2) i klizne staze (poz. 3) elemena za uzdužno vođenje.



Sl. 2.16. Merni listić (špijun)

a-garnitura mernih listića, b-primer primene
1-merni listić, 2-klizač, 3-klizna staza

Za merenje zaobljenja koriste se specijalna merila u obliku listova (sl. 2.17) Ova merila namenjena su za merenje spoljašnjih i unutrašnjih zaobljenja. Listovi se izrađuju sa tačnošću 2 - 5 μm , sastavljaju u garniture a koriste se pri izradi prelaza (zaobljenja na strugu).



Sl. 2.17. Kontrolni listići za zaobljenja

Pored navedenih merila postoje i druga jednostruka merila (za merenje debljine žica i limova). Za ova merila ne postoje propisi u pogledu tačnosti.

2.5.2. Višestruka merila dužina

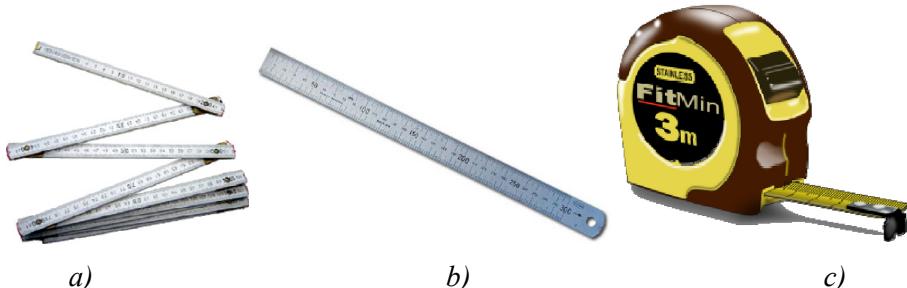
Višestruka merila dužina se dele na:

- merila sa podeocima,
- merila sa nonijus skalom i
- mikrometre.

a) Merila sa podeocima

Merila sa podeocima su ona kod kojih je mera određena razmakom dve podeone crtice. Definicija razmaka podeonih crtica, kod standardizovanih merila glasi: "Razmak između dve podeone crtice jednak je razmaku njihovih srednjih linija." Srednja linija jedne podeone crtice je ona linija koja deli razmak između ivica crtice na dva jednakata dela.

Merila mogu biti iz jednog dela ili sastavljena iz članaka. Izrađuju se od drveta, čeliča ili drugog metala (2.18). Na ovim merilima, podeoci se nanose štampanjem, utiskivanjem, valjanjem ili nagrizanjem. Dozvoljena greška na dužini od 1 m iznosi maksimalno 1 mm. Za dužine metalnih merila od 1 - 10 m dozvoljeno je odstupanje 0,5 - 2 mm, a ukoliko su izrađeni od drugog materijala, dozvoljeno odstupanje iznosi 1-6 mm .



Sl. 2.18. Različite vrste lenjira
a-višedelni (člankoviti), b, c-jednodejni (trakasti)

Primeri merila sa podeocima:

Čelični metar – izrađuje se od čelične ravne ili ispušćene trake, dužine od 100 mm do 50 m. Ukoliko se proizvode dužine veće od 1 m, tada se namotavaju u kutije (sl. 2.18c), pri čemu je dozvoljeno odstupanje 1 mm na dužini od 1 m. Ukoliko se

izrađuju od tekstila tada je dozvoljeno odstupanje veće.

Lenjiri – izrađuju se kao čelične šipke. Lenjiri mogu biti :

- radionički,
- probni,
- uporedni ili
- etalon lenjir.

Radionički lenjir – najčešće se izrađuje od nekaljenog čelika (sl. 2.19). Proizvode se u dve klase tačnosti (Tip A i Tip B, tab.2.2), dužine do 5000 mm, sa poprečnim presekom 5x25, 6x30, 8x40, 10x50 ili 12x60 mm zavisno od dužine i stepena tačnosti. Podela se izvodi obeležavanjem ili nagrizanjem, na široj strani lenjira (podeoci se nanose do ivice lenjira). Debljina podeoka je 80-120 μm . Ova vrsta lenjira se najčešće upotrebljava za merenje u radionicama.



Sl. 2.19. Radionički lenjir

Tab. 2.2. Tačnost radioničkog lenjira (DIN 866)

Dužina lenjira (mm)	Dozvoljeno odstupanje (μm)	
	Tip A	Tip B
500	40	100
1000	40	100
1500	60	150
2000	60	150
3000	80	200
4000	100	250
5000	120	300

Probni lenjir - izrađuje se od nekaljenog čelika, a moguća je upotreba i drugog materijala kao što su mesing, bronza, staklo i drugo. Dužina ovog merila je do 2 m sa kvadratnim poprečnim presekom 15x15 mm do 25x25 mm (zavisno od dužine). Debljina podeoka iznosi 20 - 40 μm . Početna i krajnja crta su zaštićene prepustom od najmanje 10 mm sa svake strane. Ovo su merila visoke tačnosti i koriste se za kontrolu radioničkih lenjira. Kontrola se izvodi uporednim naslanjanjem lenjira a dozvoljeno odstupanje je definisano formulom:

$$\Delta L = \pm \left(0,01 + \frac{L}{100.000} \right) \text{ mm}$$

gde je:

ΔL – odstupanje (mm),

L – dužina lenjira (mm).

Uporedni lenjiri - izrađuju se od nekaljenog čelika, a za specifične svrhe mogu biti kao i u prethodnom slučaju izrađeni i od mesinga, bronce, stakla i slično. Da bi se postigla bolja vidljivost dozvoljena je upotreba niklovanja ili umetanja niklovanih umetaka. Izrađuju se u dužinama do 1 m, sa poprečnim presekom u obliku slova H, U ili X. Za dužine do 200 mm, dozvoljen je presek u obliku punog pravougaonika. Debljina podeoka je 2-7 μm . Krajnji podeoci su udaljeni od ivice lenjira za najmanje 10 mm. Dozvoljeno odstupanje od dužine iznosi:

$$\Delta L = \pm \left(0,005 + \frac{L}{200.000} \right) \text{ mm}$$

gde je:

ΔL – odstupanje (mm),

L – dužina lenjira (mm).

Etalon lenjiri - izrađuju se kao uporedni i nisu standardizovani. Debljina podeoka iznosi 1- 3 μm , a dozvoljeno odstupanje je:

$$\Delta L = \pm \left(0,002 + \frac{L}{500.000} \right) \text{ mm}$$

gde je:

ΔL – odstupanje (mm),

L – dužina lenjira (mm).

b) Merila sa nonijus skalom

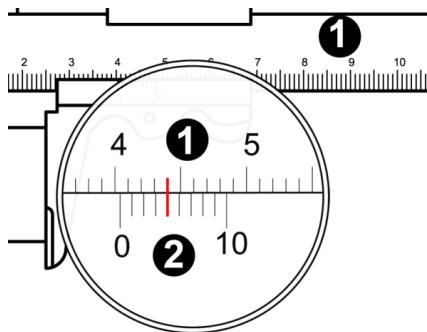
Merila sa nonijus skalom imaju široku primenu kao radionička merila. Nonijus skala se postavlja na pokretan deo mernog instrumenta i omogućava neposredno očitavanje manjih delova osnovne podele merila. Kod ovih merila se umesto reperne

crtice postavlja druga podela (nonius skala), kod koje je razmak između podeoka za 1/n manji od razmaka između podeoka osnovnog lenjira. Kod ovih merila, prvo se vrši očitavanje na glavnoj skali uz pomoć nultog podeoka nonius skale (nulti podeok se koristi kao reperna crtica), a zatim se očitava podeok sa nonius skale koji se poklapa sa nekim od podeoka na glavnoj skali.

Ova merila mogu imati jedan ili više klizača (jednu ili više nonius skala). U uobičajenoj izvedbi se koriste kao kljunasta merila, dubinomeri i obeležaci (visinomeri). Merila sa nonijusom se izrađuju sa opsegom merenja od 120 do 2000 mm. Ova merila sadrže dve skale, jednu na lenjiru merila (sl. 2.20, poz. 1) i nonius skalu (poz. 2) koja se nalazi na klizaču merila. Podeoci skala izrađuju se oštih ivica, jednakе debljine. Verevnost podeoka nanetih na lenjiru merila je jedan milimetar. Merila su najčešće opremljena sa nonius skalom 1/10, 1/20 i 1/50. Podeoci na skali nonijusa, sa podelom 1/10, predstavljaju 10 međusobno jednakih podeoka raspoređenih na ukupnoj dužini od 9 mm (ili 19 mm kod merila sa dvostrukom nonijus skalom). Tako, rastojanje između podeoka skale nonijusa iznosi 0,9 mm (1,9 mm kod dvostrukih nonijus skala). Kada se nulti podeok nonius skale poklapa sa nultim podeokom skale lenjira merilo je zatvoreno (merni završeci se međusobno poklapaju). U tom slučaju deseti podeok nonius skale poklapa se sa devetim podeokom skale lenjira (devetnaestim podeokom kod dvostrukih nonijus skala). U tom slučaju se ni jedan od ostalih podeoka na skali nonijusa (između nultog i desetog) ne poklapa sa podeocima skale lenjira. Tačnost, očitavanja kod merila sa nonius skalom 1/10 iznosi 0,1 mm.

Kod merila sa nonijus skalom čija je podela 1/20, nonijus skala sadrži 20 podeoka ukupne dužine 19 mm (odnosno 39 mm kod dvostrukih nonijus skala). Rastojanje između dva podeoka nonijus skale je 0,95 mm (1,95 mm kod merila sa dvostrukom nonijus skalom). Tačnost, očitavanja kod merila sa nonijus skalom 1/20 iznosi 0,05 mm.

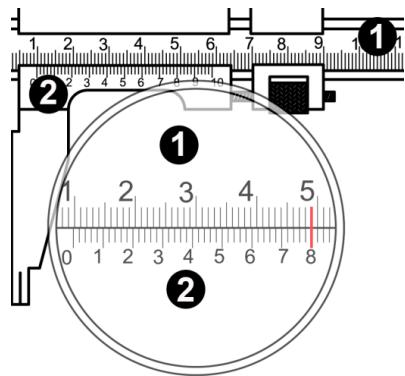
Dužine koje se očitavaju merilom sa nonijus skalom se izražavaju u milimetrima i decimalnim delovima milimetra. Milimetri su određeni brojem podeoka na skali lenjira koji prethode nuli nonijusa. Decimalni delovi milimetra su određeni rednim brojem podeoka skale nonijusa, koji se poklapa sa bilo kojim podeokom skale lenjira. Na slici 2.20. je dat primer očitavanja izmerene vrednosti. Na datom primeru nulti podeok nonijus skale, nalazi se između 40 i 41 podeoka glavne skale na lenjiru merila (poz. 1), a četvrti podeok nonijus skale (poz. 2) poklapa se sa nekim podeokom na glavnoj skali. Ovo ukazuje da je izmerena vrednost merene veličine 40,4 mm.



Sl. 2.20. Primer očitavanja merne veličine na merilima sa nonijusom ($L=40,4\text{ mm}$)

1-ljenjir merila sa glavnom skalom, 2-klizač merila sa nonijus skalom

Za veoma precizna merenja (tačnosti od $0,02\text{ mm}$) izrađuju se merila sa nonijusom koji poseduje 50 podeoka. Kod ovakvih merila 49 mm je podeljeno na 50 jednakih delova, što znači da je rastojanje između dva podeoka na nonijus skali $0,98\text{ mm}$ (sl. 2.21.). Tačnost očitavanja kod ovih merila iznosi $0,02\text{ mm}^{11}$. Na slici 2.21 dat je primer očitavanja vrednosti merene veličine na nonijus skali sa tačnošću očitavanja $0,02\text{ mm}$ ($1/50$). Na datom primeru nulti podeok nonijus skale nalazi se između 9 i 10 podeoka glavne skale na lenjiru merila (poz. 1), a 40. podeok nonijus skale (poz. 2) poklapa se sa nekim podeokom na glavnoj skali. S obzirom na to da je vrednost podeoka nonijus skale kod ovog merila $0,02\text{ mm}$, vrednost merene veličine je $9,80\text{ mm}$.



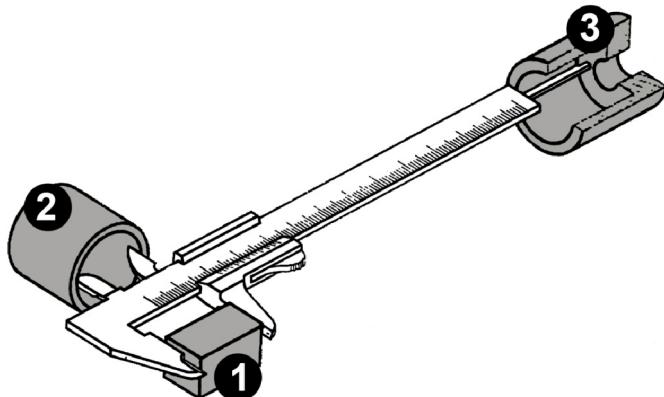
Sl. 2.21. Kljunasto pomično merilo sa pedeset podeoka na noniju ($L=9,80\text{ mm}$)

1-ljenjir merila sa glavnom skalom, 2-klizač merila sa nonijus skalom

¹¹ Nonijus skala za očitavanje sa tačnošću $1/50$ izrađuje se i u varijati kod koje je 12 milimetara podeljeno na 25 delova

PRIMERI NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH MERILA SA NONIJUS SKALOM

Pomično kljunasto merilo spada u grupu višestrukih merila dužina. To je merni alat sa najširom primenom u tehnologiji obrade metala. Njime se mogu izmeriti spoljašnje dužine, unutrašnje mere i dubine. Merenje se obavlja uz tačnost od 1/10, 1/20 ili 1/50 mm što zavisi od tipa merila (primjenjene nonijus skale). Na slici 2.22. je prikazano pomično kljunasto merilo koje meri tri jednake dužine na tri različita predmeta: merenje spoljašnje veličine (poz. 1), merenje unutrašnje veličine (poz. 2) i ocena¹² dubine (poz. 3).

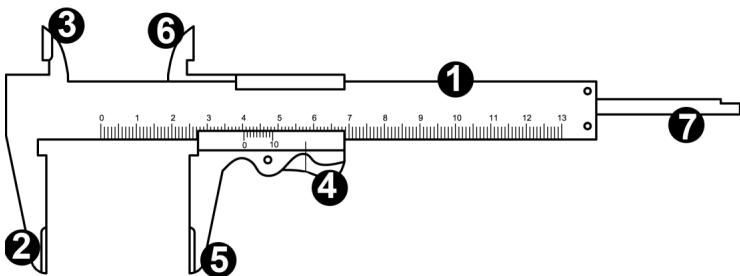


Sl. 2.22. Primena pomičnog kljunastog merila

1-merenje spoljne dimenzije, 2-merenje unutrašnje dimenzije, 3-ocena dubine

Na slici 2.23. prikazano kljunasto pomično merilo sa svojim osnovnim delovima. Na telu kljunastog pomičnog merila nalazi se lenjir (poz. 1), sa milimetarskom podelom. Telo kljunastog pomičnog merila završava se mernim završecima namenjenim za merenje spoljašnjih (poz 2) i unutrašnjih (poz 3) mera. Klizač (poz. 4) se takođe završava sa dva merna završetka namenjena merenju spoljašnjih (poz. 5) i unutrašnjih (poz. 6) dimenzija. Na klizač (poz. 4) čvrsto je fiksiran merni završetak u obliku merne šipke (poz. 7). Ovaj merni završetak namenjen je merenju (oceni) dubine. Na klizaču se pored mernih završetaka nalazi nonijus skala.

¹² U literaturi se često navodi da se kljunasto pomično merilo koristi za merenje dubine. Međutim, vrlo mala oslona površina, elastičnost mernog završetka i veliki zazor između merne šipke i njene klizne staze onemogućavaju merenje sa tačnošću za koju je deklarisano ovo merilo. Iz tog razloga može se govoriti samo o oceni dubine.



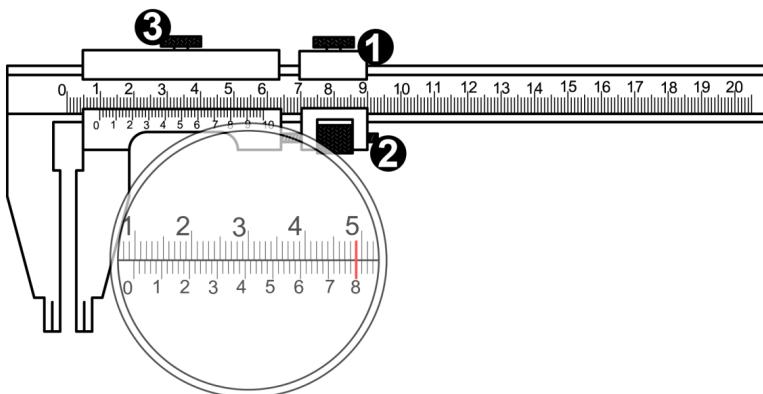
Sl. 2.23. Univerzalno kljunasto pomicno merilo

1-telo, 4-pokretni klizač, 2 i 5-merni završeci za merenje spoljašnjih dimenzija, 3 i 6 - merni završeci za merenje unutrašnjih dimenzija, 7-merna šipka

Kljunasta merila se razlikuju po veličini, izvedbi kljunova i pokretnih klizača, kao i tačnosti. Izrađuju se sa opsegom merenja od 120 do 2000 mm.

Merni završeci (kljunovi) kod merila sa nonijus skalom 1/10 i 1/20 treba da budu kaljeni barem pri vrhu, a kod merila sa nonijus skalom 1/50 cela merna površina mernog završetka treba da je kaljena i izložena veštačkom starenju. Kod kljunastog merila 1/50 treba imati u vidu da očitavanje od 0,02 mm nije u skladu sa tačnošću merenja koja pri mernoj dužini od 500 mm iznosi 0,03 mm jer tada mogućnost vida oka više ne zadovoljava. Stoga kod ovih merila očitavanje treba vršiti uz pomoć lupe.

Da bi se obezbedila veoma mala pomeranja, koja bi omogućila merenja uz tačnost od 0,02 mm merila sa nonijus skalom 1/50, osim uobičajenih mogućnosti pomeranja, poseduju dodatni klizač (sl. 2.24, poz. 1) sa mikrometarskim navojem (poz. 2) kojim se obavljaju najfinija pomeranja.



Sl. 2.24. Kljunasto pomicno merilo sa nonijus skalom 1/50

1-dodatni klizač, 2-mikrometarski navoj, 3-vijak za fiksiranje položaja

Kontrola tačnosti kljunastog pomičnog merila se vrši pomoću graničnih merila. Dozvoljeno odstupanje rezultata merenja zavisi od tipa nonijus skale i iznosi:

- za nonijus 1/10 mm $\Delta l = \pm(75+l) \mu\text{m}$
- za nonijus 1/20 mm $\Delta l = \pm(50+l) \mu\text{m}$
- za nonijus 1/50 mm $\Delta l = \pm(20+l) \mu\text{m}$

gde je:

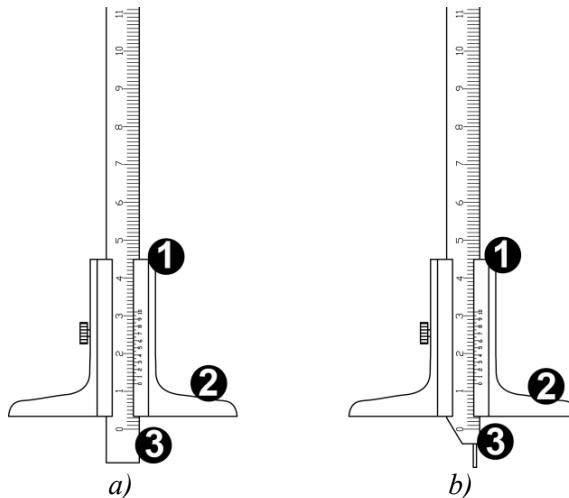
Δl – odstupanje,

l – merena veličina.

Paralelnost dodirnih površina mernih završetaka treba da je takva da u potpuno priljubljenom položaju slobodnim okom ne može da se uoči svetlosni procep. Vođenje klizača treba da bude takvo da se pri stezanju zavrtnja za pritezanje (fiksiranje položaja, sl. 2.24, poz. 3) ne menja širina uočenog svetlosnog procepa.

Za merenje na predmetima posebnog oblika, kao i za merenja kota koje se ne mogu izmeriti pomičnim kljunastim merilom, koriste se specijalna pomična merila.

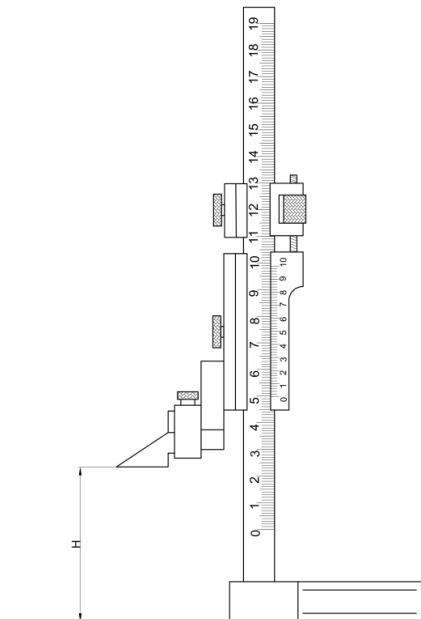
Dubinomeri su merila sa nonijusom prilagođenja za merenje dubina rupa, ispusta i dubina žlebova. Merila za merenje dubina se karakterisu time što ne poseduju merne završetke u obliku kraka. Ovakva merila poseduju klizač (sl. 2.25, poz. 1) koji ima široku oslonu površinu (poz. 2), a što obezbeđuje njihovo pravilno pozicioniranje u odnosu na predmet merenja. Vrh lenjira dubinomera (poz. 3) može biti izведен na različite načine. Na slici 2.25b prikazana je izvedba vrha lenjira sa šiljkom koji omogućava merenje dobina uskih površina.



Sl. 2.25. Dubinomeri sa nonijusom

1-klizač merila, 2-oslona površina, 3-merni završetak

Visinomer se koristi za merenje i obeležavanje visine H (sl. 2.26).

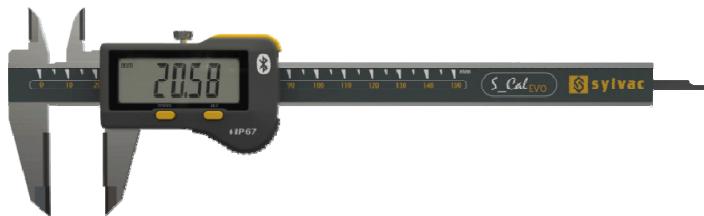


Sl. 2.26. Visinomer

NAPOMENA: Savremene izvedbe kljunastih pomičnih merila omogućavaju očitavanje izmerenih vrednosti na satnom mehanizmu sa kazaljkom (2.27) ili na elektronskom displeju (2.28).



Sl. 2.27. Kljunasto pomično merilo sa satnim mehanizmom proizvođača Mitutoyo (opseg pokazivanja 0-150 mm, vrednost podeoka na skali 0,01 mm, tačnost merenja $\pm 0,02$ mm)



Sl. 2.28. Kljunasto pomicno merilo sa elektronskim displejom proizvođača Sylvac (opseg pokazivanja 0-150 mm, vrednost podeoka na skali 0,01 mm, tačnost merenja $\pm 0,01$ mm)

Nedostatak ovakvih mernih instrumenata ogleda se u tome što oni poseduju veći broj elemenata koji mogu biti uzročnici pojave merne nesigurnosti.

c) Mikrometar

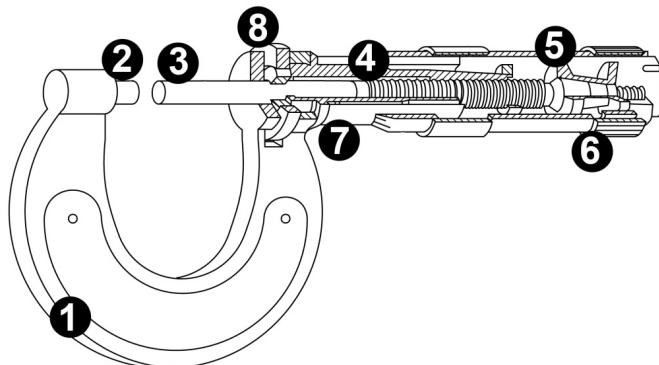
Mikrometri su višestruka merila sa direktnim očitavanjem merne vrednosti i sa kojima se ostvaruje tačnost merenja od 1/100 mm (0,01 mm)¹³. Ova merila su preciznija od merila sa nonijusom (imaju zadovoljen Abeov princip), ali su osjetljivija.

Glavni delovi mikrometra prikazani su na slici 2.29. Telo mikrometra je lučnog oblika (poz. 1).¹⁴ Na telu izrađenom od čelika ili sivog liva naznačeni su podaci o optimalnoj temperaturi za etaloniranje i merenje (20°C), područje merenja (0—25, 25—50 itd), tačnost očitavanja merila (1/100) i naziv proizvođača (Borletti, Tesa itd)). Za telo mikrometra čvrsto je vezan nepokretni merni završetak (poz. 2). Naspram nepokretnog mernog završetka nalazi se pokretni merni završetak (poz. 3). Čeone naležuće površine pokretnog i nepokretnog mernog završetka su ravne i međusobno paralelne. Za namenska merenja mogu imati različite oblike. Ove površine izrađene su od tvrdog metala, što obezbeđuje otpornost prema habanju. U produžetku pokretnog mernog završetka nalazi se mikrometarski navoj (poz. 4). Mikrometarski navoj je preko mehanizma za fino pritezanje (poz. 5) povezan za okretni doboš (poz. 6). Na okretnom dobošu nalazi se skala čija je vrednost podeoka 0,01 mm. Okretni doboš se rotira oko čaure sa skalom (poz. 7) koja je čvrsto vezana

¹³ Postoje izvedbe mikrometra kod kojih je tačnost očitavanja 1/1000 mm (do 0,001 mm = 1 nm)

¹⁴ Uzengije mikrometra treba da su izrađene od čelika (otkivak), sivog ili temper liva. Za potrebe merenja debljine limova izrađuju se mikrometri sa izduženom uzengijom, a za potrebe serijskih merenja koriste se posebni stalci kojima se obuhvata i pričvršćuje mikrometar radi lakšeg merenja.

za telo. Na čauri je naneta uzdužna linija sa dve skale (gornjom i donjom). Na jednoj skali su naneti podeoci u milimetrima, a na drugoj podeoci koji predstavljaju pola milimetra. Mehanizam za fino pritezanje (poz. 5) radi kao „čegrtaljka“ ili ima frikcioni prenos. Namena uređaja je da obezbedi da sila pritezanja pri merenju ne pređe vrednost od 1 daN. Naime, kada se dostigne odgovarajuća sila merenja čegrtaljka ili frikcioni prenos se okreće „u prazno“. Na taj način se sprečava prekomeren pritisak mernog završetka o predmet meranja, usled čega dolazi do greške merenja, a u ekstremnim slučajevima i do oštećenja mernog instrumenta. Uređaj za kočenje (poz. 8) omogućava blokiranje pokretnog mernog završetka na nekoj dimenziji (u slučajevima kada se mikrometar želi koristi kao fiksno merilo). Sistem blokiranja pokretnog mernog završetka može biti različit, zavisno od konstruktivnog rešenja proizvođača (pomoću trenja, poluge i sl.).



SI. 2.29. Mikrometar

1-telo, 2-nepokretni merni završetak, 3-pokretni merni završetak, 4-mikrometarski navoj, 5-uređaj za fino pritezanje, 6-okretni doboš, 7-čaura, 8-uređaj za kočenje,

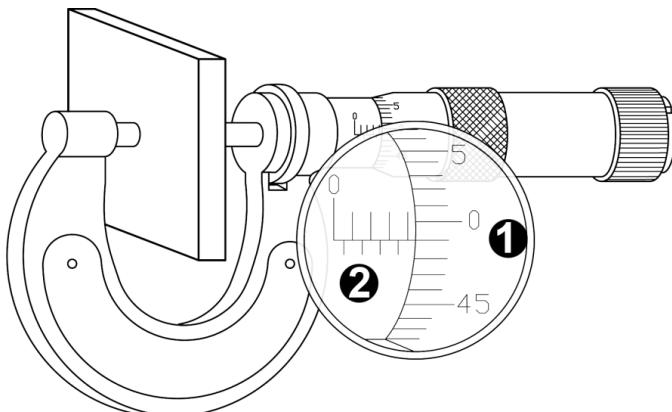
Merno područje mikrometra po pravilu iznosi 25 mm bez obzira na veličinu njegovog tela¹⁵. Granica od 25 mm usvojena je da bi se izbegle greške pri izradi mikrometarskog mehanizma (u prvom redu mikrometarskog navoja), a što bi za posledicu imalo mernu nesigurnost.

Tačnost očitavanja kod mikrometra je određena korakom mikrometarskog navoja i brojem podeoka na skali doboša. Mikrometarski navoj ima korak od 0,5 mm (kod nekih konstruktivnih izvedbi korak mikrometarskog navoja može biti 1 mm). Kod mikrometra sa korakom navoja od 0,5 mm obrtanjem obrtnog doboša za jedan krug, pokretni merni završetak se aksijalno pomeri za 0,5 mm. Po obimu konično

¹⁵ Kod mikrometra koji su namenjeni merenju dimenzija 500 do 1000 mm merno područje najčešće iznosi 50 mm.

sužene ivice okretnog doboša nalazi se skala podeljena sa 50 podeoka¹⁶. Zakretanjem doboša za jedan podeok ostvaruje se aksijalno pomeranje pomerljivog mernog završetka za 0,01 mm.

Na slici 2.30 prikazan je primer očitavanja vrednosti merene veličine na mikrometru. Ivica okretnog doboša (poz. 1) nalazi se između 4 i 5 podeoka skale na nepokretnoj čauri (poz. 2). Takođe, 49 podeok okretnog doboša (poz. 1) poklapa se sa uzdužnom linijom na nepokretnoj čauri, koja predstavlja repernu crtu. S obzirom na to da se ne vidi podeok sa donje strane skale nepokretnе čaure (između 4 i 5 podeoka) zaključuje se da okretni doboš nije prešao polovinu, pa je očitana dimenzija 4,49 mm. (U slučaju, da je donji podeok između 4 i 5 podeoka nepokretnе čaure bio vidljiv izmerena vrednost bi iznosila 4,99 mm).



SI. 2.30. Primer očitavanja merne veličine na mikrometru ($L=4,49\text{ mm}$)

1-skala okretnog doboša, 2-skala nepokretnе čaure

Greške merenja prouzrokovane od strane merila (mikrometra) su:

- greške u koraku zavojnice mikrometarskog navoja,
- neparalelnost i neuravnjenost mernih površina,
- elastična deformacija tela pod uticajem mernog pritiska,
- nedovoljno precizno izrađene skale na uzdužnoj čauri i okretnom mernom dobošu.

¹⁶ Kod mikrometra čiji je korak mikrometarskog navoja 1 mm ivica okretnog doboša podeljena je na 100 delova (podeoka).

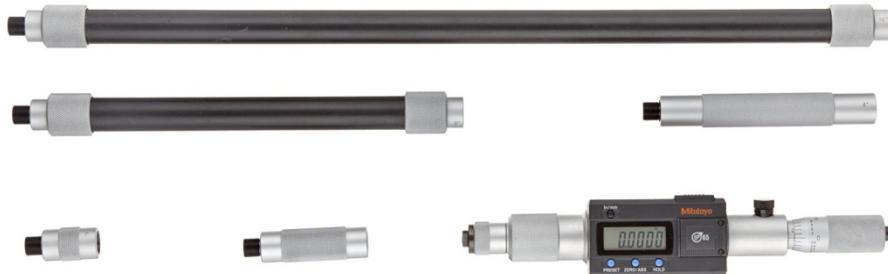
Savremene izvedbe mikrometra omogućavaju očitavanje izmerenih vrednosti na elektronskom displeju.

Na slici 2.31 prikazano je konstruktivno rešenje mikrometra sa elektronskim displejom za merenje spoljašnjih dimenzija proizvođača Micromaster, opsega pokazivanja 0-30 mm i maksimalno dozvoljene greške merenja $\pm 4 \mu\text{m}$.



Sl. 2.31. Mikrometar za merenje spoljašnjih dimenzija sa elektronskim displejem proizvođača Micromaster

Na slici 2.32 prikazano je konstruktivno rešenje mikrometra sa elektronskim displejom za merenje unutrašnjih dimenzija proizvođača Mitutoyo maksimalno dozvoljene greške merenja $\pm 4 \mu\text{m}$. Opseg pokazivanja ovog merila je 25 mm, pri čemu se merno područje¹⁷ može menjati dodavanjem odgovarajućih nastavaka u opsegu od 200 do 2000 mm



Sl. 2.32. Mikrometar za merenje unutrašnjih dimenzija sa elektronskim displejem proizvođača Mitutoyo

¹⁷ Merno područje predstavlja najveću veličinu koju merni instrument može da izmeri.

Na slici 2.33 prikazano je konstruktivno rešenje mikrometra sa elektronskim displejom za merenje unutrašnjih cilindričnih dimenzija proizvođača Intrumik, opsega pokazivanja 35-40 mm i maksimalno dozvoljene greške merenja $\pm 4 \mu\text{m}$. Osnovna razlika ovog mernog instrumenta u odnosu na ranije prikazane je postojanje tri merna završetka, od čega su sva tri pokretna. Ovakvo konstruktivno rešenje mikrometra omogućava tačno pozicioniranje mernog instrumenta tokom merenja (osa tela se poklapa sa osom rupe ili otvora).



Sl. 2.33. Mikrometar za merenje prečnika unutrašnjih cilindričnih dimenzija sa elektronskim displejom proizvođača Intrumik

Na slici 2.34 prikazano je konstruktivno rešenje dubinomera sa elektronskim displejom proizvođača Micromaster, opsega pokazivanja 0-90 mm i maksimalno dozvoljene greške merenja $\pm 4 \mu\text{m}$.



Sl. 2.34. Mikrometar za merenje dubina sa elektronskim displejom proizvođača Micromaster

2.6. KOMPARATORI

Komparatori su merni instrumenti koji tokom merenja ne pokazuju absolutnu vrednost neke dimenzije već veličinu njenog odstupanja od neke zadate mere. Komparator je instrument koji se koristi za kontrolu odstupanja nekog predmeta od dimenzija, oblika i položaja. Tokom merenja komparator se oslanja na odgovarajući nosač (sl. 2.35b, poz. 10). Zbog svog principa rada podesni su za tehničku kontrolu u pojedinačnoj, serijskoj i masovnoj proizvodnji. Prema principu rada mogu se podeliti na: mehaničke, optičke, električne, pneumatske i hidraulične.

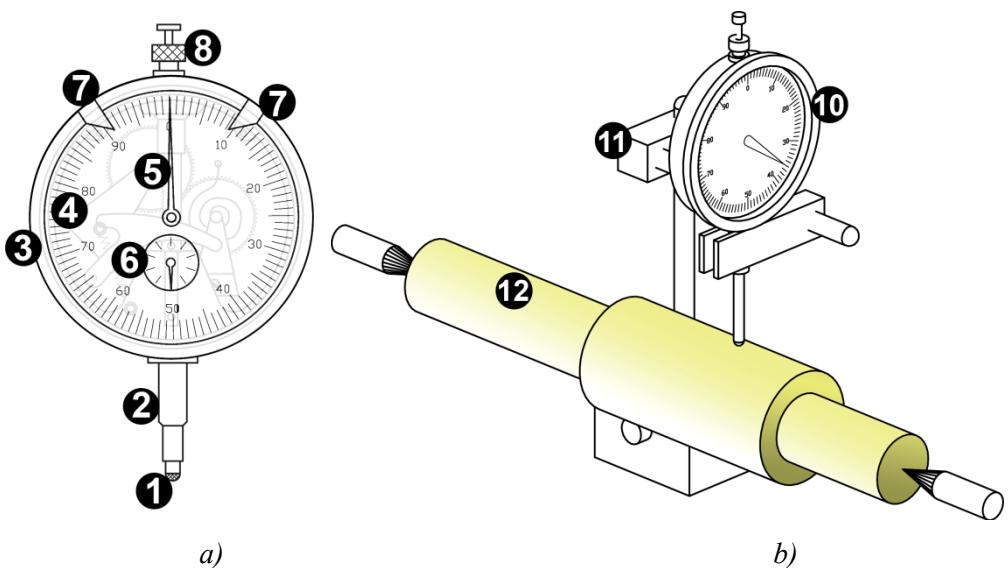
Merni završetak komparatora (koji najčešće ima translatoryno kretanje) povezan je preko prenosnog mehanizma za pokretnu kazaljku. Kružno kretanje kazaljke na skali komparatora je proporcionalno vertikalnom pomeranju mernog završetka.

Osnovni delovi komparatora prikazani su na slici 2.35a. Merni završetak (poz. 1) koji se oslanja na površinu kontrolisanog predmeta najčešće je loptastog oblika, ali može imati i drugačiji oblik, zavisno od površine predmeta koji se kontroliše. Merni završetak je navojnom vezom vezan za aksijalno pomerljivu polugu (poz. 2) koja merni završetak potiskuje na površinu predmeta meranja silom od oko 0,8-1 N. Unutar kućišta (poz. 3) izrađenog od duraluminijuma ili nerđajućeg čelika smešten je mehanizam za uvećanje. Prečnik kućišta je najčešće 40 ili 60 mm. Po obimu kućišta kompartora postavljeni su pokretni pokazivači koji se mogu pomerati po obimu kućišta i postaviti na granične vrednosti dozvoljenog odstupanja (poz. 7). Na prednjem delu kućišta nalazi se kružna skala (poz. 4). Glavnu kazaljku (poz. 5) preko mehnizma za uvećavanje pogoni aksijalno pomerljiva poluga. Pomeranjem mernog završetka za 1 mm, mehanizam za uvećanje zakreće glavnu kazaljku komparatora za jedan krug. S obzirom na to da je cela kružna skala podeljena na 100 podeoka, svaki od njih odgovara pomeranju mernog završetka za 0,01 mm. Ovo je ujedno i tačnost merenja sa komparatorom¹⁸. Duži podeoci skale (naneseni na svakih 10 podeoka), obeleženi brojevima 10-20-30 itd., predstavljaju desete delove milimetra. Pre početka merenja potrebno je izvršiti nulovanje komparatora dovođenjem kazaljke u null položaj na kružnoj skali. Zakretanje kazaljke vrši se pomoću zavrtnja (poz.8). Kod nekih tipova komparatora nulovanje se obavlja zakretanjem kružne skale.

Tokom merenja kod kojih je pomeranje mernog završetka veće od 1 mm, potrebno je odrediti broj punih krugova glavne kazaljke komparatora. Iz tog razloga komparatori su opremljeni malom skalom i kazaljkom za registrovanje pomeranja u mm (poz. 6). Jedan podok na maloj skali odgovara pomeranju mernog završetka za 1

¹⁸ Kod od nekih preciznijih tipova komparatora može da se postigne tačnost merenja od 0,005 do 0,002 mm, dok je kod minimetra (vrsta komparatora visoke tačnosti), tačnost od 1 µm ($1/1000=0,001$ mm). Područje merenja ovih mikrometara visoke tačnosti je ograničeno na 1 mm a neretko i manje.

mm. Ova skala je podeljena na 10 delova (merno područje komparatora je 10 mm).



Sl. 2.35. Komparator

a-konstruktivni izgled, b-primer primene komparatora

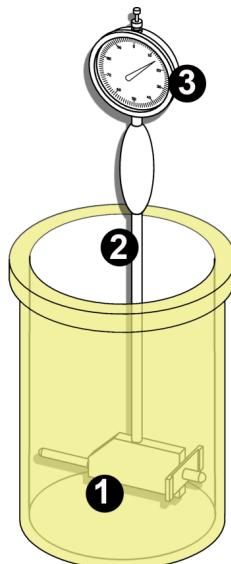
1- merni završetak, 2-poluga, 3-kućište, 4-skala, 5-glavna kazaljka, 6-milimetarska skala, 7- pokretni pokazivači, 8- zavrstanj za nulovanje komparatora, 9- komparator, 10-nosač komparatora, 11-predmet merenja

Komparatori za unutrašnje mere služe za kontrolu unutrašnjih dimenzija manjih veličina i dubina. Nulovanje ovih komparatora se vrši pomoću etalon prstena ili merilima veće tačnosti od komparatora. Osim merenja unutrašnjih dimenzija, ovi komparatori omogućavaju kontrolu veličine ovalnosti i cilindričnosti rupa.

Komparatori za unutrašnje mere se sastoje iz merne glave (poz. 1), cevastog nosača (poz. 2) i mernog mehanizma (poz. 3) koji je najčešće komparator za spoljašnje mere. Cevasti nosač se može produžavati zamenljivim šipkama, čime se mogu kontrolisati rupe različitih dubina (do 300 mm) (sl. 2.36.).

Za tačno merenje prečnika rupe potrebno je da merni završeci budu centrirani po središtu rupe koja se kontroliše. Da bi se ispunio ovaj uslov komparatori za unutrašnje mere su opremljeni mehanizmom za centriranje (montiran sa spoljašnje strane pokretnog mernog završetka). Ovaj mehanizam se obično sastoji od jedne pločice, koja se potisnuta oprugom oslanja o mernu površinu rupe u dve tačke. Na taj

način automatski dovodi osu mernog završetka u centar rupe¹⁹.



Sl. 2.36. Komparator za unutrašnje mere („Subitor“)

1-merna glava, 2-cevasti nosač,
3-merni mehanizam (komparator)

Drugi tipovi komparatora

Pored mehaničkih komparatora u proizvodnoj praksi široku primenu našli su optički, elektronski i pneumatski komparatori.

Kod *optičkih komparatora* mehanički prenos je zamenjen optičkim. Ovi komparatori imaju veću tačnost od mehaničkih. Merni završetak prenosi kretanje na dvokraku polugu, na čijem drugom kraju se nalazi ogledalo koje se zakreće i odbija svetlosni snop na skalu. Podela na skali je 0,001 mm. Uvećanje prenosa iznosi 1000 puta. Sa sličnim prenosnim odnosom radi i optimetar. Svetlost sa izvora svetlosti pada na ogledalo odakle se reflektuje preko prizme na graviranu staklenu ploču.

U grupu optičkih komparatora spada ultra optimetar (sl. 2.37.). To je instrument velike tačnosti. Tačnost očitavanja ovog mernog instrumenta je 0,0002 mm.

¹⁹ Upravnost ose pokretnog mernog završetka i ose rupe se postiže laganim oscilovanjem instrumentom, sve dok kazaljka na skali ne zauzme minimalnu vrednost. Taj položaj je merodavan za stvarnu meru prečnika rupe.



Sl. 2.37. Optimetar Guiyang Xintian Oetech Co., Ltd. JD22A

Kod elektronskih komparatora merenje se vrši najpre pretvaranjem mehaničke merne veličine u električnu, a zatim pretvaranjem električne merne veličine u mehanički otklon kazaljke, digitalni prikaz ili zvučni signal (2.38.). Elektronski komparatori imaju tačnost merenja 0,0001 mm. Prednosti elektronskih komparatora u odnosu na mehanički, optički ili mehaničko-optički se ogledaju u mogućnosti da se mesto merenja može prostorno odvojiti od mesta prikazivanja mernih rezultata.



Sl. 2.38. Elektronski komparator

Posebnu grupu komparatora čine pneumatski komparatori koji kao prenosni medijum koriste sabijeni vazduha (2.39.). S obzirom na to da je na ovaj način eliminisano habanje i trenje u ležajima, kao i deformacije, merenja su veoma

precizna. Kod ovih komparatora je takođe eliminisan i uticaj habanja mernih alata (glava), jer se merenje obavlja bez direktnog dodira istih sa mernim predmetom. Pneumatski komparatori imaju tačnost merenja 0,0001 mm.



Sl. 2.39. Pneumatski komparator sa digitalnim displejom

2.7. MERENJE UGLOVA²⁰

Merila za uglove mogu biti jednostruka ili višestruka. Jednostruka merila služe za merenje samo jednog određenog ugla, dok se višestrukim merilima mogu meriti svi uglovi u granicama opsega merenja takvog merila. Prema načinu merenja, uglovi se mogu meriti primenom trigonometrijskih merila, pomoću uglomera, primenom libele ili merenjem koniciteta²¹. Pri merenju uglova u praksi se obično pojavljuju sledeći zadaci:

- Merenje pravog ugla odnosno odstupanja od pravog ugla,
- Merenje bilo kog ugla u stepenima, minutima, sekundama ili
- Merenje nagiba ili tangensa ugla.

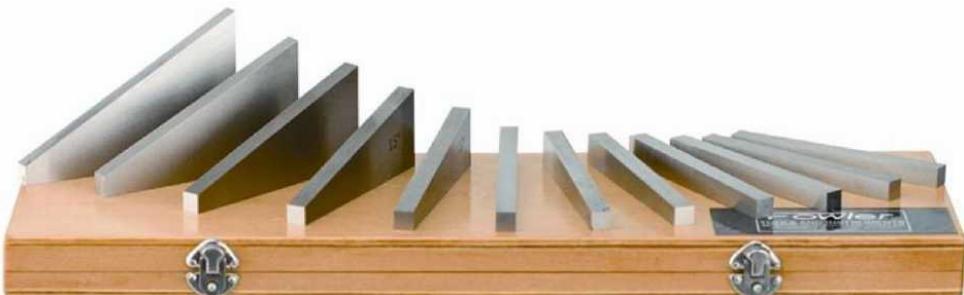
²⁰ Jedinica za merenje uglova je 360-ti deo punog kruga i naziva se stepen. Stepen se deli na 60 minuta odnosno 3600 uglovnih sekundi.

²¹ Konicitet- kupastost, kosina, nagnutost, postepeno sužavanje

2.7.1. Jednostruka merila uglova

a) Granična merila

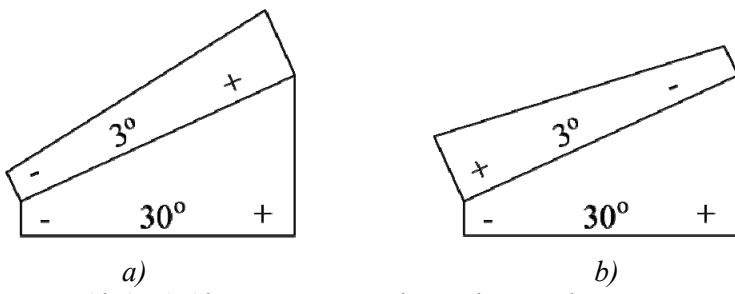
Granična merila za uglove predstavljaju merne instrumente slične paralelnim graničnim merilima, s tim što se primenom različitih slogova mogu dobiti različiti uglovi (2.40).



Sl. 2.40. Granična merila za uglove

Slogovi ovih merila su tako podešeni da svaki element daje dva ili četiri ugla, a njihovom kombinacijom se mogu postići svi uglovi između 0 i 180° u razmacima (skokovima) od $1'$ ili $5'$. Nalegajuće površine ovih merila su brušene i lepovane. Pri svakom prianjanju najveća greška koja nastaje slaganjem slogova ugaonih graničnih merila iznosi $12''$.

Na slici 2.41 prikazan je slog graničnih merila izrađen od dva elementa. Prvi element je pod uglom od 30° a drugi 3° . Slaganjem slogova kao što je prikazano na slici 2.41a dobijeni ugao iznosi 33° , a na slici 2.41b iznosi 27° .



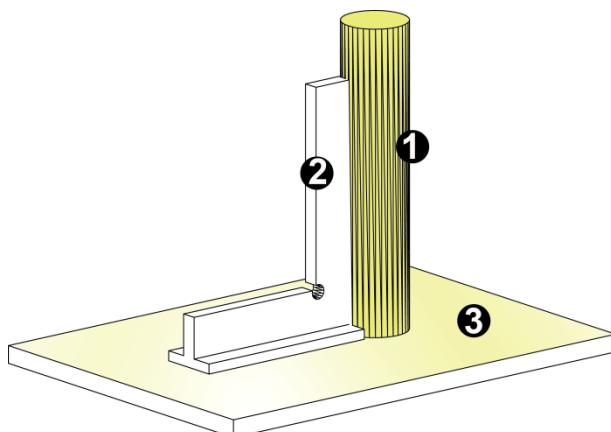
Sl. 2.41. Slaganje graničnih merila za uglove
a-ugao od 33° , b-ugao od 27°

b) Ugaonici

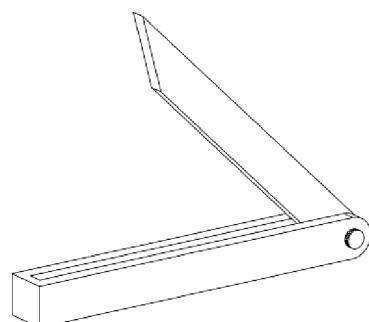
Ugaonici služe za kontrolu i obeležavanje uglova. Izrađuju se najčešće od čelika. Ugaonici mogu biti fiksni ili podesivi. Uglovi koje čine kraci fiksnih ugaonika

najčešće iznose 30° , 45° , 60° , 90° , 120° ili 135° . Najširu primenu u mašinstvu ima ugaonik od 90° sa jednakim ili nejednakim kracima. Ugaonici imaju dva kraka koji međusobno zaklapaju neki određeni ugao. Da bi se nepodesivim ugaonikom obavila kontrola na pravilan način potrebno je da se jedan njegov krak nasloni na jednu od dve površine, koje obrazuju ugao koji se proverava. Pri tome je neophodno voditi računa da ravan ugaonika leži upravno prema ivici predmeta. Poklapanje druge površine predmeta sa drugim krakom ugaonika se kontroliše posmatranjem svetlosnog procepa. Poprečni presek krakova je obično pravougaonog oblika. Ugaonici od 90° se dele na 4 klase tačnosti i to precizni nožasti ugaonik, normalni ugaonik, radionički ugaonik I i radionički ugaonik II.

Na slici 2.42 prikazan je primer kontrole upravnosti omotača valjka u odnosu na bazis (poz. 1). Bazis valjka i jedan krak ugaonika (poz. 2) oslonjeni su na referentnu površinu (poz. 3). Posmatranjem svetlosnog procepa između omotača valjka i naspramnog kraka ugaonika utvrđuje se postojanje odstupanja od upravnosti.



*Sl. 2.42. Primena fiksnih ugaonika
1-valjak (predmet kontrole), 2-ugaonik, 3-
referentna površina*



Sl. 2.43. Podesivi ugaonik

Za kontrolu uglova proizvoljne vrednosti koriste se podesivi ugaonici (sl. 2.43.). Pomoću njih zahvaćeni ugao se upoređuje sa nekim etalon uglem ili se prenosi na uglomer sa skalom.

c) Tolerancijska merila za uglove

U ovu grupu spadaju jednostruka merila za proveru uglova konusa, kao što su: čaura sa crticom, konusni trn sa crticom i konusni trn sa crticom i ivicom. Ova metoda je jednostavna i raširena u radioničkoj praksi. Na slici 2.44 prikazano je tolerancijsko merilo za konuse proizvođača Hommel & Seitz. Ovo merilo kao

graničnik dozvoljenog odstupanja od ugla ima crtu (poz. 1) i ivicu konusnog dela merila (poz. 2). Ukoliko je konus izrađen odgovarajućih dimenzija i pod uglom koji se nalazi u dozvoljenoj granici odstupanja konusna površina merila će upasti u otvor između dve granične linije (poz. 1 i poz. 2). Osnovni nedostatak ove metode je što prilikom merenja (kontrole) nema direktnog uvida u način naleganja (naleganje se procenjuje ili ocenjuje posredno pomoću boje nanete na površinu merila).

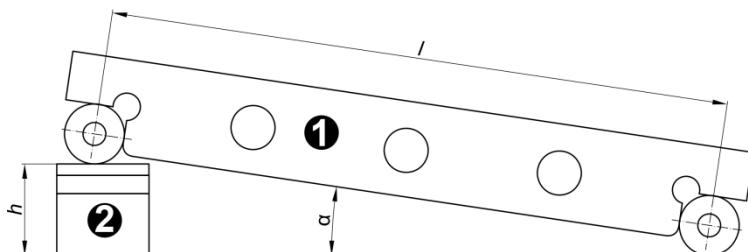


Sl. 2.44. Tolerancijsko merilo za konuse proizvođača Hommel&Seitz (DIN 2079)

1-granična crta, 2-granična ivica merila

d) Trigonometrijski metod merenja uglova

Za merenje uglova trigonometrijskom metodom najčešće se koriste sinusni i tangentni lenjiri. Merenje uglova sinusnim lenjirom se svodi na određivanje dve strane pravouglog trougla. Sinusni lenjur na svojim krajevima ima ureze u kojima su učvršćeni valjčići istog prečnika. Gornja površina lenjira je paralelna ravni koja prolazi kroz ose valjčića (sl. 2.45).



Sl. 2.45. Merenje ugla pomoću sinusnog lenjira

1-sinusni lenjur, 2-set paralelnih graničnih merila

Rastojanje između osa valjčića (l) iznosi 100, 200 i 400 mm. Sinusni lenjur (sl. 2.45, poz. 1) je najčešće tako konstruisani da se jedan valjčić može postaviti neposredno na ravnu ploču (podlogu) dok se ispod drugog valjčića postavljaju paralelna granična merila (poz. 2). Izbušene rupe na lenjiru služe za pričvršćivanje lenjira na ugaonu ploču.

Ugao α se izračunava iz sinusne teoreme:

$$h = \sin \alpha \cdot l \Rightarrow \sin \alpha = \frac{h}{l}$$

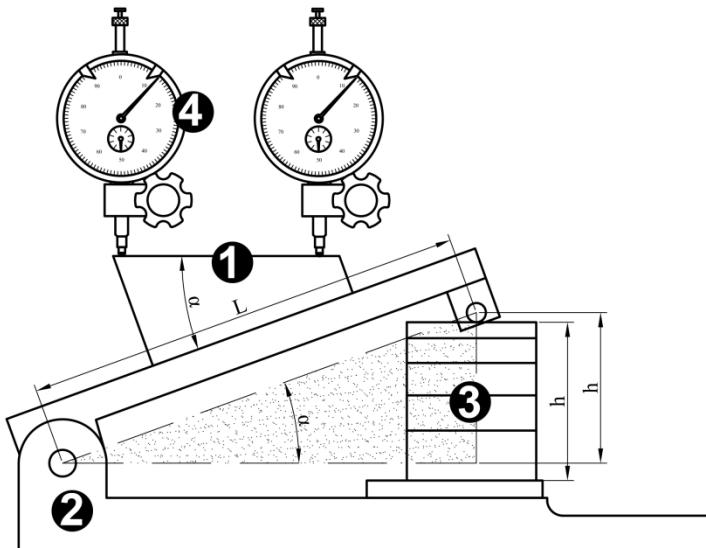
gde je:

l - dužina lenjira (hipotenuza trougla),

α - ugao koji treba podesiti – postaviti,

h - visina paralelnih merila (naspramna kateta nad uglom α).

Sinusni lenjiri imaju široku primenu u tehnici merenja. Merni sto sa sinusnom prizmom se često koristi na mašinama alatkama kao alat za pozicioniranje obratka pod tačno određenim uglom. Na slici 2.46 prikazan je posredni metod kontrole ugla (α) nekog predmeta (poz. 1). Sinusni sto (poz. 2) postavi se pomoću seta paralelnih graničnih merila (poz. 3) pod određenim uglom (α). Predmet čiji se ugao kontroliše postavi se na radnu ploču mernog stola sa sinusnom prizmom, a zatim se preko gornje površine predmeta aksijalno povlači komparator (poz. 4). Ukoliko je ugao predmeta jednak podešenom uglu sinusne prizme merni završetak komparatora se neće aksijalno pomerati (kazaljka komparatora će mirovati).



Sl. 2.46. Merni sto sa sinusnom prizmom
1-mereni predmet, 2-merni sto, 3-set paralelnih graničnih merila, 4-komparator

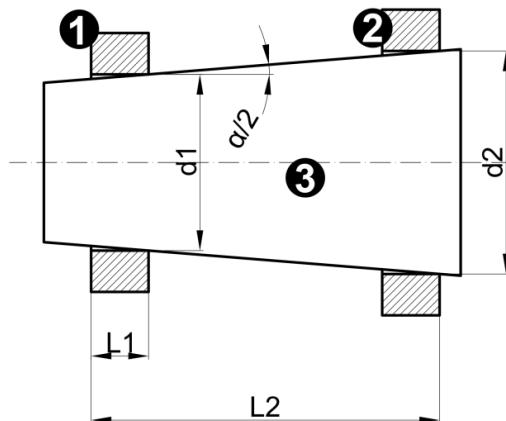
Greške pri merenju uglova pomoću sinusnog lenjira zavise u prvom redu od razlike stvarnih prečnika valjčića, kao i njihovog položaja u odnosu na gornju površinu lenjira. Takođe, zavise od greške graničnih merila i ostalih alata (sprava za

merenje) koje se koriste, pa je ukupna greška merenja primenom sinusnog lenjira u intervalu od 10-15".

Za kontrolu spoljne koničnosti koriste se različite metode: primenom sinusnog lenjira, primenom dva prstena i sl.

Na slici 2.47 prikazana je metoda merenja spoljne koničnosti nekog predmeta (poz 3), primenom dva prstena (poz. 1 i poz. 2). Metalni kalibrirani prstenovi se postavljaju na predmet čija se koničnost meri a zatim se meri rastojanje između njih (L_2). Sa slike proizilazi da je tangens polovine ugla (α) jednak:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot (L_2 - L_1)}$$

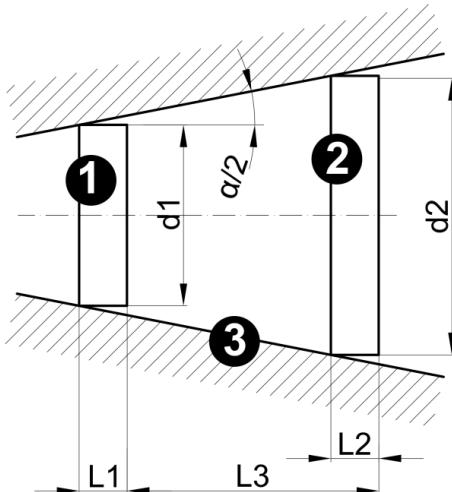


Sl. 2.47. Merenje konusa sa dva prstena

1-2 – kalibrirani prstenovi, 3-predmet merenja

Za kontrolu unutrašnje koničnosti najčešće se koristi metod dva merna koluta. Na slici 2.48 prikazana je šema merenja unutrašnjeg konusa (poz. 3) primenom dva koluta (poz. 1 i poz. 2). Merenje unutrašnjeg konusa sa dva koluta vrši se tako što se u šupljinu konusa postavljaju dva koluta različitog prečnika (d_1 i d_2) i izmeri njihovo odstojanje (sl. 2.48). Tangens polovine ugla (α) izračunava se jednačinom:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot (L_1 + L_3 - L_2)}$$



Sl.2.48. Merenje unutrašnjeg konusa pomoću dva koluta

2.7.2. Višestruka merila uglova

a) Uglomeri

Uglomeri služe za merenje različitih uglova apsolutnom metodom merenja. Uglomeri se dele na optičke²² i mehaničke.

U grupu mehaničkih uglomera spadaju uglomeri kojima se mogu meriti uglovi od 0-180°. Kod njih zbirna greška iznosi približno 10'.

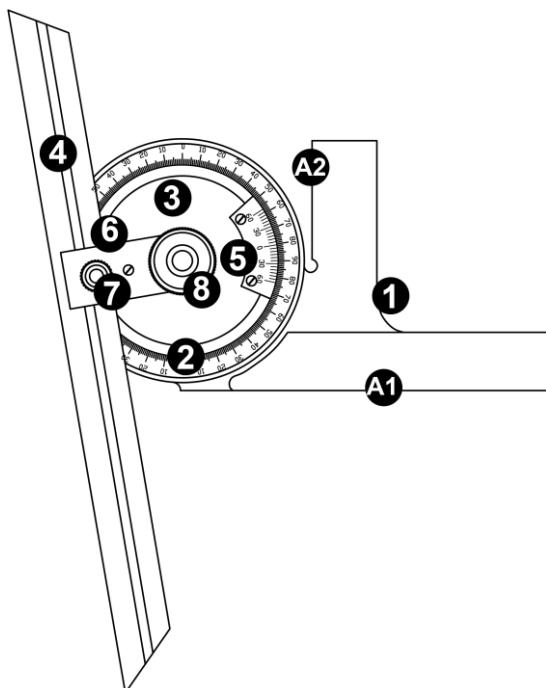
Veća tačnost pri merenju se postiže pomoću univerzalnog uglomera koji su najčešće izrađeni od nerđajućeg čelika. Univerzalni uglomer se koristi za merenje uglova sa tačnošću većom od jednog stepena. Ovo merilo u tu svrhu poseduje nomijus skalu koja omogućava očitavanja delova stepena ($5' = 1/12^\circ$).

Na slici 2.49 prikazani su osnovni delovi univerzalnog uglomera. Ugaonik (poz.

²² Optički univerzalni uglomeri su precizniji od mehaničkih. Kod njih se u kućištu nalazi ugrađena skala, koja je precizno izrađena na staklenoj ploči. Očitavanje rezultata se vrši pomoću luke ili mikroskopa. Skala je osvetljena prolaznom svetlošću. Ovde je eliminisan uticaj paralakse. Podeoni krug na mernoj skali sadrži podelu od $4 \times 90^\circ$ pri čemu je svaki stepen podeljen na 6 delova što znači da svaki razmak iznosi 10 minuta. Povećanje luke za očitavanje iznosi 16. Maksimalna greška je $< 5'$. Savremeni optički uglomeri rade sa mikroskopom čije povećanje iznosi 23. Veličina očitavanja iznosi 5' a greška merenja je $< \pm 2,5'$.

1), čvrsto je spojen sa kružnom skalom (poz. 2). Površina ugaonika (A1) služi kao glavna oslona površina merila na predmete. Drugi krak ugla definiše pokretni merni krak (poz. 4). Površina ugaonika (A2), upravna na glavnu oslonu površinu služi kao pomoćna površina za oslanjanje u nekim specifičnim slučajevima (Neki tipovi uglomera ne poseduju pomoćnu oslonu površinu.). Kružna skala uglomera (poz. 2) sačinjena je iz celog kruga koji je podeljen u četiri kvadranta, a svaki kvadrant je obeležen podeocima od 0 do 90° . Vrednost podeoka na kružnoj skali je 1° . Na okretnom disku (poz 3) čvrsto je vezana nonius skala (poz. 5). Osa nonius skale se poklapa sa osom kružne skale (poz. 2). Duž pokretnog mernog kraka (poz. 4) izrađen uzdužni kanal za vođenje preko nosača (poz. 6). Krajevi pokretnog kraka su zasećeni pod uglom od 45° s jedne strane i 60° s druge strane. Nosač pokretnog kraka (poz. 6) spojen je sa kružnom skalom (poz. 2) i diskom (poz. 3), preko zajedničke osovine. Blokiranje nosača (poz. 4) obavlja se preko vijka sa ekscentrom (poz. 7). Vijak (poz. 8) obezbeđuje blokiranje nosača (poz. 6) u odnosu na disk (poz. 3) i skalu (poz. 2). Za ovaj vijak može biti učvršćena lupa za olakšano očitavanje u zoni nonijusa.

Lučna nonius skala uglomera koristi se po istom principu kao nonius skala merila za merenje dužina (sl. 2.50.). Nonius skala univerzalnog uglomera izrađena je tako da je 11 ugaonih stepeni podeljeno na 12 jednakih delova. Ugao između dva podeoka na nonius skali je $55'$. Pri tome svaki podeok ima vrednost od $5'$.

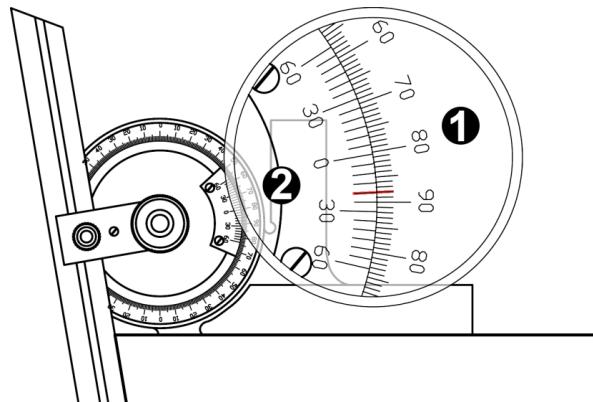


Sl. 2.49. Univerzalni uglomer

1-telo (ugaonik), 2-kružna skala, 3-okretni disk, 4-merni krak, 5-nonius skala, 6-nosač, 7-8-vijak

Na slici 2.50 prikazan je primer očitavanja vrednosti ugla na univerzalnom uglomeru. Vrednost ugaonih stepeni se izražava brojem podeoka koji se nalazi između

nule glavne skale (poz. 1) i nultog podeoka nonijus skale (poz. 2). Vrednost ugaonih minuta određuje podeok na skali nonijusa (računajući od nultog podeoka), koji se poklapa sa bilo kojim podeokom na glavnoj skali. U primeru na slici 2.50 nulti podeok nonijus skale nalazi se između 80 i 81 podeoka osnovne skale a četvrti podeok nonijus skale se poklapa sa nekim od podeoka osnovne skale. Ovo znači da izmereni ugao ima vrednost $80^{\circ}20'$ (vrednost jednog podeoka na nonijus skali je $5'$).



Sl. 2.50. Primer očitavanja vrednosti ugla na univerzalnom uglomeru ($\alpha=80^{\circ}20'$)

1-kružna (osnovna) skala, 2-nonijus skala

Tokom merenja mora se voditi računa o smeru očitavanja vrednosti. Naime, nonijus skala (poz. 1) se sastoji od dva segmenta sa po 12 podeoka koji zaklapaju ugao od 11° . Jedan segment usmeren je u levu a drugi u desnu stranu u odnosu na nulti podeok. Segment nonijusa koji je usmeren u desnu stranu primenjuje se u slučaju kada se uglovi očitavaju na desnoj strani kružne skale a levi segment na levoj strani kružne skale.

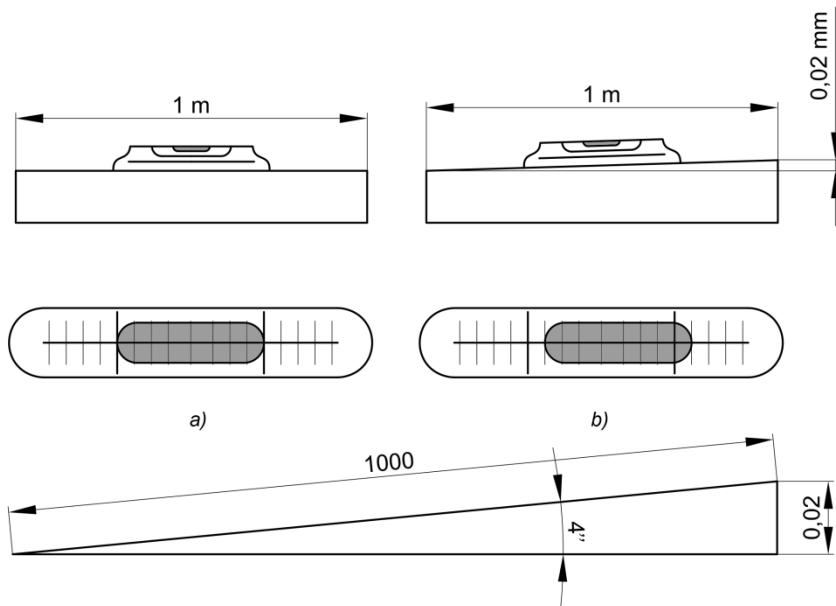
b) Libela

Libele služe za merenje malih uglova (nagiba). Libele se razlikuju po svojoj konstrukciji i mogu se podeliti na:

- Libele sa ravnom osnovom, za ravne površine,
- Libele sa prizmatičnom osnovom,
- Okvirne libele za horizontalne i vertikalne ravne ili cilindrične površine,
- Ravne libele sa mikrometarskim zavrtnjem,
- Libele sa uglovnom skalom,
- Crevne libele (funkcionisu na principu zakona spojenih sudova).

Libela se sastoji od staklene cevi koja je delimično ispunjena alkoholom, sumpornim etrom ili sl., tako da ostatak zapremine cevi sačinjava vazdušni mehur. Dužina mehura treba da je takva da u horizontalnom položaju, na temperaturi od 20°C, leži između nultih podeoka (2.51a). Provera tačnosti libele se sastoji u kontroli nultog položaja okretanjem libele u horizontalnoj ravni (oko vertikalne ose) za 180°.

Na slici 2.51b prikazan je primer očitavanja nagiba primenom libele sa vrednošću podeoka 0,02 mm/m. Sa slike se vidi da pomeranjem položaja mehura za jedan podeok promena visine na dužini od 1 m je 0,02 mm odnosno da je nagibni ugao 4''.



Sl. 2.51. Mehur libele

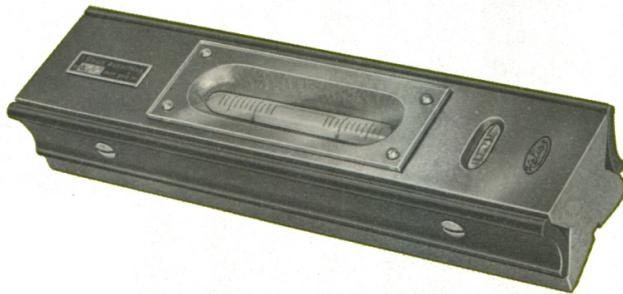
a-libela u horizontalnom položaju, b-libela pod nagibnim uglom od 4''

Pri upotrebi libele neophodno je voditi računa da površine libele potpuno naležu na površinu čiji se ugao (nagib) meri.²³ Da bi se postiglo pravilno naleganje libele na mernu površinu, libelu treba nekoliko puta aksijalno pomeriti u suprotnim smerovima. Očitavanje treba vršiti tek kada se mehur potpuno umiri. Ovo traje duže što je vrednost podeoka manja. Merenje libelom sa malom vrednošću podeoka treba uvek vršiti uz

²³ Najmanja čestica prašine, koja se nalazi između nalegajućih površina, dovodi do grešaka. Tako na primer, kod libela sa veličinom podeoka od 0,1 mm/m, dužine 200 mm dovoljna je čestica prašine od 0,02 mm, koja se nalazi ispod jednog kraja libele, pa da se pojavi greška koja je jednaka veličini jednog podeoka.

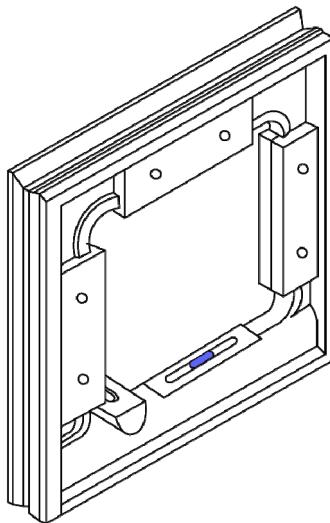
okretanje libele za 180° . Kao rezultat merenja uzima se srednja vrednost dva očitavanja mere iz dva različita položaja.

Bravarska libela se izrađuje različitih dužina, najčešće 150, 200, 250, 300, 400 i 500 mm. Vrednost podeoka bravarskih libela može biti 0,02; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3 do 0,4 mm/m. Radna površina je prizmatičnog oblika tako da mogu da se postave i na cilindrične površine (sl. 2.52.).



Sl. 2.52. Bravarska libela

Okvirne libele služe za kontrolu horizontalnog i vertikalnog položaja ravni tokom montaže mašina alatki i opreme (sl. 2.53). Izrađuju se u dimenzijama 200x200 mm ili 300x300 mm, a vrednost podeoka se kreće od 0,02-0,03 mm/m.



Sl. 2.53. Okvirna libela

2.8. KONTROLA PROFILA²⁴

Kontrola profila različitih predmeta može se vršiti direktnim i indirektnim metodama.

2.8.1. Direktne metode kontrole profila

Direktne metode kontrole profila se primenjuju u slučajevima kontrole jednostavnih, pravilnih geometrijskih oblika profila kao što je prava linija, krug i sl. Proveravanje ovakvih profila vrši se najčešće komparatorom.

Na slici 2.54. prikazan je primer kontrole ravnosti površine (poz. 1) primenom komparatora (poz. 2). Kontrola se vrši na taj način što se komparator pomera duž ispitivane površine (u različitim pravcima i smerovima). Tokom kontrole, nosač komparatora se oslanja na odgovarajuću baznu ravan. Pomeranjem kazaljke u različitim položajima komparatora registruju se pozitivna i negativna odstupanja od ravnosti površine koja se kontroliše. Sabiranjem apsolutnih vrednosti maksimalnog

²⁴ Obradom na strugu, glodanjem, brušenjem itd. mogu da nastupe razna odstupanja od idealnog oblika osovine ili rupe.

Trouglasti oblik sa jednakim debljinama pojavljuje se najčešće pri brušenju bez šiljaka. Trouglasti oblik šupljih osovina je posledica stezanja u tri tačke usled deformacija tankih zidova predmeta obrade.

Ovalni oblik je znak velikog zazora u ležajima glavnog vretena ili nepravilnog stezanja predmeta obrade. Ovalnost može da bude takođe i posledica deformacija nakon otpuštanja materijala.

Višeugaojni oblik nastaje kao posledica vibracija na mašini alatki, ili usled nedovoljnog broja obrta, nedovoljnog podmetanja (ležanja) predmeta obrade.

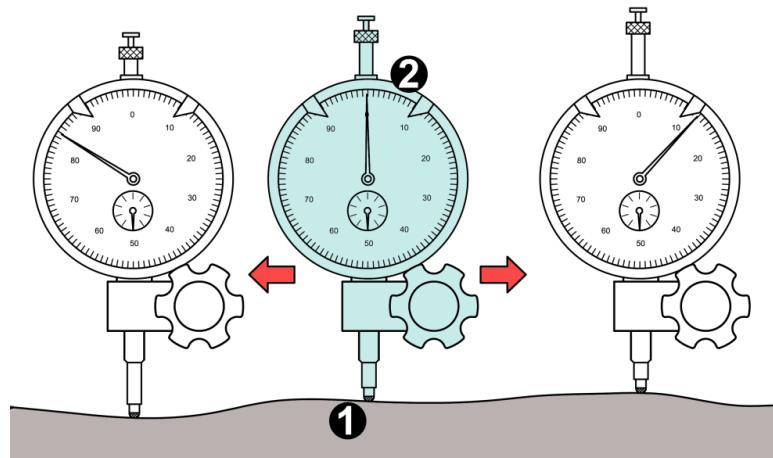
Ekscentričan oblik nastaje usled nepravilnog dodatka materijala za obradu, naročito prilikom brušenja, kao i zbog nepravilnog stezanja.

Posledice ovakvih grešaka oblika su veoma dalekosežne pa mogu često prouzrokovati neželjene posledice u eksploataciji mašina, motora, mehanizama sklopova i sl. Posledice grešaka oblika mogu biti:

- labavljenje čvrstih spojeva (naročito pri promenljivom opterećenju),
- kod ležaja dolazi do brzog habanja,
- pojava nepravilnih opterećenja kod ležaja i ubrzano habanje,
- u udubljenjima profila pod uticajem toplote dolazi do dekompozicije maziva te pojave korozije koja nagriza materijal,
- nemiran rad točkova - jednostrano opterećenje kugličnih ležaja,
- dolazi do prekida filma ulja za podmazivanje i
- preterano specifično trenje i lom delova.

Pomenuta odstupanja i njihove posledice upućuju na posebnu pažnju kojom treba obavljati kontrolu profila.

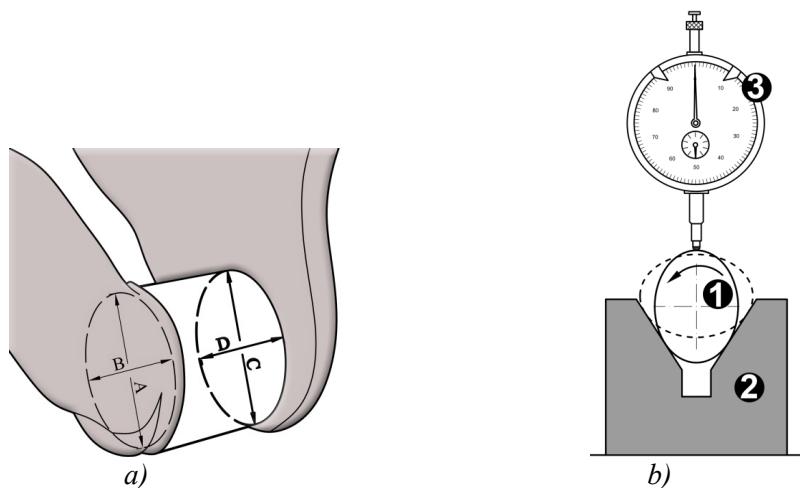
odstupanja izračunava se vrednost odstupanja od ravnosti.



Sl. 2. 54. Kontrola ravnosti komparatorom

1-površina čija se ravnost kontroliše, 2-komparator

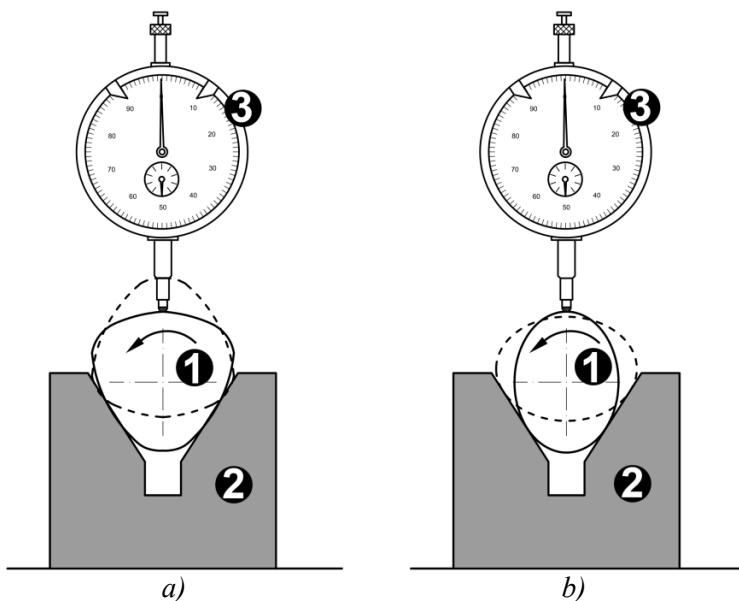
Merjenje ovalnosti cilindričnih predmeta moguće je merenjem prečnika predmeta u dva međusobno upravna pravca (sl. 2.55a) ili primenom komparatora (sl. 2.55b). Na slici 2.55a prikazan je primer kontrole ovalnosti rukavca kolenastog vratila motora merenjem prečnika u dva međusobno upravna pravca. Ovalnost se izračunava kao razlika izmerenih vrednosti prečnika u dva međusobno upravna pravca (A-B ili C-D). Na slici 2.55b prikazan je primer meranja ovalnosti cilindričnog predmeta (poz. 1) oslonjenog na mernu prizmu (poz. 2) pomoću komparatora (poz. 3).



2.55. Kontrola ovalnosti

a- merenjem prečnika u dva međusobno upravna pravca, b-primenom komparatora

Trouglasti oblik preseka tela (sl. 2.56, poz. 1) može se registrovati samo primenom prizmi za merenje (poz. 2) i komparatora (poz. 3).



Sl. 2.56. Kontrola trouglastih oblika primenom komparatora

2.8.2. Indirektne metode kontrole profila

Ove metode se koriste u slučajevima kada merni predmet ima složenu konturu (npr. bok zuba zupčanika ima oblik evolvente). Kontrola profila se vrši pomoću profilnih projektorova kod kojih se profil mernog predmeta (sl. 2.57, poz. 1) projektuje na zaslon (poz. 2). Na profilnim projektorima se mogu obaviti sledeće radnje:

- kontrola uvećanog stvarnog lika, projektovanog na ekran ili mlečno staklo i
- merenje pomoću koordinatnog stola i mernog krsta končanice na ekranu.

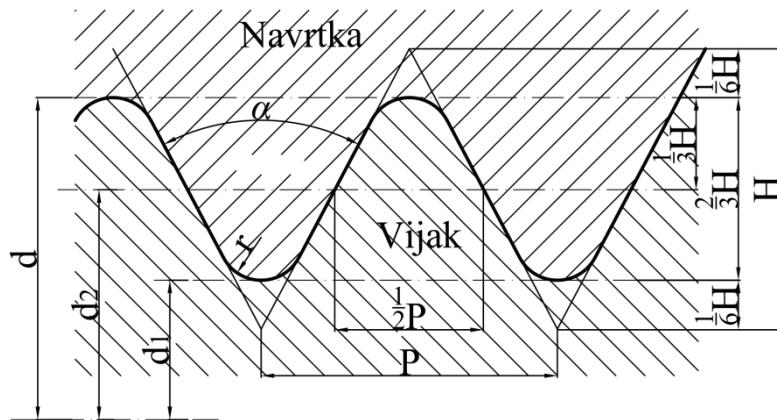


Sl. 2.57. Profil projektor (Starrett VB 400)
1-kontrolisani predmet, 2-zaslon

2.9. MERENJE I KONTROLA ZAVOJNICA

Merenje i kontrola zavojnica spada u najsloženije zadatke iz oblasti merne tehnike. Ovde naročito dolazi do izražaja razlika između merenja i kontrole.

Zavojnicu karakterišu veličine, koje su u uzajamnoj vezi (sl. 2.58.): spoljni prečnik (d), srednji prečnik (d_2), prečnik jezgra (d_1), korak (P) i ugao profila (α).



Sl.2.58. Karakteristične veličine navoja d -spoljni prečnik, d_1 -prečnik jezgra, d_2 -srednji prečnik, P -korak navoja, α -ugao profila, H -teoretska dubina navoja, r -zaobljenost navoja

U radioničkoj praksi pri kontroli zavojnica najčešće se ne vrši pojedinačno proveravanje navedenih karakterističnih veličina, već se merni predmet upoređuje sa tolerancijskim merilom i na osnovu subjektivnog osećaja (iskustva) kontrolora utvrđuje ispravnost zavojnice (Zbog subjektivne ocene prilikom upotrebe tolerancijskog merila postoji mogućnost pogrešnog ocenjivanja kvaliteta mernog predmeta.).

2.9.1. Tolerancijska merila za zavojnice

Kontrola zavojnica tolerancijskim merilima se vrši u velikoserijskoj ili serijskoj proizvodnji delova sa zavojnicama. Ova merila se dele na:

- radionička tolerancijska merila koja služe za kontrolu delova,
- reviziona merila koja služe za kontrolu istrošenosti radioničkih merila,
- merila za regulisanje radioničkih i revizionih merila.

Tolerancijska merila za kontrolu zavojnica kod navrtki se sastoje iz dva dela, za "dobru stranu" (sl. 2.59, poz. 1) koja treba da se lako uvrće u navrtku koja se kontroliše i dela za "lošu stranu" (poz. 2) koje se kod ispravne navrtke ne može uvrnuti.

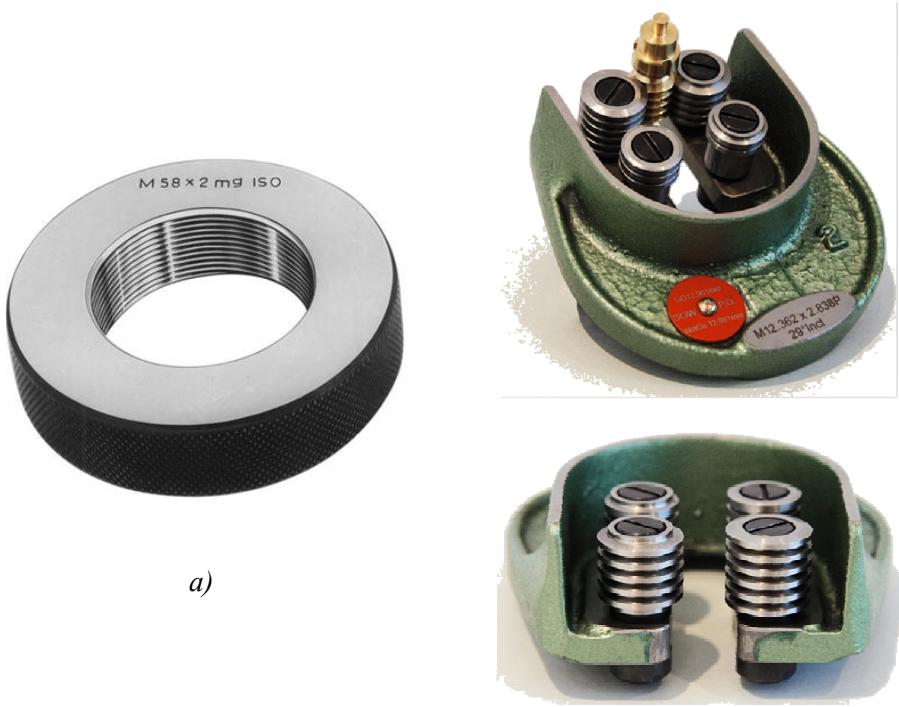


Sl. 2.59. Diferencijalni čep za kontrolu unutrašnjih navoja proizvođača Insize
1-strana „dobre“, 2-strana „loše“

Ova merila se izrađuju od čelika legiranog hromom. Zavojnica merila je brušena i okaljena.

Tolerancijska merila za kontrolu zavojnica kod zavrtnja (vijak) mogu biti u obliku prstena (sl. 2.60a) ili u obliku račvi (sl. 2.60b).

Račvasta merila se sastoje iz dva para valjaka. Prednji par valjaka predstavlja tzv. „dobru stranu“ pomoću koje se kontroliše srednji prečnik, ugao i korak profila zavojnice. Sa blago podmazanim valjcima „dobra strana“ mora svojom vlastitom težinom da klizi preko zavojnice zavrtnja koji se kontroliše. Zadnji par valjaka predstavlja tzv. „lošu stranu“ (ova strana ne sme da pređe preko vijka).



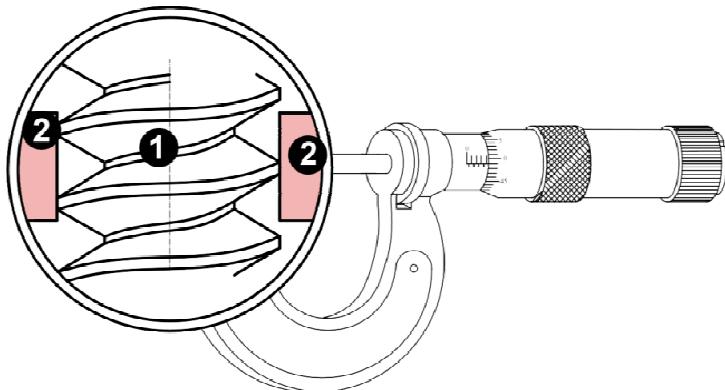
Sl. 2.60. Toleranciska merila za kontrolu spoljašnih zavojnica
a-kontrolni prsten, b-kontrolna račva

Račvasta merila za kontrolu zavojnica imaju niz prednosti u odnosu na prstenasta merila:

- račvastim merilima se sa jednim mernim zahvatom proverava „dobra“ i „loša“ strana,
- zavojnice kod kojih postoje greške u profilu često izgledaju ispravne ako se proveravaju prstenastim merilom,
- sa račvastim merilom se mogu proveriti i leva i desna zavojница, jer profil zavojnica nije u valjcima urezan u vidu zavoja već paralelno,
- kontrola zavrtnja se može obaviti dok je isti pritegnut na mašini alatki,
- račvastim merilom se može konstatovati i eventualna ovalnost zavrtnja (vijka) jer se provera može vršiti u različitim pravcima, a što nije moguće sa prstenastim merilima,
- vreme potrebno za kontrolu je kraće,
- vek trajanja račvastog merila je duži od prstenastog.

2.9.2. Merenje spoljnog prečnika zavojnice

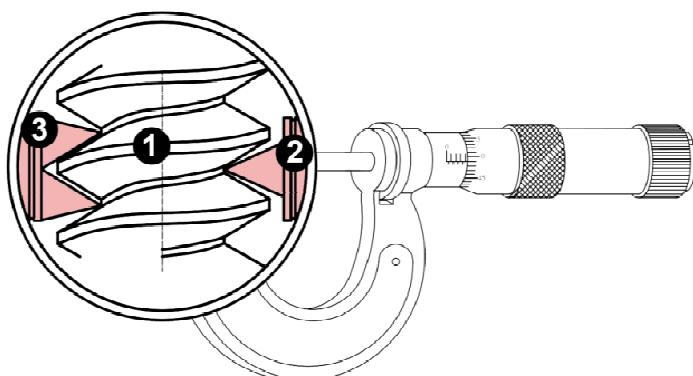
Spoljni prečnik zavojnice se može meriti pomoću merila koje služe za merenje okruglih predmeta, kao što su kljunasto merilo, mikrometar, tolerancijska kontrolna račva i sl. Kod merenja neophodno je da jedan merni završetak mernog instrumenta obuhvati najmanje jedan profil, a drugi najmanje dva profila (sl. 2.61).



Sl. 2.61. Merenje spoljnog prečnika zavojnice mikrometrom
1-zavojnica, 2-merni završetak

2.9.3. Merenje prečnika jezgra zavojnice

Prečnik jezgra zavojnice (sl. 2.62, poz. 1) se meri mikrometrom čije su merne površine izrađene u vidu konusa (poz. 2) i češlja (poz. 3). Ugao konusa i češlja iznosi 45° .



Sl. 2.62. Mikrometar za merenje prečnika jezgra zavojnice sa mernim završetkom u obliku konusa i češlja
1-zavojnica, 2-konus, 3-češalj

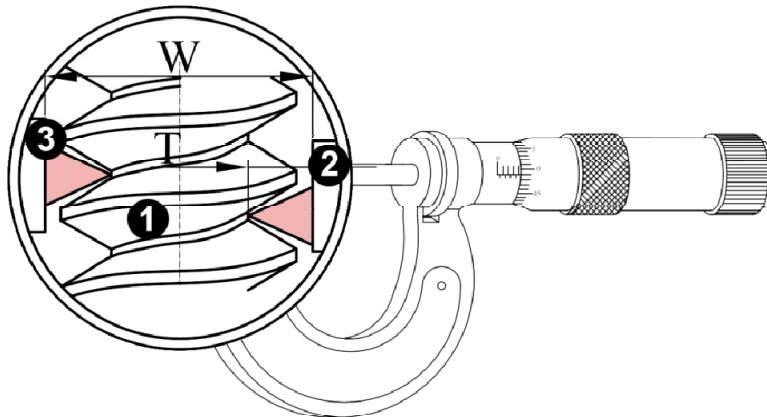
Prethodni način merenja nije uvek najprikladniji. Naime, ukoliko zavojnica nema pravilan korak dolazi do nepotpunog naleganja mernih površina konusa i češlja i time do pogrešnih rezultata merenja. Ovaj nedostatak se izbegava upotrebom dva prizmatična profila. Na slici 2.63 prikazano je merenje prečnika jezgra zavojnice primenom mikrometra sa paralelnim mernim završecima (poz. 2), pri čemu su između mernih završetaka i zavojnice (poz. 1) postavljene prizme (poz. 3). S obzirom na to da se prizme slobodno oslanjaju na merne završetke mikrometra, moguće ih je aksijalno pomerati i postaviti u položaj koji će omogućiti potpuno naleganje njihovih vrhova na jezgro zavojnice. Kada se primenjuju prizme, prečnik jezgra zavojnice se izračunava izrazom:

$$d_1 = W - 2 \cdot T$$

gde je:

W – izmerena vrednost (mm)

T – visina prizme (mm)



Sl. 2.63. Merenje prečnika jezgra zavojnice primenom mikrometra i dve prizme
1-zavojnica, 2-merni završetak, 3-prizma

2.9.4. Merenje srednjeg prečnika zavojnice

Srednji prečnik zavojnice je prečnik na kome je širina profila zavojnice i njenog međuprofila jednaka. Za merenje srednjeg prečnika zavojnice postoje više metode koje se mogu podeliti na mehaničke i optičke.

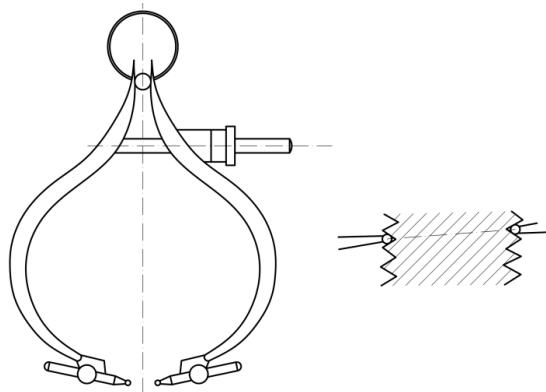
Za merenje srednjeg prečnika spoljašnje zavojnice koristi se:

- loptasto merilo,

- merilo sa konusom i češljem,
- metoda merenja sa tri žice,
- merenje srednjeg prečnika optičkim putem (alatnim ili univerzalnim mikroskopom).

Merenje srednjih prečnika unutrašnjih zavojnica u praksi stvara dosta poteškoća i svodi se na kontrolu pomoću specijalnih kontrolnika. Glavni razlozi ovome su teška pristupačnost i gotovo nikakva vidljivosti pri merenju.

Loptasto merilo služi za upoređivanje srednjeg prečnika ispitivane zavojnice sa srednjim prečnikom tačno izrađene zavojnice (sl. 2.62.).



Sl. 2.66. Loptasto merilo za merenje srednjeg prečnika zavojnice

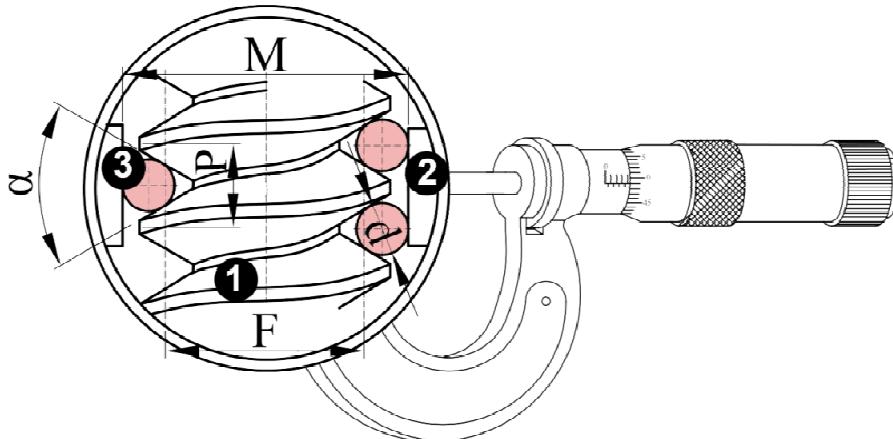
Merilo sa konusom i češljem koristi se na identičan način kao i merila koja se koriste za merenje prečnika jezgra, s tom razlikom što se ovde koriste umeci kod kojih ugao konusa i češlja tačno odgovaraju ispitivanoj zavojnici (sl. 2.63.). Tokom merenja potpuno naleganje konusa i češlja moguće je ostvariti samo u slučaju da kod zavojnice ne postoji odstupanje koraka i ugla profila. U suprotnom dolazi do greske merenja.



Sl. 2.65. Mikrometar za merenje srednjeg prečnika zavojnice sa mernim završetkom u obliku konusa i češlja

Metoda merenja *primenom tri kalibrirane žice*²⁵ je, u odnosu na prethodne, najtačnija metoda merenja. Metoda se bazira na umetanju sa jedne strane zavojnice dve, a sa suprotne strane jedne kalibrirane žice (sl. 2.66, poz. 3)²⁶. Žica se postavlja tako da se potpuno slobodno prilagođava zavojnici. Prečnik žice usvaja se iz namenskih tablica, a u zavisnosti od nazivnog prečnika i koraka zavojnice.

Izmerena vrednost M (sl. 2.66) upoređuje se sa tabličnom (teoretskom) vrednošću²⁷.



Sl. 2.66. Merenje prečnika zavojnice pomoću tri žice
1-zavojnica, 2-merni završetak, 3-kalibrirana žica

2.9.5. Merenje koraka zavojnice

Korak zavojnice predstavlja važan elemenat za ocenu kvaliteta zavojnice. Merenje se vrši mehaničkim i optičkim putem. U grupu mehaničkih merila spadaju merila sa lopticama, gde se najčešće ne meri veličina samo jednog koraka već više koraka istovremeno a zatim se deljenjem sa brojem koraka dobija srednja vrednost veličine koraka zavojnice.

Merenje koraka zavojnice optičkim putem može se vršiti alatnim ili

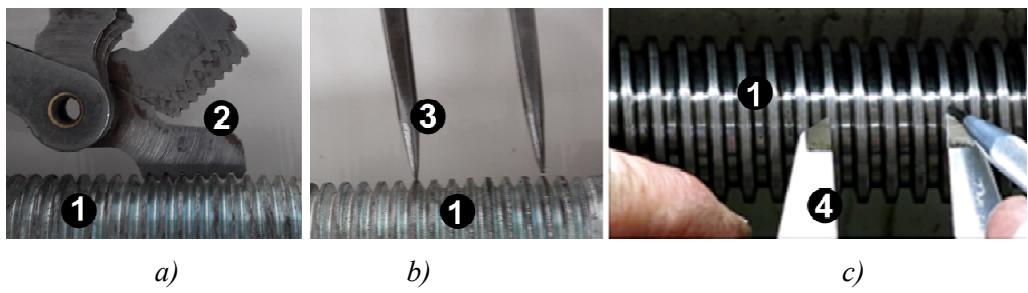
²⁵ Merenje je moguće obaviti i primenom dve žice ukoliko je širina mernih završetaka korišćenog merila veća od polovine koraka zavojnice.

²⁶ Žice su kaljene, brušene i lepovane, sa tačnošću izrade $\pm 0,5 \mu\text{m}$

²⁷ Npr. Za metrički navoj M10, koraka 1,5, koristiti kalibriranu žicu prečnika 0,895 mm. Dimenzija M treba da ima vrednost 10,414 mm.

univerzalnim mikroskopom, profil projektorom ili pomoću mernih mašina.

U radioničkoj praksi korak navoja se meri pomoću profilisanih kontrolnika (šablon za navoj, navojnih češljev, sl. 2.67a, poz. 2). Takođe, se u radioničkoj praksi korak navoja određuje pomoću šestara (poz. 3) i lenjira ili kljunastog pomičnog merila (izmeri se rastojanje između nekoliko profila (zavojaka) i podeli sa njihovim brojem, poz. 4).

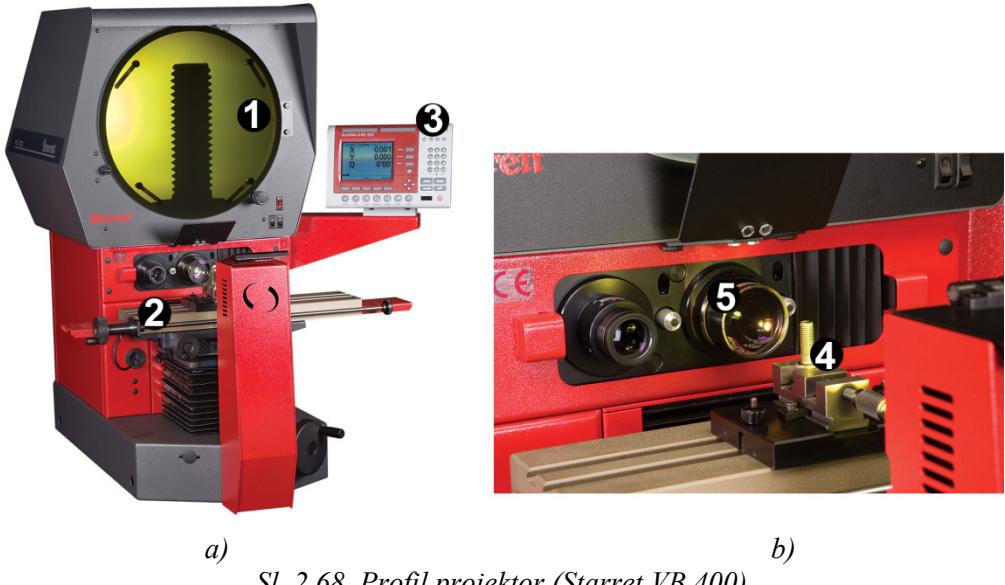


Sl. 2.67. Određivanje koraka zavojnice

a-profilisanih kontrolnika, b-šestara, c-kljunastog pomičnog merila
1-zavojnica, 2-profilisani kontrolnik (šablon), 3-šestar, 4-kljunasto pomicno merilo

2.9.6. Merenje ugla profila

Merenje ugla profila zavojnice vrši se merenjem polovineугла, kako bi se odvojenim merenjem desne i leve polovine moglo utvrditi odstupanje od simetrale celogугла. Merenje se vrši optičkim putem pomoću alatnog i univerzalnog mikroskopa, ili pomoću profilnog projektor-a. Na slici 2.68 prikazan je profil projektor Starret VB 400 sa slikom kontrolisanog vijka (poz. 4) na zaslonu (poz. 1).



Sl. 2.68. Profil projektor (Starret VB 400)
a-profil projektor, b-detajl radnog stola sa objektivom i predmetom merenja (vijkom)
*1-zaslon profilografa, 2-aksijalno pomerljiv radni sto, 3-elektronski displej za
 očitavanje izmerenih veličina, 4-predmet merenja, 5-objektiv visoke rezolucije*

2.9.7. Kontrola profila zavojnice

Kontrola profila zavojnice podrazumeva proveru zaobljenja na korenju međuprofila, kao i zatupljenje vrha profila. Ova kontrola se vrši na alatnim ili univerzalnim mikroskopima, na koje se stavlja revolverski okular. Revolverski okular se sastoji od staklene ploče sa ucrtanim profilima zavojnica raznih veličina kako milimetarskim tako i whitforthovim. Kontrola profila se može vršiti i profilnim projektorima (sl. 2.68).

2.10. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Zupčanici su mašinski elementi koji su neizostavni delovi savremenih mašina. Namjenjeni su za prenos obrtnog momenta sa jednog vratila na drugo. Široku primenu imaju u vozilima, njihovim pogonskim motorima, vazduhoplovima, mašinama alatkama i dr. Savremena industrija pred zupčanike postavlja vrlo visoke zahteve u smislu zamenljivosti, mogućeg prenosa velikih snaga, visoke učestalosti obrtanja, smanjenja težine i sl. Posebni zahtevi koji se postavljaju pri konstrukciji i izradi savremenih zupčastih sklopova odnose se na habanje i bešumni rad. Ovi zahtevi

postavljaju u prvi plan kvalitet izrade zupčanika, a samim tim i njihovu kontrolu.

Zahtevi za visoku tačnost izrade posebno se postavljaju pred zupčanike koji se koriste u mašinama alatkama (posebno kod mašina namenjenih izradi zupčanika), kao i kod mernih mašina i uređaja. Da bi se dala pravilna ocena kvaliteta izrade zupčanika potrebno je vršiti merenje pojedinih dimenzija zupčanika i proveravati međusobni uticaj pojedinačnih odstupanja u izradi, što se postiže istovremenom kontrolom više dimenzija.

Kod izrade zupčanika mogu se pojaviti sledeće greške:

- Greške profila (odstupanje od teorijskog profila - evolvente i prečnika osnovnog kruga),
- Greške pravca bočne linije zuba,
- Greške veličine koraka zupčanika,
- Greške centričnosti (radijalno ili aksijalno “bacanje”) i
- Greške debljine zuba.

Kontrola zupčanika obavlja se tokom same izrade i nakon završetka izrade. Kontrola tokom izrade ima zadatku da osigura pravilan način izrade i eliminiše greške koje pri izradi mogu da nastanu, a završna kontrola ima zadatku da onemogući ugradnju neispravnih zupčanika.

Kontrola zupčanika može se podeliti na:

- Kompleksnu (funkcionalnu) i
- Diferencijalnu kontrolu.

Kompleksna kontrola obavlja se pri sprezanju dva zupčanika, kontrolom njihovog rada, traga nošenja i šuma²⁸. Kod diferencijalne metode kontrole posebno se utvrđuju pojedine greške ozubljenja. Pri diferencijalnoj metodi kontrole najčešće se proveravaju sledeće merne veličine:

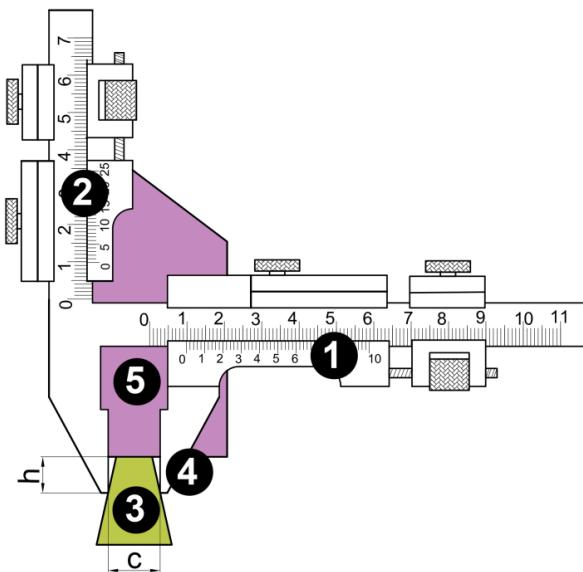
- debljina zupca,
- širina međuzublja,
- korak zupčanika i
- profil zupca.

²⁸ Izvori pojave šuma kod zupčanika su najčešće netačan korak, profili ili pravac zuba, zatim trenje između spregnutih zupčanika, deformacije vratila i zupčanika pod opterećenjem. Ocena šuma zupčanika u praksi se obavlja subjektivno (na osnovu suha) ili objektivno (primenom namenskih uređaja-pri različitim brojevima obrtaja i opterećenjima).

2.10.1. Merenje debljine zupca

Debljina zupca zupčanika se definiše kao dužina kružnog luka između dva profila istog zupca. Na različitim prečnicima debljina zupca nije ista. Iz tog razloga kao referentna debljina zupca uzima se debljina na podeonom krugu. Dužina kružnog luka ne može se direktno izmeriti. Iz tog razloga u praksi se najčešće meri takozvana tativna debljina zupca. Ova debljina zupca se meri specijalnim kljunastim merilom koje predstavlja kombinaciju kljunastog merila i dubinomera.

Na slici 2.69 prikazano je pravougaono kljunasto merilo namenjeno merenju debljine zupca zupčanika. Horizontalna skala (poz. 1) kljunastog merila služi za merenje debljine zupca (poz. 3), a dubinomer sa vertikalnom skalom (poz. 2) služi za pravilno dubinsko postavljanje merila. Merenje se vrši tako da vrhovi kljunastog merila (poz. 4) dodiruju bokove zupca na podeonom krugu. Položaj postavljanja mernih završetaka (njihovu dubinu) određuje ploča (poz. 5) koja je čvrsto vezana za klizač dubinomera (poz. 2).



Sl. 2.69. Pravougaono kljunasto merilo za merenje debljine zuba zupčanika
1-horizontalno merilo, 2-dubinomer, 3-zub zupčanika, 4-merni završetak, 5-granična ploča

S obzirom na to da se merenje širine zupca zupčanika meri na podeonom krugu koji je lučnog oblika potrebno je da dubina postavljanja vrhova merila h bude veća u odnosu na visinu glave zupca (modul zupčanika). Dubina postavljanja vrhova merila h izračunava se prema jednačini:

$$h = m \cdot \left(1 + \frac{z}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{90}{z} \right) \right)$$

gde je:

z- broj zuba zupčanika,

m- modul zupčanika.

Širina zupca zupčanika na podeonom krugu izračunava se prema jednačini:

$$c = m \cdot z \cdot \sin \frac{90}{z}$$

Kljunasto merilo za merenje debljine zupca zupčanika se najčešće izrađuje sa tačnošću očitavanja na nonius skali od 0,02 mm. Merenje ovim kljunastim merilom daje tačne rezultate samo ukoliko je spoljni prečnik zupčanika tačan i koncentričan podeonom krugu.

2.10.2. Merenje širine međuzublja

Ispravnost širine međuzublja je važna zbog obezbeđenja pravilnog zazora između zupca spregnutih zupčanika. Merenje širine međuzublja se najčešće vrši primenom komparatora ili mikrometra i uz pomoću jednog ili dva kalibrisanog valjčića koji se postavlja u međuzublje. Na slici 2.70 prikazana je metoda merenja širine međuzublja primenom kalibrisanih valjčića. Prečnik valjčića se određuje iz izraza:²⁹

$$d = \frac{m \cdot \pi \cdot \cos \alpha}{2}$$

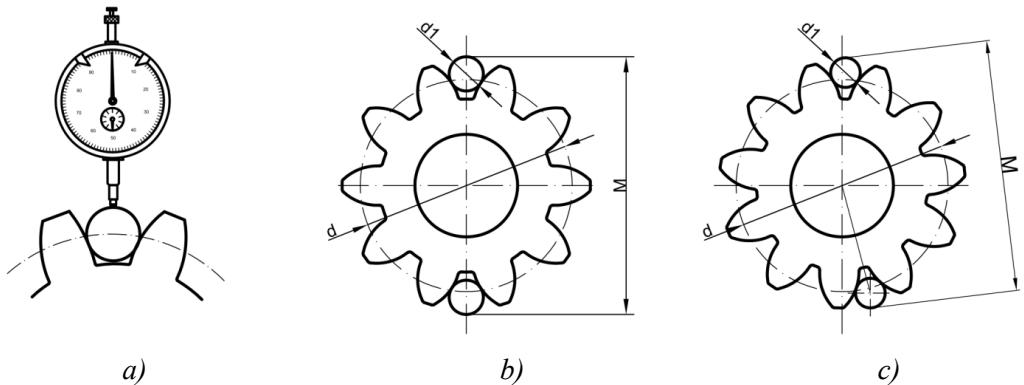
gde je:

m - modul

α - napadni ugao profila zupca.

Na slici 2.70a prikazana je metoda merenja širine međuzublja zupčanika primenom jednog kalibrisanog valjčića i komparatora. Merenje se vrši tako što se jedan kalibrirani valjčić postavi u međuzublje, a komparatorom se izmeri dimenzija M.

²⁹ Ovaj obrazac važi pod pretpostavkom da su veličine debljine zupca i međuzublja jednake.



*Sl. 2.70. Merenje širine međuzublja pomoću kalibrisanog valjčića
a-komparatorom, b-mikrometrom (paran broj zuba), c-mikrometrom (neparan broj
zuba)*

Kada se širina međuzublja određuje mikrometrom (sl. 2.70 b i c), tada se dva kalibrisana valjčića postave u naspramna međuzublja zupčanika i izmeri dimenzija M. Izmerena dimenzija M upoređuje se sa zahtevanom vrednošću koju je moguće izračunati ili usvojiti iz odgovarajućih tablica. Za zupčanike sa parnim brojem zuba dimenzija M treba da iznosi:

$$M = d_1 + d$$

a za neparan broj zuba:

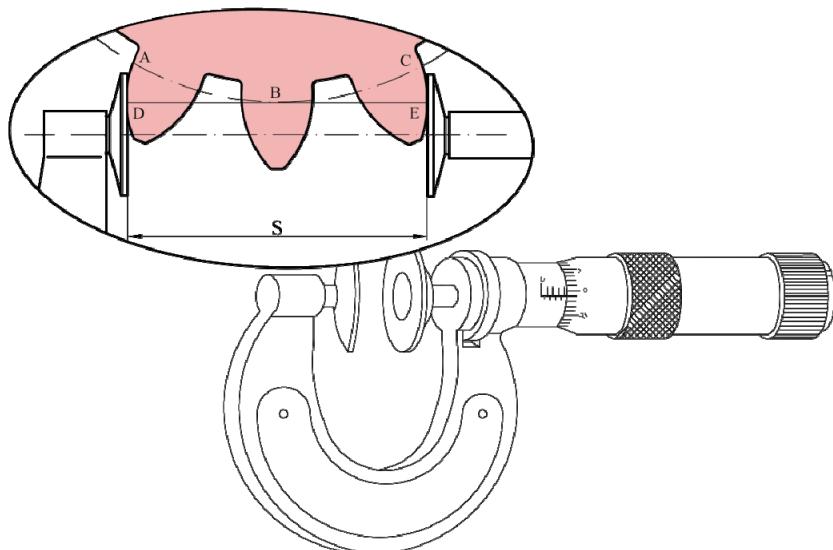
$$M = d_1 \cdot \cos \frac{90}{z} + d$$

gde je:

- d₁- prečnik podeonog kruga,
- d- prečnik valjčića,
- z- broj zuba zupčanika.

2.10.3. Merenje preko zuba zupčanika

Mera preko zuba je najčešće korišćena metoda za određivanje debljine zuba cilindričnih zupčanika sa spoljašnjim ozubljenjem. To je rastojanje raznoimenih bokova³⁰ preko određenog broja zubaca, mereno duž zajedničke normale krajnjih obuhvatnih krakova zubaca. Ovaj način merenja se koristi za merenje pri izradi zupčanika dok su oni još na mašini alatki. Takođe, ova metoda se primenjuje u slučajevima kada se želi izbeći uticaj netačne obrade spoljnog prečnika zupčanika. Merenje se vrši mikrometrom sa tanjurastim mernim površinama³¹. Tačnost merenja zavisi od tačnosti naleganja tanjurastih mernih završetaka na bok zubca zupčanika i greške koraka mikrometarskog navoja. Tačnost merenja najčešće iznosi 0,005 mm. Na slici 2.71 prikazan je mikrometar za merenje u zahvatu tri zuba zupčanika.



Sl. 2.71. Merenje debljine zuba i međuzublja tanjurastim mikrometrom

Mera preko zuba (S) je rastojanje između dve paralelne ravni koje tangiraju spoljne raznoimene bokove nekoliko zuba. Broj zuba koji će obuhvatiti merne površine mikrometra određuje se preko jednačine:

³⁰ Raznoimeni bokovi su levi i desni bok zuba

³¹ Najbolje je koristiti specijalno konstruisane alate za merenje dimenzije preko zuba, mada je moguće primeniti i bilo koji drugi merni instrument koji ima paralelne merne završetke (npr. kljunasto pomicno merilo)

$$n = z \cdot \frac{\alpha}{180} + 0,5$$

gde je:

z- broj zuba zupčanika,

α- ugao dodirnice.

Mera preko zuba (S) izračunava se preko jednačine:

$$S = m \cdot \cos \alpha \left[(n - 0,5) \cdot \pi + z \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha}{360} \right]$$

gde je:

m- modul zuba zupčanika.

Za praktičnu primenu u tehničkim priručnicima dostupne su tablice u kojima su date vrednosti mere preko zuba (tab. 2.3.).

Tab. 2.3. Vrednosti mere preko zuba (S) i broj zuba (n) koje obuhvata merilo za zupčanike sa različitim brojem zuba (z) i ugao dodirnice ($\alpha=14^{\circ}30'$)-deo tabele

z	n	S	z	n	S	z	n	S
5	2	4,589129	17	2	4,653548	29	3	7,759492
6	2	4,594498	18	2	4,658916	30	3	7,764861
7	2	4,599866	19	2	4,664285	31	3	7,770229
8	2	4,605234	20	2	4,669653	32	3	7,775597
9	2	4,610602	21	2	4,675021	33	3	7,780965
10	2	4,615971	22	2	4,680389	34	3	7,786333
11	2	4,621339	23	2	4,685757	35	3	7,791702
12	2	4,626707	24	2	4,691126	36	3	7,797070
13	2	4,632075	25	2	4,696494	37	3	7,802438
14	2	4,637443	26	3	7,743388	38	4	10,849332
15	2	4,642812	27	3	7,748756	39	4	10,854700
16	2	4,648180	28	3	7,754124	40	4	10,860068

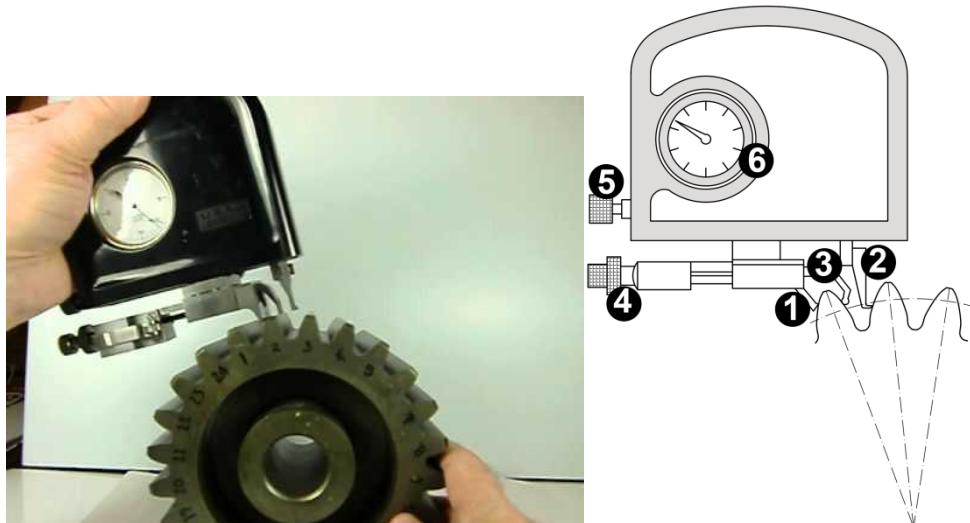
2.10.4. Merenje koraka zupca

Najvažniji elemenat kod sprezanja zupčanika jeste pravilan korak. Pod korakom se podrazumeva rastojanje između dva istoimena profila susednih zubaca. Netačan

korak ima za posledicu nepravilno sprezanje zupčanika i kao krajnju posledicu, pojavu šuma pri radu i ubrzano habanje zuba.

Greške u koraku zupčanika se pojavljuju kod mašina alatki za ozubljenje koje rade na principu odvale, kada pužni prenos za podelu ima odstupanje.

Korak se meri raznim metodama u zavisnosti od stepena tačnosti i metode izrade zupčanika. Pri merenju koraka se koristi svojstvo evolventnih zuba, da evolvente jednostranih bokova profila predstavljaju kongruente krive³². Ovako izmereni korak (po normali na evolventu) naziva se još i tangentni korak zupčanika. Za merenje tangentnog koraka koristi se specijalan merni instrument (Maag-ovo merilo) opremljen sa tri merna završetka (nepokretnim, pokretnim i oslonim) i komparatorom (sl. 2.70.).



Sl. 2.72. Maag-ovo merilo za merenje tangentnog koraka zupčanika

1-nepokretni merni završetak, 2-pokretni merni završetak, 3-osloni završetak, 4-zavrtanj za podešavanje položaja nepokretnog mernog završetka, 5-zavrtanj za podešavanje pokretnog mernog završetka, 6-komparator

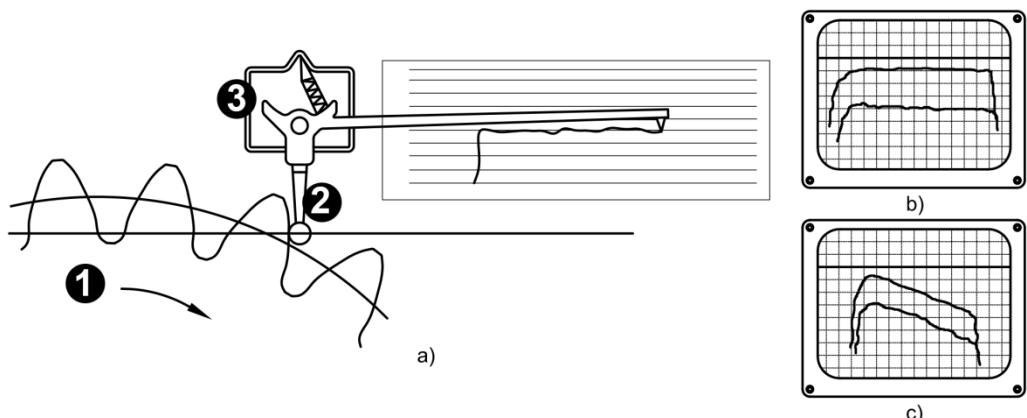
2.10.5. Kontrola profila zupca

Savremeni zupčasti prenosnici, koji se koriste u mašinama i motorima moraju da zadovolje teške uslove eksploracije. Stoga je kontroli profila zupca neophodno

³² Kongruentan - saglasan, jednak, podudaran

posvetiti posebnu pažnju, jer su posledice netačnosti profila zupca veoma teške. One se sastoje uglavnom u neravnomernom hodu, što značajno umanjuje stepen korisnog dejstva zupčastog prenosa, stvara buku i vibracije koje mogu dovesti do havarija tokom rada.

Za kontrolu profila zupca evolventnih zupčanika koriste se različiti uređaji. Na slici 2.73 prikazan je uređaj za kontrolu profila zupca zupčanika. Zupčanik (poz. 1) čiji se profil zupca kontroliše, obrće se oko svoje ose. Merni završetak sa sočivastom glavom (poz. 2), uređaja za kontrolu (poz. 3), naslanja se na bok kontrolisanog zupca i kreće se u pravcu tangente osnovnog kruga brzinom čija je veličina jednaka tangentnoj brzini računskog osnovnog kruga. Kada je profil zupca tačan (idealna evolventa) merni završetak uređaja za kontrolu ostaje nepomičan u odnosu na svoj nosač (grafikon je prava linija paralelna uzdužnoj osi, sl. 2.73b), u suprotnom slučaju merni završetak (poz. 2) prati nastalu grešku (grafikon zaklapa određeni ugao u odnosu na uzdužnu osu, sl. 2.73c).



2.11. KONTROLA KVALITETA OBRAĐENIH POVRŠINA

Ova kontrola je naročito značajna u proizvodnji elemenata i sklopova mašina, uređaja i motora gde se postavljaju veoma visoki tehnički zahtevi u eksploraciji. Mnogobrojna ispitivanja su dokazala da kvalitet obrađenih površina ima značajan uticaj na osobine i eksploracioni kvalitet rada pojedinih elemenata i sklopova. Bolji kvalitet obrađenih površina umanjuje habanje, povećava otpornost na zamor

materijala, povećava otpornost na dinamička opterećenja, umanjuje trenje, povećava otpornost na koroziju itd.

Pri kontroli kvaliteta obrađenih površina treba razlikovati kontrolu mikrogeometrijskih i makrogeometrijskih karakteristika. Kod mikrogeometrijskih karakteristika se radi o hrapavosti obrađenih površina, dok se kod makrogeometrijskih karakteristika radi o ravnosti površina.

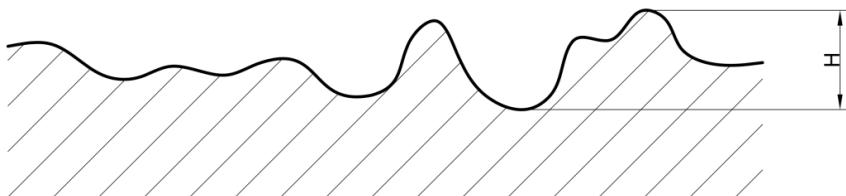
Važna geometrijska karakteristika kvaliteta obrađenih površina je pravac tragova mehaničke obrade. On utiče na otpornost na habanje, kvalitet naleganja, sigurnost presovanih spojeva i sl. Kod važnih sklopova neophodno je propisati pravac tragova obrade u odnosu na pravac kretanja drugog dela koji je sa njim u spregu ili u odnosu na pravac strujanja tečnosti ili gasa.

Tehnološki faktori koji utiču na kvalitet obrađene površine se mogu podeliti na:

- mehaničke osobine materijala i njegova struktura,
- uzajamni odnosi između materijala predmeta izrade i rezognog alata kao što su: ugao rezanja, brzina rezanja, posmak i dubina rezanja, kvalitet sredstva za hlađenje, karakteristike rezognog alata,
- krutost sistema obrade i
- odnos mašine alatke, predmeta obrade i rezognog alata.

2.11.1. Hrapavost

Hrapavost obrađene površine je karakteristika koja daje podatke o odstupanju najvećeg ispuštenja i najnižeg udubljenja (sl. 2.74.).



Sl. 2.74. Najveća visinska razlika profila

Međutim, u slučaju da je broj udubljenja koja su znatno veća od ostalih veoma mali (na primer u nekoj posmatranoj površini postoji samo jedno takvo udubljenje), onda bi se takva površina odlikovala većom hrapavošću nego što bi to stvarno odgovaralo većem delu ove površine.

Iz tog razloga za procjenjivanje hrapavosti površine u mašinskoj praksi najčešće se upotrebljava srednje aritmetičko odstupanje profila R_a , koje je jednak srednjoj

aritmetičkoj vrednosti apsolutnih vrednosti visine neravnina na dužini l i izračunava se jednačinom:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

gde je:

R_a [μm] - srednje aritmetičko odstupanje profila,

y_i [μm] - visina profila hrapavosti s obzirom na srednju referentnu liniju,

n - broj točaka procenjivanja visine profila uzduž merne dužine.

Prema standardu ISO 1302, hrapavost tehničkih površina je podeljena u 12 stepeni, zavisno od najveće vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a (tab. 2.4.).

Tab. 2.4. Stepeni hrapavosti tehničkih površina prema ISO 1302

Oznaka hrapavosti	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Vrednost hrapavosti Ra (μm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50

2.11.2. Kontrola hrapavosti

Za kontrolu hrapavosti postoje dva osnovna metoda merenja ili ocene: kvalitetni metod i količinski metod.

Kvalitetni metod kontrole hrapavosti se zasniva na upoređenju obrađene površine sa uzorkom (etalonom). Ovo se upoređenje može vršiti:

- vizuelno - upoređivanje obrađene površine sa etalonom,
- pipanjem noktom obrađene površine i etalona i
- upoređenjem rezultata posmatranja u mikroskopu obrađene površine sa uzorkom - etalonom.

Etaloni za upoređenje moraju biti izrađeni od istog materijala od koga je izrađen i merni predmet. Takođe, metod obrade mora da je identičan, a oblik površine treba da je istovetan. Kod vizuelnog upoređivanja koristi se lupa sa najmanjim povećanjem od 5x.

Na slici 2.75 prikazan je primer standardne garniture etalona za kvalitativno utvrđivanje hrapavosti površine. Garnitura se sastoji od većeg broja pločica čije su površine obrađene različitim stepenom kvaliteta i svaka je označena numeričkom

vrednošću hrapavosti koju poseduje.



Sl. 2.75. Etalon za određivanje hrapavosti obrađene površine

Upoređivanje rezultata merenja mikroskopom može biti:

- metodom kosih svetlosnih zraka,
- metodom ometanog totalnog odbijanja svetlosti i
- metodom dva lika u mikroskopu.

Količinski metod kontrole hrapavosti se sastoji u merenju hrapavosti obradjenih površina pomoću uređaja koji se baziraju na principu:

- metode svetlosnih preseka,
- metode interferencije svetlosti i
- metode dodira.

Profilometar se koristi za određivanje veličine hrapavosti površine (sl. 2.75.). Princip rada profilometra je na induktivnom, laserskom ili drugom principu. Klasični profilometar koristi dijamantsku iglu sa radijusom vrha ispod $10\mu\text{m}$ i omogućavaju uvećanje pomeranja od 2000 do 12000 puta po vertikali, odnosno $50 \div 1800$ puta po horizontali.

Dobra strana ove metode je njena velika osetljivost i visoka tačnost, sa mogućnošću čitanja veličina i ispod $1\mu\text{m}$.



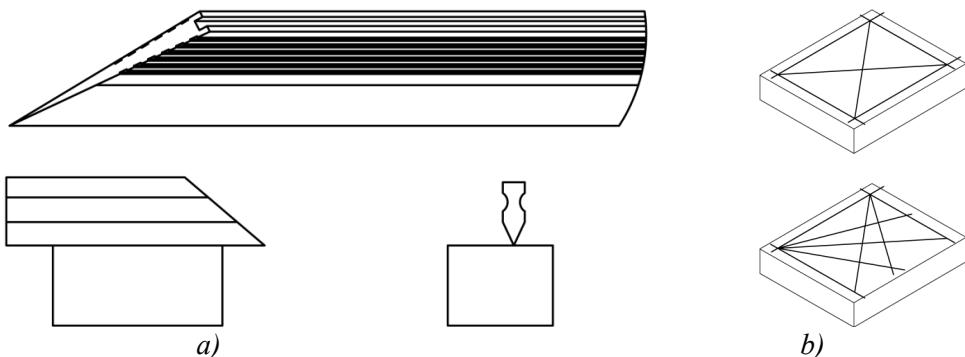
Sl. 2.76. Profilometar „Talysurf”

2.11.3. Ispitivanje ravnosti površina

Ova ispitivanja se mogu vršiti pomoću:

- svetlosnog procepa,
- lenjirima za tuširanje,
- optičkom metodom,
- interferencijom svetlosnih talasa.

Metoda svetlosnog procepa se sastoji u tome što se na ispitivanu površinu naslanja nožasti lenjur i posmatra oblik i veličina uočenog svetlosnog procepa (sl. 2.77.).



Sl. 2.77. Kontrola ravnosti

a-kontrola ravnosti primenom radioničkog lenjira, b-različiti pravci kontrole ravnosti

Provera pomoću lenjira za tuširanje se vrši uz pomoć tačnih lenjira i graničnih paralelnih merila pri čemu se ispod lenjira podmeću tri granična paralelna merila iste debljine. Ako postoji odstupanje tada jedno od graničnih merila neće dodirivati lenjur za tuširanje.

Kod *optičkih metoda* se koristi autokolimacioni durbin. Autokolimacioni durbin se upotrebljava najčešće kod kontrole ravnosti delova većih površina, kao što su klizne površine kod mašina alatki, ležaja i sl.

Ispitivanje ravnosti *interferencijom svetlosti* se primenjuje kod manjih površina pri čemu se vrši interpolacija interferentnih pruga. U tu svrhu se koristi veoma precizno brušene planparalelne staklene pločice. One se osalone na ispitivanu površinu, osvetle monohromatskom svetlošću i posmatraju dobijene pruge. Nepotpuno prianjanje staklene pločice na mernu površinu ima za posledicu stvaranje takozvanih vazdušnih klinova, usled čega postaju vidljive interferentne pruge. Prema obliku i broju ovih pruga, može se doneti sud o uravnjenosti kontrolisane površine.

3. | OBRADA MATERIJALA SKIDANJEM STRUGOTINE

3.1. UVOD

Obrada materijala skidanjem strugotine je široko rasprostranjena tehnologija proizvodnje mašinskih delova. Ova obrada predstavlja uklanjanje sloja materijala sa polazne sirovine (pripremka), primenom odgovarajućih reznih alata i mašina alatki, pri čemu se dobija deo (izradak) odgovarajućeg oblika, dimenzija i kvaliteta.

Postupci obrade materijala skidanjem strugotine mogu se razvrstati na:

- prethodne - gruba obrada (struganje, brušenje, glodanje, rendisanje...) i
- završne - fina obrada (razvrtanje, provlačenje, brušenje, honovanje, lepovanje...).

Zadatak prethodne obrade jeste uklanjanje što veće količine materijala, dok se postupcima završne obrade ostvaruje zahtevani kvalitet (tačnost i kvalitet obradene površine).

Najvažniji postupci obrade materijala skidanjem strugotine su:

- struganje,
- glodanje,
- rendisanje,
- bušenje,
- obrada na testeri i
- brušenje.

U savremenim proizvodnim sistemima pored ovih postupaka zastupljeni su, takođe, novi visokoproduktivni procesi obrade kao što je: elektrohemijska, elektroeroziona i ultrazvučna obrada, obrada primenom lasera, plazme i dr.

Obrada materijala skidanjem strugotine obavlja se primenom alatnih mašina. Alatne mašine se razlikuju po strukturi, konstrukciji, dimenzijama, eksploatacionim karakteristikama, nameni, načinu rukovanja, opsluživanja i dr.

Podela mašina za obradu rezanjem vrši se na različite načine. Moguće su podele alatnih mašina prema:

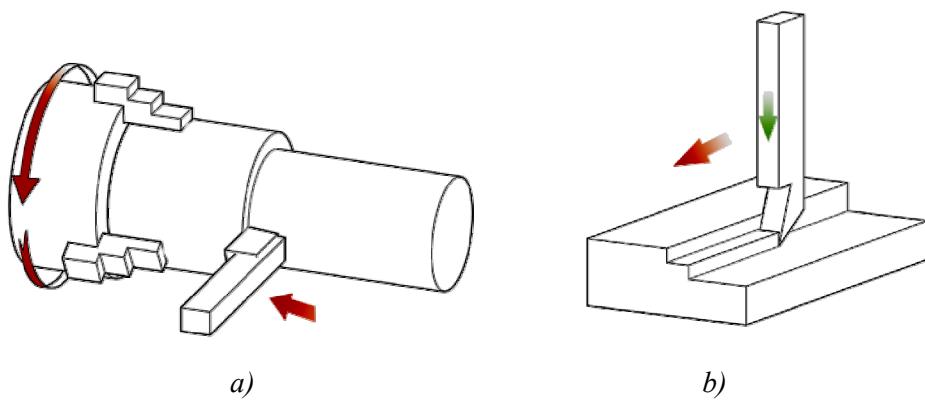
- položaju glavnog vretena (horizontalne i vertikalne),

- broju glavnih vretena (jedno- i viševretene),
- nameni (univerzalne ili specijalne),
- radnom hodu (kratkohodne i dugohodne),
- obliku površina koje nastaju pri obradi (okruglo, ravno, spoljašnje, unutrašnje, profilno i dr.),
- načinu stezanja radnog premeta (u steznoj glavi, šiljcima, bez šiljaka i dr.),
- stepenu automatizacije (ručne, poluautomatske, automatske, numerički upravljljane i dr.),
- opremljenosti dodatnim uređajima za manipulaciju obradcima i alatima (obradni centri, fleksibilne obradne celije i dr.),
- tipu proizvodnje u kome je njihova primena ekonomski prihvatljiva (pojedinačna, maloserijska, serijska, velikoserijska ili masovna).

3.2. OSNOVI PROCESA REZANJA

Proces rezanja se izvodi prodiranjem reznog alata u materijal. Rezanje se odvija po strogo definisanoj kinematici relativnog kretanja između reznog alata i obratka¹. Tokom obrade skidanjem strugotine razlikuje se glavno i pomoćno kretanje. Glavno kretanje omogućava nastanak procesa rezanja i stvaranje strugotine, a pomoćno kretanje određuje odgovarajuće mesto zahvatanja sloja materijala. Pomoćno kretanje omogućava nastavak obrade rezanjem. Ova kretanja (u literaturi se nazivaju još i osnovna) mogu biti neprekidna i prekidna, a po svom obliku obrtna i pravolinijska (sl. 3.1). Glavno kretanje definisano je brzinom obrade. Zavisno od postupka obrade može da ga izvodi alat ili obradak. Pomoćno kretanje definisano je brzinom pomoćnog kretanja i korakom, koje određuje veličinu zahvaćenog sloja.

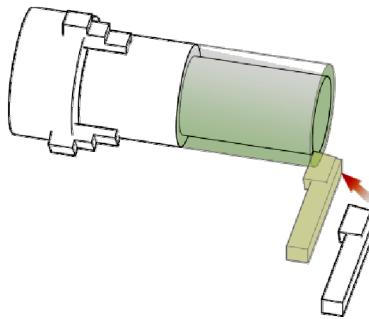
¹ Obradak je pripremak postavljen u odgovarajući položaj na mašini. Na obratku se izvodi proces oblikovanja (obrade). Pripremak je polazni materijal određenog kvaliteta, oblika i dimenzija. Nakon završetka obrade, obradak postaje izradak u obradnom sistemu. Izradak jednog obradnog sistema je često pripremak za naredni obradni sistem (npr. Ukoliko je tehnološkom kartom operacija predviđena izrada osovine grubom i finom obradom na strugu, a zatim brušenjem, izradak obradnog sistema „strug“ postaje pripremak za obradni sistem „brusilica“. Nakon brušenja, ukoliko nije predviđena nahnadna obrada, izradak postaje gotov deo – proizvod).



Sl. 3.1. Oblici kretanja alata i obratka

a-obrađa na strugu (glavno kretanje je obrtno, a pomoćno pravolinijsko), b-obrađa na rendisaljci (glavno i pomoćno kretanje je pravolinijsko)

Pored glavnog i pomoćnog kretanja razlikuje se i tzv. poziciono (dopunsko) kretanje (sl. 3.2). Ovim kretanjem rezni alat i predmet obrade se doveđe u tačan međusobni položaj (primicanje, odmicanje ili podešavanje položaja alata i sl.). Ovo kretanje se realizuje na početku, pri prekidima i kraju obrade.



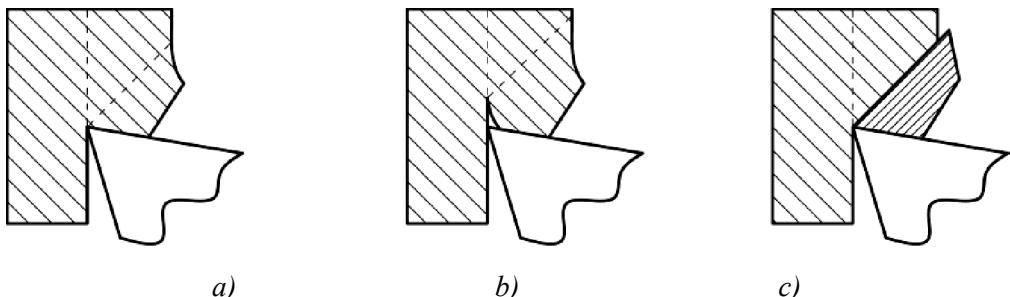
Sl. 3.2. Primer pozicionog kretanja alata

3.2.1. Proces stvaranja strugotine

Da bi otpočeo proces stvaranja strugotine (obrađa), pored relativnog kretanja između reznog alata i obratka, neophodno je da se na obradak deluje odgovarajućom silom. Dejstvo sile na obradak se ostvaruje preko reznog klina koji ima tačno definisanu geometriju.

Proces stvaranja strugotine pri rezanju materijala može se podeliti u tri uzastopne faze. U prvoj fazi dolazi do plastične deformacije materijala zahvaćenog

sloja. Ova faza se odvija u jednoj relativno uskoj zoni (zoni rezanja), pri čemu se vrši sabijanje materijala², stvaranje pukotine neposredno ispred vrha noža i smicanje materijala (sl. 3.3).



Sl. 3.3. Prva faza nastanka strugotine

a) sabijanje materijala, b) stvaranje pukotine, c) smicanje strugotine

U drugoj fazi stvaranja strugotine, dolazi do slobodnog toka (odvođenja) strugotine, dok u trećoj fazi dolazi do lomljenja. Odvođenje strugotine vrši se preko grudne površine reznog klina³. Treća faza se realizuje usmeravanjem strugotine preko lomača (posebno oblikovana grudna površina noža) ili izborom odgovarajućih uslova i režima obrade (brzina rezanja, primena različitih sredstava za hlađenje i podmazivanje i sl.).

3.2.2. Sila rezanja i otpor rezanja

Kako je ranije navedeno, proces rezanja može se ostvariti jedino ukoliko se reznim alatom deluje na obradak nekom silom. Dejstvom ove sile (sile rezanja) započinje prodiranje reznog klina u materijal obratka, a time i proces rezanja. Veličina sile rezanja zavisi od: materijala predmeta obrade⁴, veličine i oblika strugotine (dubine rezanja i koraka), brzine rezanja, kao i vrste i geometrije reznog alata.

S druge strane, otpor rezanja predstavlja силу којом се obradak suprotstavlja сili rezanja. Ова сила је по правцу и интензитету делovanja једнака сили rezanja али је упротивног смера. Опори rezanja чине основу за прорачун чврстоће машине и алате, као и за прорачун потребне погонске снаге машине.

² Dok naprezanje materijala u obratku ne dostigne granicu loma.

³ Usled sile trenja između strugotine i grudne površine dolazi do formiranja „kočionog sloja“.

⁴ Karakteristike materijala које утичу на величину otpora rezanja су чврстоћа, жилавост, структура, specifična toplota i sposobnost odvođenja toplote.

Na slici 3.4 prikazan je uprošćeni model formiranja strugotine (u slučaju ortogonalnog rezanja⁵).

Sa slike se uočava da se sila rezanja (Fr) može razložiti na dve komponente, i to na tri različita načina:

- **na tangencijalnu (F_t) i normalnu (F_n) silu.** Ove sile deluju u ravni upravnoj na grudnu površinu reznog klina. U zavisnosti od veličine sile rezanja (Fr) i ugla trenja⁶ (ρ) vrednost ovih komponenti se računaju prema relaciji:

$$F_t = Fr \cdot \sin \rho \text{ i } F_n = Fr \cdot \cos \rho$$

- **na silu smicanja (F_s) i normalnu silu (F_{ns})** koje deluju u ravni smicanja. U zavisnosti od veličine sile rezanja (Fr), ugla trenja (ρ), ugla smicanja (θ)⁷ i grudnog ugla reznog klina (γ), vrednost ovih komponenti se računaju prema relaciji:

$$F_s = Fr \cdot \cos(\theta + \rho - \gamma) \text{ i } F_{ns} = Fr \cdot \sin(\theta + \rho - \gamma)$$

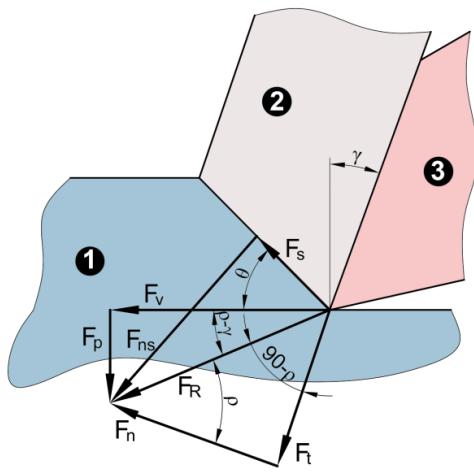
- **na glavnu silu (F_v) i silu prodiranja (F_p).** Glavna sila rezanja (F_v) je kolinearna brzini rezanja, a sila prodiranja (F_p) je upravna na obrađenu površinu. Ove sile se izračunavaju prema relaciji:

$$F_v = Fr \cdot \cos(\rho - \gamma) \text{ i } F_p = Fr \cdot \sin(\rho - \gamma)$$

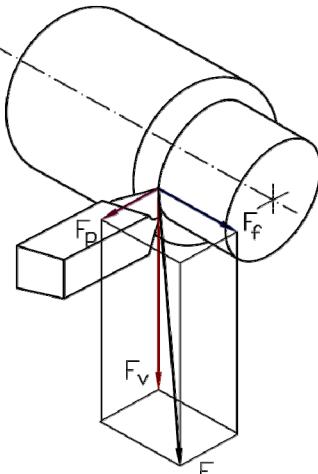
⁵ Razlikuje se koso i ortogonalno rezanje. U slučaju kada je pravac relativnog kretanja između materijala i obratka pod nekim uglom u odnosu na sečivo reznog alata, tada za to rezanje kažemo da je koso. Ortogonalno rezanje je specijalan slučaj kosog rezanja, kod koga je pravac relativnog kretanja između alata i obratka upravan na sečivo reznog klina.

⁶ Ugao trenja je: $\rho = \arctg \mu$, gde je μ - koeficijent trenja

⁷ Ugao smicanja utiče na utrošak energije pri rezanju, razvijenu količinu topline, stepen deformacije i sl.



Sl. 3.4. Komponente rezultujuće sile rezanja u uprošćenom modelu (ortogonalno rezanje)
1-obradak, 2-formirana strugotina, 3-rezni klin



Sl. 3.5. Sile rezanja pri uzdužnom kosom struganju
 F_v – glavni otpor rezanja, F_f – otpor pomoćnog kretanja, F_p – otpor prodiranja, F – rezultirajući otpor

U slučaju kosog rezanja, ukupan otpor rezanja (F_r) je prostorna sila koja se razlaže na tri komponente (sl. 3.5):

F_v – glavni otpor rezanja deluje u smeru brzine rezanja i najveća je od svih komponenti,

F_f – otpor pomoćnog kretanja deluje u pravcu pomoćnog kretanja,

F_p – otpor prodiranja, sila je normalna na obrađenu površinu.

Od navedenih komponenti ukupnog otpora kod kosog rezanja (F_r), najveću vrednost ima glavni otpor (F_v)⁸. Približan odnos ova tri otpora rezanja je:

$$F_v : F_f : F_p = 5 : 2 : 1$$

Glavni otpor rezanja (F_v) zavisi od površine poprečnog preseka strugotine (koraka i dubine rezanja) i materijala koji se obrađuje. Glavni otpor rezanja određuje se iz relacije:

$$F_v = A \cdot k$$

gde je:

A – površina poprečnog preseka strugotine (mm^2)

⁸ Glavni otpor ima presudan značaj na potrebnu snagu mašine alatke.

k- specifični otpor rezanja (MPa/mm^2)

Presek strugotine (A) može se izračunati kao proizvod dubine rezanja (δ) i koraka noža (s)⁹:

$$A = s \cdot \delta$$

Vrednost specifičnog otpora rezanja (k) nije konstantna za isti materijal. Ona zavisi od površine poprečnog preseka i oblika strugotine. Pri istoj vrednosti površine poprečnog preseka strugotine (za istu dubinu rezanja i korak noža) menja se oblik strugotine sa promenom napadnog ugla. Iz tog razloga uvodi se koeficijent korekcije (α) koji zavisi od vrste materijala. Ovaj koeficijent kod obrade čelika ima vrednost 2,5 - 3,2, a livenog gvožđa 4,5 - 5,5.

Specifičan otpor rezanja (k) izračunava se prema relaciji:

$$k = \alpha \cdot \sigma_m$$

gde je:

α – koeficijent korekcije,

σ_m - zatezna čvrstoća materijala ($10 - 100 \text{ N/m}^2$).

Tokom procesa rezanja, glavni otpor (F_v) nema stalnu vrednost, menja se periodično, a zavisi od pojedinih faza stvaranja strugotine.

Otpori pomoćnog kretanja (F_f) i prodiranja (F_p) imaju relativno konstantne vrednosti. Ovi otpori naglo rastu pri zatupljenju sečiva, pri čemu mogu dostići vrednost koju ima glavni otpor rezanja (F_v). Iz tog razloga, povećanje vrednosti ovih otpora služi kao kriterijum za određivanje trenutka zatupljenja sečiva.

PRORAČUN POGONSKE SNAGE MAŠINE ALATKE

Sila (otpor) rezanja veoma je bitna u tehnologiji mašinogradnje jer omogućavaju da se izvrši proračun i izbor pogonskog elektromotora, sistema glavnih i pomoćnih prenosnika snage, dimenzije pomoćnog pribora, izvrši proračun tačnosti i mogućnosti obrade i sl. Snaga potrebna za pogon mašine jednaka je zbiru snage praznog hoda (P_O), snage rezanja (P_{Fv}), snage prodiranja (P_{Fp}) i snage pomoćnog kretanja (P_{Ff}):

⁹ Korak noža kod obrade na strugu definiše se kao rastojanje između dva uzastopna položaja glavnog sečiva alata koji odgovara jednom obrtaju obratka.

$$P = P_O + P_{Fv} + P_{Fp} + P_{Ff}$$

Snaga praznog hoda je snaga potrebna za savladavanje otpora trenja u mašini. Ova snaga je promenljiva i raste sa povećanjem opterećenja. Naime, sa povećanjem opterećenja povećava se otpor trenja usled povećanja pritiska i temperature u ležajevima.

Snaga rezanja P_{Fv} zavisi od brzine i glavnog otpora rezanja, a izračunava se prema jednačini:

$$P_{Fv} = F_v \cdot v$$

gde je:

v - brzina rezanja (m/s),

F_v - glavni otpor rezanja (N).

Snaga pomoćnog kretanja je snaga potrebna za savladavanje otpora pri pomoćnom kretanju. Pri obradi na strugu ova snaga se izračunava prema obrascu:

$$P_{Ff} = F_f \cdot s \cdot n$$

gde je:

F_f – otpor pomoćnog kretanja (N),

s – korak noža (mm).

n – broj obrtaja radnog predmeta

S obzirom na to da je u ukupnoj snazi mašine alatke udeo snage pomoćnog kretanja mali ona se može zanemariti. Tada je snaga mašine alatke jednaka:

$$P \approx P_O + P_{Fv} = P_O + P_K$$

Stepen iskorišćenja mašine predstavlja odnos njene korisne (P_k) i ukupne snage (P):

$$\eta = \frac{P_k}{P}$$

Stepen iskorišćenja mašine zavisi od njenog opterećenja (raste sa povećanjem opterećenja). Pri punom opterećenju stepen iskorišćenja mašine ima vrednost od 0,6 – 0,8 (manje vrednosti odgovaraju mašinama sa pravolinijskim glavnim kretanjem – rendisaljke, okvirne testere i slično, a veće mašinama sa kružnim glavnim kretanjem – strugovi, glodalice, brusilice i slično).

Kada su poznati korisna snaga i stepen iskorišćenja mašine, moguće je izračunati potrebnu snagu mašine preko izraza:

$$P = \frac{P_k}{\eta}$$

S obzirom da je korisna snaga $P_k \approx F_v \cdot v$, ukupna potrebna pogonska snaga mašine može se izraziti preko jednačine:

$$P \approx F_v \cdot v \cdot \frac{1}{\eta}$$

Ukoliko se u prethodni izraz uvrsti jednačina za izračunavanje otpora rezanja, tada izraz za snagu mašine dobija oblik:

$$P = F_v \cdot v \cdot \frac{1}{\eta} = A \cdot k \cdot v \cdot \frac{1}{\eta}$$

gde je:

A – poprečni presek strugotine (mm^2),

k – specifični otpor rezanja (MPa/mm^2).

Na osnovu prethodne jednačine, za poznatu snagu mašine i brzinu rezanja, moguće je odrediti najveću dozvoljenu površinu poprečnog preseka strugotine.

U praksi se proizvodni kapacitet mašine često izražava količinom strugotine (M) proizvedene u jedinici vremena. Na ovaj način iskazan proizvodni kapacitet često se primenjuje na mašinama za grubu obradu (gde se traži što veća količina strugotine u jedinici vremena).

Na ovaj način lako se mogu uporediti dve mašine sličnog tipa i uočiti koja od njih ima veći kapacitet. Masa strugotine proizvedena u jedinici vremena se izračunava prema jednačini:

$$M = A \cdot v \cdot \rho$$

gde je:

v - brzina rezanja (m/s)

A – površina poprečnog preseka strugotine (m^2)

ρ - specifična masa materijala (kg/m^3)

Iskazujući iz prethodne jednačine površinu poprečnog preseka strugotine (A) i njegovim uvrštavanjem u jednačinu za snagu, dobija se:

$$P = \frac{M \cdot k}{\rho} \cdot \frac{1}{\eta}$$

Snaga mašine se na ovaj način može odrediti merenjem količine proizvedene strugotine. Količina strugotine u praksi se određuje merenjem mase obrađivanog materijala pre i posle obrade, pri čemu se uzima u obzir utrošeno vreme rada.

3.2.3. Brzina rezanja

Brzinu rezanja određuje brzina glavnog kretanja. Kod obrade materijala skidanjem strugotine razlikuju se kinematska i tehnološka brzina rezanja.

Kinematska brzina rezanja definisana je kinematskim parametrima i izračunava se prema formuli:

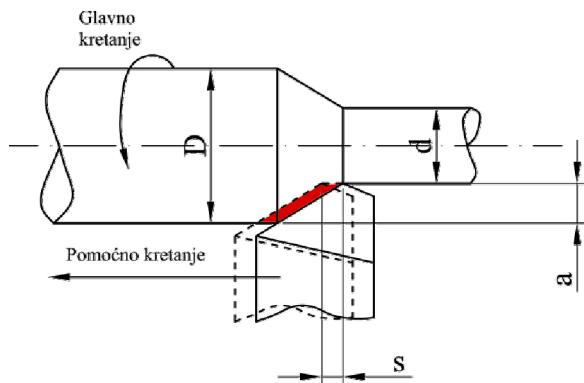
$$v_{kin} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (m / \text{min})$$

gde je:

D (mm) – prečnik obratka ili alata,¹⁰

n (o/min) – broj obrtaja glavnog radnog vretena¹¹.

Na slici 3.9 data je uprošćena šema uzdužnog struganja na kojoj vrednost D predstavlja merodavni prečnik za izračunavanje brzine rezanja pri obradi na strugu.



Sl.3.9. Merodavni prečnik (D) za izračunavanje brzine rezanja na strugu (s -pomak noža, a -dubina rezanja)

¹⁰ Kod obrade struganjem ima vrednost najvećeg prečnika u zoni rezanja, a kod obrade glodanjem ili bušenjem najvećeg prečnika rezognog alata.

¹¹ Glavno radno vretno je vratilo mašine alatke na koga se postavlja pribor za pozicioniranje obratka ili rezognog alata i koje vrši glavno kretanje.

Brzina rezanja se koristi za kalkulaciju vremena potrebnog za izradu jednog izratka, odnosno, određivanje proizvodnog učinka obradnog sistema (broj izradaka koji proizvodni sistem može da proizvede tokom jedne smene). Iz tog razloga brzina rezanja treba da je što veća. Međutim, brzina rezanja ne sme da pređe dozvoljenu granicu. Naime, sa njenim povećanjem smanjuje se postojanost oštice reznog alata i skraćuje vreme rada između dva oštrenja noža, pri čemu se javlja češća potreba za zaustavljanje radnog procesa (demontaža, oštrenje i ponovno pozicioniranje reznog alata) a time i smanjenja proizvodnog učinka. S obzirom na to da postojanost alata zavisi od čitavog niza faktora¹², neophodno je utvrditi tzv. **tehnološku brzinu rezanja**. Za različite postupke obrade tehnološka brzina rezanja se izračunava na različit način:

a) Brzina rezanja pri obradi struganjem:

$$v_{teh} = \frac{C_v}{T^m \cdot a^x \cdot s^y} \quad (m/\text{min})$$

gde je:

T – zahtevana postojanost strugarskog noža (min)¹³,

a – dubina rezanja (mm),

S – korak pomoćnog kretanja (mm/o),

C_v, m, x, y – veličine koje zavise od fizičko mehaničkih karakteristika materijala alata i obratka kao i od uslova obrade.

b) Brzina rezanja pri obradi bušenjem:

$$v_{teh} = C_v \cdot \frac{D^{x_o}}{T^m \cdot s^{y_o}} \cdot \mu_o \cdot k_v \quad (m/\text{min})$$

gde je:

T – zahtevana postojanost burgije (min)¹⁴

¹² Postojanost alata može da zavisi od elemenata režima obrade (dubina rezanja, korak), osobina materijala obrade i alata, geometrije alata, karakteristike sredstva za hlađenje...

¹³ Kod univerzalnog struga najčešće se koristi brzina rezanja koja obezbeđuje postojanost oštice noža od 60 minuta (označava se sa v₆₀). S druge strane, kod revolver strugova (automatskih i programiranih) koji se koriste u serijskoj i masovnoj proizvodnji svaki prekid rada izaziva duži zastoj zbog otežanog ponovnog podešavanja reznog alata. Iz tog razloga u ovim slučajevima zahteva se brzina rezanja kod koje će zatupljenje nastati nakon 240 ili 480 minuta.

S – korak pomoćnog kretanja (mm/o),

D – prečnik burgije (mm),

C_v , m, x_o , y_o – veličine koje zavise od fizičko mehaničkih karakteristika materijala alata i obratka kao i od uslova obrade,

μ_o – koeficijent koji zavisi od dubine bušenja (Na brzinu rezanja utiče dužina pojedinačnih rupa koje se buše. Naime, ukoliko je dubina pojedinačnih rupa veća brzina rezanja je manja. Razlog ovome je to što se sa povećanjem dubine rezanja pogoršava odvođenje toplove i strugotine.),

k_v – koeficijent koji zavisi od vrste materijala.

c) **Brzina rezanja pri obradi obimnim glodanjem:**

$$v_{teh} = \frac{C \cdot D^{((x+y)/2)}}{T^m \cdot S_z^x \cdot B^y \cdot Z^y \cdot a^{((x+y)/2)}} \quad (m/min)$$

gde je:

D – prečnik glodala (mm),

T – zahtevana postojanost glodala (min),

S_z – korak po zubu (mm/zubu),

B – širina glodanja (mm),

Z – broj zuba glodala,

a – dubina rezanja (mm),

C, m, x, y, r – veličine koje zavise od fizičko mehaničkih karakteristika materijala alata i obratka kao i od uslova obrade.

¹⁴ Pri obradi bušenjem najčešće se usvaja brzina rezanja koja obezbeđuje postojanost sečiva burgije tokom bušenja rupe ukupne dužine 2000 mm (označava se v_{L2000}). Trenutak zatupljenja burginje određuje se utvrđivanjem porasta obrtnog momenta i otpora pomoćnog kretanja. Kao propratna pojava pri zatupljenju javlja se škripa burgije. Prilikom bušenja čelika i čeličnog liva burgije većeg prečnika daju veće vrednost brzine rezanja. Razlog ovome je to, što kod burgija većeg prečnika zavojni žljeb ima relativno veći prostor, čime je obezbeđeno dobro i lako odvođenje strugotine. Nasuprot ovome, kod bušenja sivog liva ovakva zavisnost nije uočena. Takođe, na brzinu rezanja utiče i brzina pomoćnog kretanja (prodiranja burgije) jer se sa povećanjem brzine prodiranja smanjuje brzina rezanja.

d) Brzina rezanja pri obradi čeonim glodanjem:

$$v_{teh} = \frac{C \cdot D^z}{T^m \cdot S_z^x \cdot B^y \cdot Z^y \cdot a^r} \quad (m/\text{min})$$

gde je:

D – prečnik glodala (mm),

T – zahtevana postojanost glodala (min),

S_z – korak po zubu (mm/zubu),

B – širina glodanja (mm),

Z – broj zuba glodala,

a – dubina rezanja (mm),

C, m, x, y, r – veličine koje zavise od fizičko mehaničkih karakteristika materijala alata i obratka kao i od uslova obrade.

Izjednačavanjem izraza za kinematsku i tehnološku brzinu rezanja, moguće je izračunati broj obrtaja glavnog radnog vretena na mašini alatki. Tako naprimjer pri obradi struganjem, broj obrtaja obratka izračunava se iz izraza:

$$\frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{C_v}{T^m \cdot a^x \cdot S^y} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot C_v}{\pi \cdot D \cdot T^m \cdot a^x \cdot S^y}$$

U radioničkoj praksi brzina rezanja za određenu vrstu materijala obratka i materijala alata najčešće se uzima iz tabela koje se nalaze u tehničkim priručnicima. U tabeli 3.1 dat je primer preporučenih brzina rezanja pri obradi bušenjem. Iz date tabele brzina rezanja se usvaja na osnovu vrste materijala obratka i prečnika burgije.

Izborom odgovarajuće brzine rezanja za određenu vrstu materijala obratka i prečnik burgije, može se odrediti broj obrtaja glavnog radnog vretena prema formuli:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{D \cdot \pi} \quad (o/\text{min})$$

gde su:

D – prečnika burgije (mm),

v – brzina rezanja (m/s).

Tab. 3.1. Preporučene brzine rezanja pri obradi bušenjem

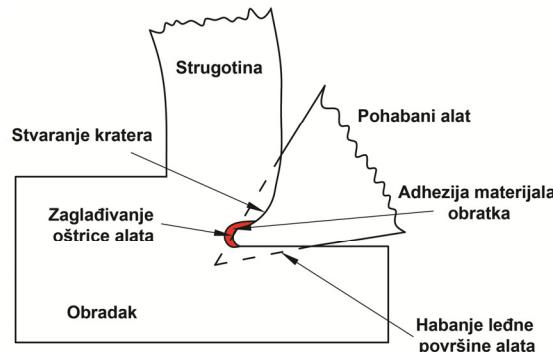
Materijal obratka	Prečnik burgije (mm)										
	1	2	3-6	6-10	10- 15	15- 20	20- 25	25- 30	30- 40	40- 60	60- 80
Ugljenični čelik $\sigma_m < 50 \text{ kN/cm}^2$	20	25	30	30	35	35	35	30	30	25	25
Ugljenični čelik $\sigma_m = 50-70 \text{ kN/cm}^2$	15	20	25	25	30	30	30	25	25	20	20
Ugljenični čelik $\sigma_m = 70-90 \text{ kN/cm}^2$	12	15	18	20	22	22	20	20	20	15	15
Legirani čelik $\sigma_m = 90-110 \text{ kN/cm}^2$ i čelični liv $\sigma_m = 50-80 \text{ kN/cm}^2$	10	12	15	18	20	20	20	15	15	12	12
Sivi liv $\sigma_m = 12-18 \text{ kN/cm}^2$	15	20	25	30	35	35	30	25	25	20	20
Sivi liv $\sigma_m = 18-30 \text{ kN/cm}^2$	10	12	16	18	20	20	18	16	16	14	14

3.2.4. Postojanost oštice alata

Postojanost alata je jedan od najvažnijih ekonomskih faktora u procesu obrade materijala skidanjem strugotine. Postojanost se definiše vremenom obrade (rezanja) materijala između dva uzastopna oštrenja alata. Naime, tokom obrade dolazi do trošenja¹⁵ alata. Usled trošenja alata nastaju promene mehanizma stvaranja strugotine kako u funkcionalnom, tako i u ekonomskom smislu. Funkcionalne promene mehanizma stvaranja strugotine manifestuju se povećanom temperaturom rezanja, povećanim nivoom vibracija, buke i sl. Usled ovih promena javlja se pogoršan kvalitet obrađene površine što direktno utiče na rast troškova proizvodnje. Složen proces stvaranja strugotine sprovodi se pod velikim opterećenjem i velikim brzinama rezanja i trenja, što uzrokuje visoka naprezanja i deformacije spregnutih elemenata. Zbog čega dolazi do nastanka velikih sila rezanja i oslobađanja velike količine topote što dovodi do ubrzanja fizičkih i hemijskih procesa vezanih uz trošenje alata. Trošenje reznog

¹⁵ Trošenje može biti mehaničko i hemijsko. Mehaničko trošenje je habanje, a hemijsko se najčešće manifestuje u obliku korozije.

alata javlja se na leđnoj i grudnoj površini reznog kлина, usled dodira sa strugotinom i obratkom (sl. 3.10). Trošenje ovih površina nastaje udruženim delovanjem mehaničkog i hemijskog trošenja.



Sl. 3.10. Trošenje reznog kлина

Mehaničko trošenje (adheziono i abraziono) rezultat je relativnog kretanja između reznog alata i obratka. Adheziono habanje nastaje u slučaju relativnog kretanja suvih (nepodmazanih) površina. Intenzitet habanja, pri konstantnom opterećenju srazmeran je pređenom putu. Takođe, intenzitet habanja pri konstantnoj brzini relativnog kretanja i konstantnoj temperaturi, srazmeran je porastu površinskog pritiska. Ovo habanje nastaje usled trenja između leđne površine reznog alata i obrađene površine i između formirane strugotine i grudne površine reznog alata, a u odsustvu sredstva za hlađenje i podmazivanje (suvo trenje klizanjem). Naime, mikroskopska ispitivanja pokazuju da se u slučaju suvog trenja klizanja površinske neravnine kliznih površina međusobno zakače i kao posledica toga nastaju hladne deformacije, plastične promene i smicanje. Ova pojava je slična radu turpije. S druge strane, sitne čestice strugotine koje prodru između tarućih površina u zoni rezanja prouzrokuju abraziono habanje. Na povećanje intenziteta habanja utiču i metalne čestice, koje mogu biti prisutne kao posledica odvajanja delova kliznih površina tokom adhezionog habanja. Sem ovoga, između kliznih površina mogu dospeti ostaci abrazionih čestica koje sadrži sredstvo za podmazivanje i hlađenje.

Hemijsko trošenje reznog alata nastaje prevashodno kao posledica pojave lokalnih izvora topote i nastaje kao posledica difuzionog dejstva i dejstva korozije (procesi koji se najčešće odvijaju paralelno). Naime, kada dođe u zonu rezanja, sredstvo za hlađenje i podmazivanje se usled visokih temperatura katalitički raspada, te se dobijeni produkti (azot, ugljenik, vodonik i dr.) difunduju u kristalnu rešetu čime se povećava krtost materijala¹⁶. Takođe, kao rezultat združenog dejstva visoke

¹⁶ Ovaj proces se prevashodno odvija u materijalu obratka i gde se koristi sa ciljem povećanja krtosti formirane strugotine, te se na taj način utiče na veličinu formirane strugotine. Međutim,

temperature i pritiska u zoni rezanja, a uz prisustvo različitih gasovitih jedinjenja (sumpora, oksida azota, oksida ugljenika i sl.) nastaju korozivni procesi (tzv. hemijska korozija).

Postojanost reznog alata se definiše vremenom obrade materijala između dva uzastopna oštrenja. Postojanost alata zavisi od niza faktora, kao što su:

- režim obrade (dubina i brzina rezanja, korak i dr.),
- karakteristike materijala obratka¹⁷ i reznog alata,
- geometrija reznog alata,
- karakteristike sredstva za hlađenje i podmazivanje¹⁸ itd.

Funkcionalnu vezu između brzine rezanja i postojanosti alata, analitički je izrazio Tejlor jednačinom:

$$T = \frac{C}{v^z}$$

gde je:

T (min) – postojanost alata,

v (m/min) – brzina rezanja,

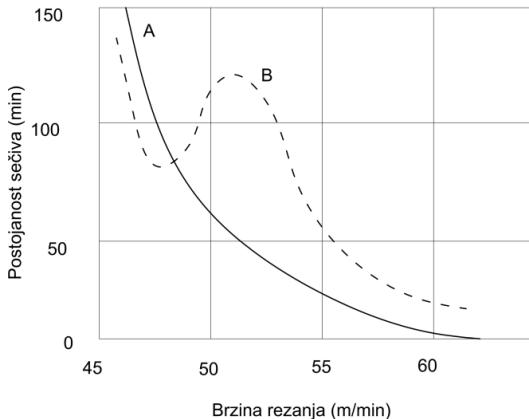
C, z – parametri obradivosti čija vrednost zavisi od vrste materijala radnog predmeta i alata, kao i drugih parametara.

Na sl. 3.11. prikazan je dijagram postojanosti reznog alata. Puna linija (A) predstavlja opštu zakonitost procesa obrade, koja pokazuje da sa povećanjem brzine rezanja opada postojanost reznog alata. Međutim, u pojedinim slučajevima (npr. pri obradi određenih tvrdih metala, vatrootpornih i sl.) karakter krive može biti značajno drugačiji (isprekidana linija B), gde se uočavaju tri dela. Prvi i treći deo krive dovoljno dobro definiše Tejlorova jednačina (sa povećanjem brzine opada postojanost alata). Međutim, drugi deo krive odstupa od ove zakonitosti (u određenom opsegu, povećanjem brzine raste postojanost alata).

slični procesi se dešavaju i u materijalu reznog alata (u znatno manjem obimu).

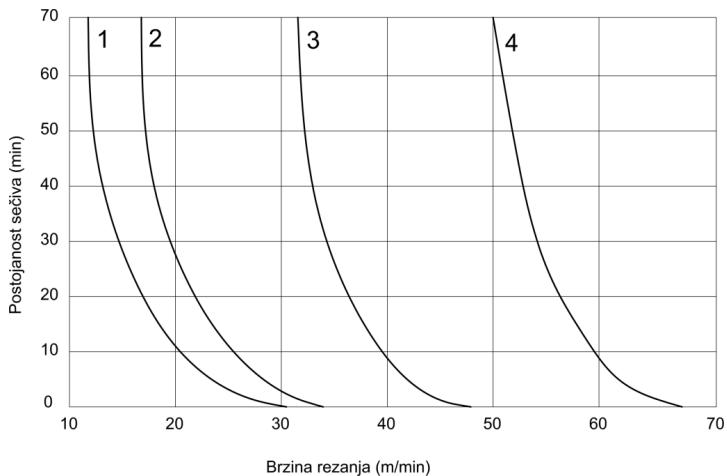
¹⁷ Rezni alat pri obradi nelegiranih čelika iste čvrstoće može imati različitu postojanost (npr.: čelik sa manjim sadržajem ugljenika lakši je za obradu). Takođe, legirani čelici se pod istim uslovima teže obrađuju od nelegiranih, dok se kovani čelik u poređenju sa livenim bolje obrađuje.

¹⁸ Postojanost alata u velikoj meri se može povećati primenom odgovarajućih sredstava za hlađenje i podmazivanje.



Sl. 3.11. T - v dijagram postojanosti reznog alata

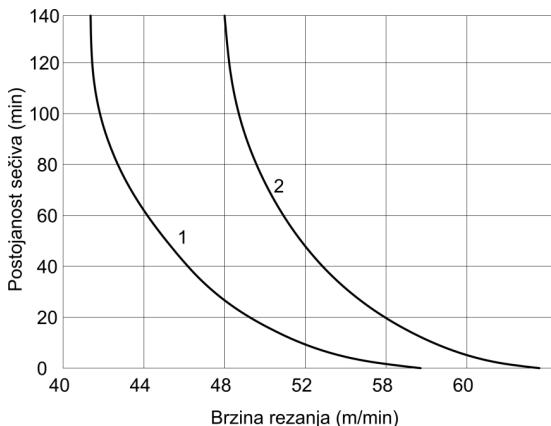
Obradom različitih vrsta metala dobijaju se različiti dijagrami postojanosti alata (krive 1, 2, 3 i 4, slika 3.12). Krive na desnoj strani dijagrama (npr. 3 i 4) odgovaraju materijalima koji se lakše obrađuju, jer se pri istoj postojanosti mogu obrađivati većim brzinama rezanja u odnosu na krive 1 i 2 (Napomena: podrazumeva se da su krive u dijagramu sl. 3.12. dobijene pri istom odnosu dubine rezanja i koraka noža).



Sl. 3.12. T-v dijagram postojanosti reznog alata za različite metale

Kako je napred navedeno, postojanost reznog alata zavisi od režima obrade (dubina i brzina rezanja, koraka i dr.). Naime, promena odnosa dubine rezanja i pomaka noža pri istoj površini poprečnog preseka strugotine, uslovjava promenu krive u T - v dijagramu. Na slici 3.13 date su krive promene postojanosti alata u funkciji promene brzine rezanja, za različite odnose dubine rezanja i koraka noža

(površina poprečnog preseka strugotine je konstantna). Sa slike se jasno uočava da se ista postojanost noža može postići većim brzinama rezanja ukoliko se poveća dubina rezanja na račun smanjenja koraka noža (linija 2)¹⁹.



Sl. 3.13. T-v dijagram postojanosti reznog alata pri različitim režimima obrade i istoj površini poprečnog preseka strugotine

1-mala dubina i veliki korak noža, 2-velika dubina i mali korak noža

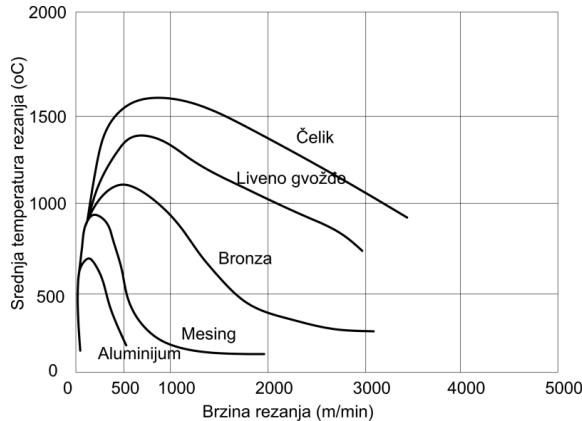
3.2.5. Temperatura rezanja

Proces stvaranja strugotine odvija se pod velikim opterećenjem i pri velikim brzinama rezanja i trenja što uzrokuje visoka naprezanja i deformacije koje se manifestuju oslobođanjem velike količine toplote. Razvoj toplotne u široj zoni rezanja je vrlo štetan pratioc procesa rezanja. Toplota negativno utiče na tačnosti obrade, kvaliteta obrađene površine, postojanost alata, ekonomičnost procesa obrade itd.

Temperatura rezanja zavisi od čitavog niza faktora kao što su: vrsta i karakteristike materijala obratka i alata, režim obrade (dubina i brzina rezanja, korak i dr.), geometrija reznog alata, vrsta sredstva za hlađenje i podmazivanje, sistem hlađenja i sl.

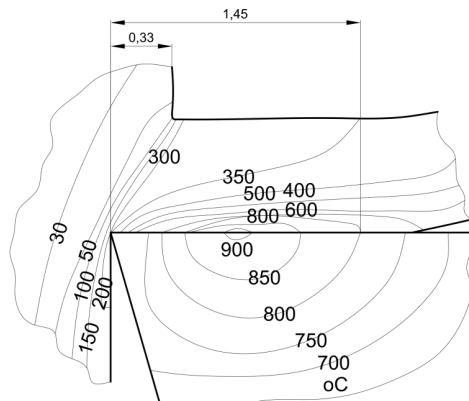
Na slici 3.14 prikazan je dijagram promene srednje temperature rezanja različitih metala u funkciji promene brzine rezanja. Sa dijagraoma se uočava da sa povećanjem brzine rezanja pri obradi različitih materijala, dolazi do naglog skoka srednje temperature rezanja. Međutim, dostizanjem tzv. kritične brzine rezanja, temperatura rezanja se smanjuje.

¹⁹ Ovo potvrđuju rezultati ispitivanja koja ukazuju da povećanjem koraka noža brzina rezanja opada dva puta brže nego pri povećanju dubine rezanja.



Sl. 3.14. Zavisnost srednje temperature rezanja od brzine rezanja za različite materijale obratka

Toplota u toku rezanja nastaje kao posledica deformacije u zoni smicanja (Q_d), usled trenja formirane strugotine po grudnoj površini Q_{T1} , trenja leđne površine po obrađenoj površini obratka (Q_{T2}) i usled deformacije i unutrašnjeg trenja u kočionom sloju. Najviša temperatura se oslobađa u zoni trenja strugotine po grudnoj površini noža. Na slici 3.15. prikazano je temperaturno polje zone rezanja pri obradi čelika.



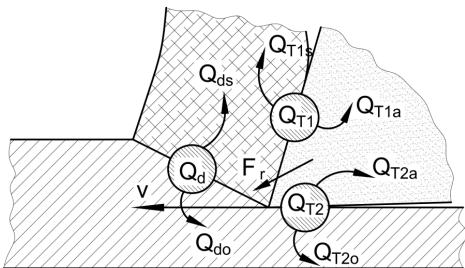
Sl. 3.15. Temperaturno polje zone rezanja pri obradi čelika

(materijal obratka: Cr čelik, materijal alata: TM RZO, $v = 80 \text{ m/min}$, $s = 0,5 \text{ m/ob}$, $a = 4,1 \text{ mm}$, $\alpha = 12^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $e = 90^\circ$; $k = 45^\circ$)

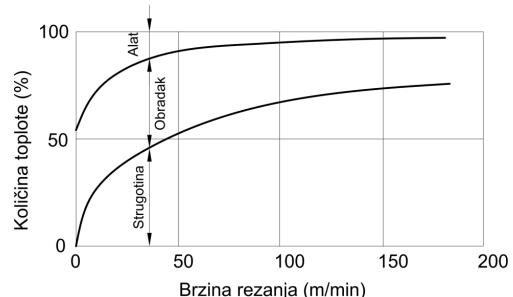
Na slici 3.16 prikazana je šema nastajanja i distribucije toplotnne energije pri rezanju. Distribucija toploote zavisi od postupka obrade, brzine rezanja, toplotnne provodljivosti materijala obrade i alata, dimenzija predmeta obrade i alata i sl.

Razvijena topota tokom rezanja odvodi se preko strugotine, obratka i alata. Količina topote koja se generiše u obratku, alatu i strugotini je²⁰:

- obratku: $Q_o = Q_{do} + Q_{T2o}$
- alatu: $Q_a = Q_{T1a} + Q_{T2a}$
- strugotini: $Q_s = Q_{ds} + Q_{T1s}$



Sl. 3.16. Šema nastajanja i distribucije topotne energije pri rezanju



Sl. 3.17. Odvođenje generisane količine topote rezanja preko alata, obratka i strugotine

Na slici 3.17 prikazana je preraspodela količine topote odvedene preko alata, obratka i strugotine u zavisnosti od brzine rezanja. Najmanja količina topote odvodi se preko reznog alata (2-5%) što je posledica male topotne provodljivosti materijala za izradu reznih alata. Međutim, na nižim brzinama rezanja alat i obradak su termički vrlo opterećeni što negativno utiče na postojanost alata i mehaničke karakteristike obratka. Najveći deo generisane topote tokom rezanja odvodi se preko strugotine (68-80%), dok se preko predmeta obrade odvede 2-10%.

Na temperaturu rezanja moguće je uticati, primenom sredstava za hlađenje i podmazivanje, koja imaju zadatak da smanje količinu razvijene topote i na taj način povećaju postojanost alata²¹ (sredstvo za hlađenje i podmazivanje može da odvede 8-25% generisane količine topote).

Prema ISO standardu sredstava za hlađenje i podmazivanje dele se u dve grupe:

²⁰ Najveća količina topote koja se generiše u zoni smicanja odvodi se strugotinom a manji deo kroz obradak. Takođe, najveći deo topote koji se generiše usled trenja strugotine po grudnoj površini odvodi se strugotinom dok se manji deo odvodi reznim klinom.

²¹ Pored hlađenja, sredstvo za hlađenje i podmazivanje ima i druge uloge. Ono podmazuje i time smanjuje trenje između tarućih površina (obratka, alata i strugotine). Takođe, ova sredstva imaju ispirajuću ulogu (odvode strugotinu iz zone rezanja). Pored ovih uloga vrlo je značajno njihovo mehaničko i difuziono dejstvo. Naime, usled njihovog katalitičkog raspada u zoni rezanja, produkti raspada (azot, vodonik, ugljenik, bor i sl.) difunduju u kristalnu rešetku strugotine čineći je krtom. Na taj način moguće je upravljati veličinom strugotine.

- ISO-L-MH – neemulgirajuća ulja za obradu metala (čista ulja za rezanje)
- ISO-L-MA – emulzivni i u vodi rastvorljivi fluidi za obradu metala.

Neemulgirajuća ulja smanjuju temperaturu rezanja za 10 - 30°C. Njegovo glavno dejstvo je podmazivanje čime utiču na povećanje postojanosti reznog alata (smanjenjem trenja snižavaju količinu generisane toplote). Ulja za rezanje se koriste u procesima gde se rezanje odvija pri relativno malim brzinama uz pojavu velikih otpora rezanja.

S druge strane, uljne emulzije omogućavaju intenzivnije odvođenje toplote. Njihovom upotreboru postiže se viši kvalitet obrađene površine ali manja postojanost reznog alata (u odnosu na ulje za rezanje). Ova sredstva se koriste u slučajevima kada se rezanje obavlja velikim brzinama, uz pojavu relativno malih otpora rezanja.

Osnovna podela ovih sredstava vrši se prema sadržaju vode i sintetičkih komponenti na:

- **Proizvodi sa više od 60% mineralnog ulja** - mešanjem sa vodom dobija se emulzija mlečno bele boje – tzv. "bohr ulje". Pored mineralnog ulja oni sadrže emulgatore, baktericide, nekad i EP aditive. Koriste se u koncentraciji 3-10%.
- **Proizvodi sa manje od 60% mineralnog ulja** - sadrže veću količinu emulgatora sintetičkog porekla, prozirnog su izgleda i koriste se u koncentraciji 3-5%.
- **Proizvodi na bazi sintetičkih komponenti** - ne sadrže mineralno ulje. Sadrže aditive za snižavanje površinskog napona vode, inhibitore korozije (po potrebi EP aditive), transparentnog su izgleda i imaju veoma dugotrajnu upotrebu. Ova sredstva ostvaruju visok efekat hlađenja i podmazivanja što omogućava postizanje visokog kvaliteta obrađene površine.
- **Proizvodi na bazi rastvorljivih anorganskih i organskih soli i alkohola** - koriste se u uslovima gde kvalitet podmazivanja nije od presudnog značaja (npr. obrada brušenjem). Ostvaruju odgovarajući efekat hlađenja, ispiranja i antikorozione zaštite. Po izgledu su prozirni vodenim rastvorima).

Pripremanje emulzije

Veliki značaj za stabilnost emulzije ima način pripreme. Kod pripremanja emulzije treba se pridržavati sledećeg:

- dodavati koncentrat u vodu (nikada ne vodu u koncentrat),
- intenzivno mešati vodu za vreme dolivanja koncentrata,
- koncentrat dodavati u tankom jednolikom mlazu,
- koncentrat treba da ima temperaturu oko 20°C,
- kod duže skladištenih koncentrata, iste prethodno izmešati,
- vodu ispitati, po potrebi omekšati, filtrirati, ukloniti mikroorganizme,
- ako je tvrdoča vode ispod 5°dH (1 mmol/l), povećati joj tvrdoču,
- pridržavati se preporučenog odnosa ulje-voda,

- ne mešati različite koncentrate,
- emulzije ne namešavati u samom rezervoaru mašine alatke,
- posude i rezervoari u kojima se obavlja namešavanje održavati čistim i periodično ih dezinfikovati,
- emulziju pripremati neposredno pred primenu.

3.2.6. Vrste strugotine

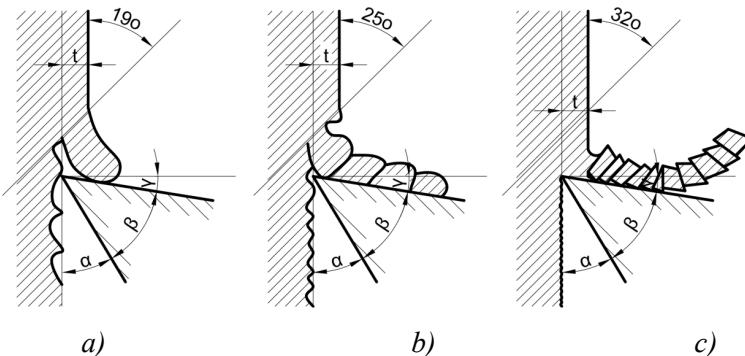
U toku rezanja, zavisno od vrste materijala obrade, režima obrade i geometrije reznog klina, mogu se formirati različiti oblici strugotine. Razlikuju se tri osnovna oblika strugotine:

- kidana,
- rezana i
- trakasta.

Kidana strugotina dobija se pri obradi materijala malom brzinom rezanja ili malim grudnim uglom (γ). Strugotina se stvara otkidanjem materijala na nekom odstojanju od vrha noža (sl. 3.18a), usled čega se na površini obrađenog materijala raspoznaaju tragovi kidanja što uzrokuje nizak kvalitet obrađene površine.

Povećanjem brzine rezanja ili grudnog ugla (γ), odvajanje strugotine od materijala je bliže vrhu noža, a strugotina je duža (sl. 3.18b). Ova strugotina se naziva **rezana strugotina**. Na ovaj način postiže se bolji kvalitet obrađene površine u odnosu na prethodni slučaj.

Daljim povećanjem brzine rezanja ili grudnog ugla (γ), vrši se kontinualno smicanje strugotine neposredno ispred vrha noža. Strugotina se odvaja kao neprekidna traka i zove se **trakasta strugotina** (sl. 3.18c). Ovaj oblik strugotine je poželjan, naročito ako je zahtevan visok kvalitet obrađene površine.



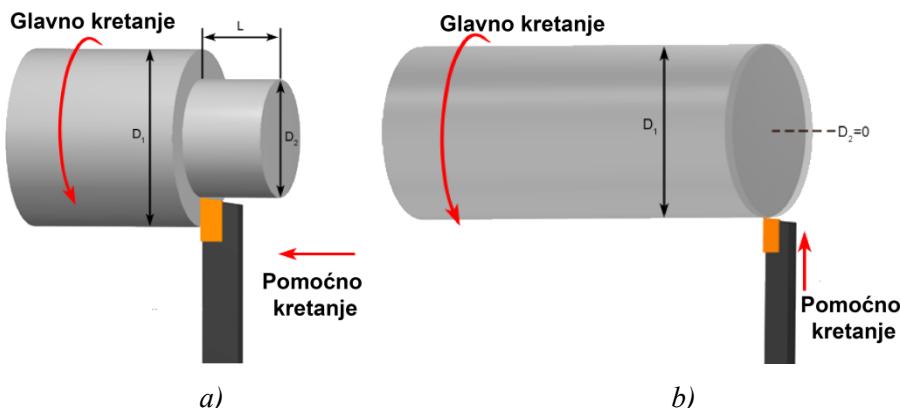
Sl. 3.18. Vrste strugotine

a-kidana strugotina, b-rezana strugotina, c-trakasta strugotina

3.3. OBRADA NA STRUGU

3.3.1. Osnove obrade na strugu

Obrada struganjem je najrasprostranjenija tehnološka operacija u obradi metala rezanjem. Koristi se za obradu površina mašinskih delova čija je izvodnica krug. Glavno kretanje pri obradi struganjem je obrtno kretanje obratka, a pomoćno pravolinijsko kretanje reznog alata. Pomoćno kretanje može biti paralelno sa osom obrtanja obratka (uzdužno struganje, sl. 3.19a) i upravno na pravac ose rotacije (poprečno struganje, sl. 3.19b). Kombinacijom uzdužnog i poprečnog kretanja obavlja se obrada pod uglom (izrada konusa).



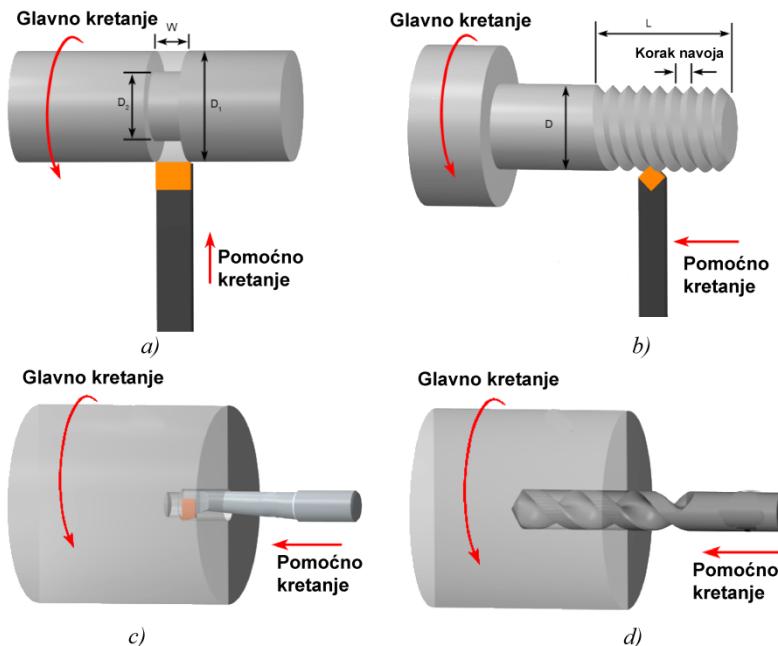
Sl. 3.19. Kinematika struganja
a) uzdužno struganje, b) poprečno struganje

Prema kvalitetu obrađene površine, obrada na strugu se deli na grubu i finu, a prema proizvodnoj operaciji na prethodnu i završnu. Grubom obradom na strugu postiže se kvalitet obrađene površine N7 do N12 a finom N4 do N8.

Obradom na strugu realizuje se veliki broj operacija, kao što su (sl. 3.20):

- uzdužna obrada (spoljašnja i unutrašnja),
- poprečna obrada (spoljašnja i unutrašnja, usecanje, prethodno i završno odsecanje),
- izrada konusa (spoljašnjeg i unutrašnjeg),
- izrada profila (profilnim alatom i kopiranjem),
- nerotaciono struganje (prizmatičnih delova i ledno struganje),
- izrada navoja (spoljašnjeg i unutrašnjeg),

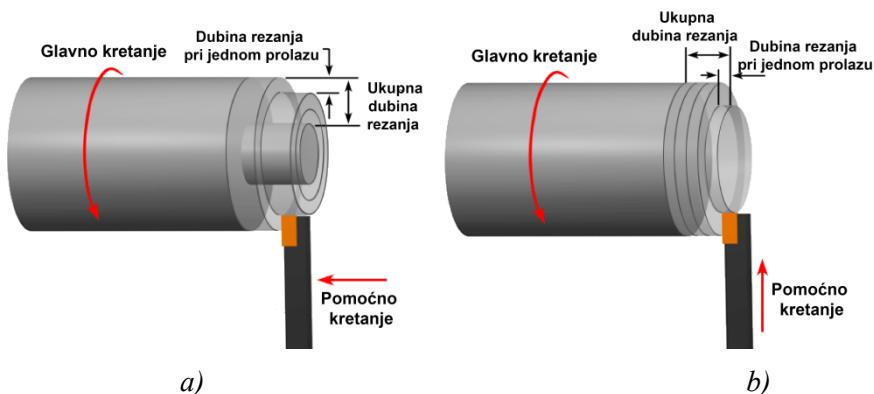
- izrada i obrada otvora i rupa...



Sl. 3.20. Neki zahvati obrade na strugu

a) usecanje, b) izrada navoja, c) unutrašnje uzdužno struganje, b) bušenje

Obrada površine, u zavisnosti od količine materijala koji se uklanja, može se obaviti u jednom ili više prolaza. Na slici 3.21 prikazana je uzdužna (a) i poprečna (b) obrada na strugu u više prolaza.



Sl. 3.21. Obrada cilindričnih površina na strugu u više prolaza
a) uzdužno struganje, b) poprečno struganje

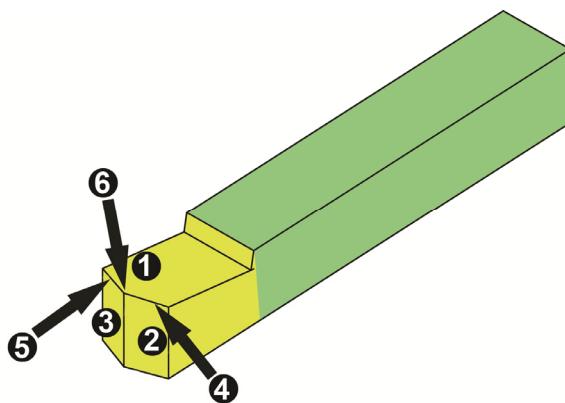
3.3.2. Karakteristike reznog alata

Obrada na strugu obavlja se primenom jednosečnog alata-strugarskog noža. Svi strugarski noževi sastoje se od najmanje dva dela:

- rezni deo (na kome se nalaze rezni klin alata) i
- drške alata (preko koje se vrši postavljanje i pričvršćivanje alata u nosač alata na mašini).

Rezni deo strugarskog noža čini (sl. 3.22):

1. grudna površina (nalazi se na gornjoj strani reznog dela, preko ove površine klizi i odvodi se strugotina),
2. leđna površina (nalazi se u pravcu površine rezanja),
3. leđna pomoćna površina (okrenuta je prema obrađenoj površini),
5. pomoćno sečivo (nalazi se u preseku grudne i pomoćne leđne površine),
4. glavno sečivo (nalazi se u preseku grudne i leđne glavne površine i ono prodire u materijal radnog predmeta),
6. vrh noža²² (tačka preseka grudne, leđne i pomoćne leđne površine)



Sl. 3.22. Osnovni elementi strugarskog noža

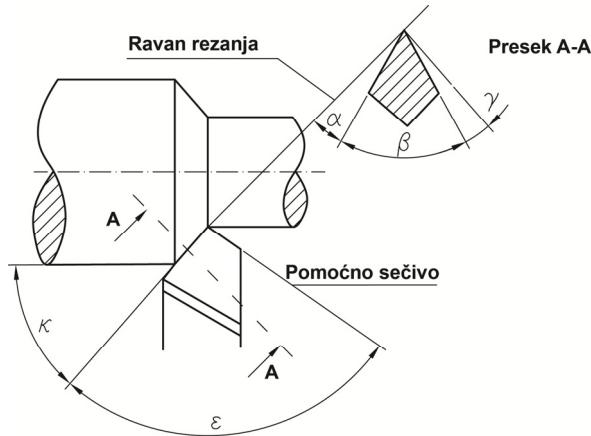
1- grudna površina, 2-leđna površina, 3-pomoćna leđna površina, 4-glavno sečivo, 5-pomoćno sečivo, 6-vrh noža

Da bi alat za rezanje odgovorio postavljenom zadatku, mora pored fizičkih i mehaničkih svojstava (struktura, sastav, tvrdoća, otpornost, postojanost na

²² Vrh strugarskog noža treba da je zaobljen. Ovo zaobljenje vrha noža treba da je po mogućству što veće da bi specifično opterećenje sečiva bilo što manje. Međutim, prekomerno zaobljenje može nepovoljno da utiče na odvođenje strutotine. Stoga se preporučuje da poluprečnik zaobljenja (r) bude 2,5 puta veći od koraka noža.

temperaturu i habanje i sl.), da ima i odgovarajući oblik tj. geometriju. Na slici 3.23 prikazana je geometrija reznog klina strugarskog noža.

Geometriju reznog klina čini: grudni ugao (γ), leđni ugao (α), ugao klina (β), ugao vrha (ε), napadni ugao (κ) i ugao nagiba sečiva (λ).

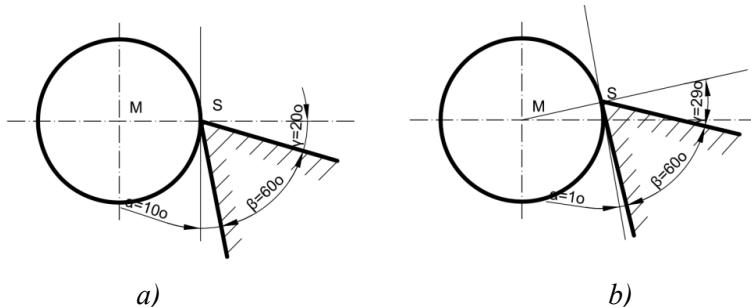


Sl. 3.23. Geometrija reznog klina

Grudni ugao (γ) je ugao između grudne površine i ravni normalne na ravan rezanja (koja prolazi kroz glavno sečivo), a leđni (α) ugao je ugao između ravni rezanja i leđne površine noža. Ugao između ove dve površine (grudne i leđne) naziva se ugao klina (β). Zbir ova tri ugla je 90° ($\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$). Leđni ugao kreće se u granicama $0\text{--}30^\circ$. Ovaj ugao utiče na trenje između noža i materijala koji se obrađuje. Ukoliko je on manji trenje je veće. Veliki uglovi α izazivaju slabljenje noža jer smanjuje ugao klina. Vrednost grudnog ugla kreće se u granicama od -20 do 25° , pri čemu ugao γ ne sme biti suviše veliki kako nož ne bi bio oslabljen²³. Iz tog razloga se pri rezanju tvrdog materijala uzimaju manji uglovi γ a za mekše materijale veći. (npr. za izvođenje operacija finog struganja koriste se noževi čiji je grudni ugao u granicama $0\text{--}25^\circ$, dok se za grubo struganje najčešće koriste noževi sa negativnim grudnim uglom, u oblasti ruba, do -20°). Vrednost grudnog i leđnog ugla menja se u procesu rezanja u zavisnosti od položaja vrha alata u odnosu na osu predmeta obrade. Na slici 3.24a prikazan je nož čiji je vrh postavljen u osu obratka, a na slici 3.24b promena grudnog (γ) i leđnog (α) ugla usled podizanja iznad ose obratka.

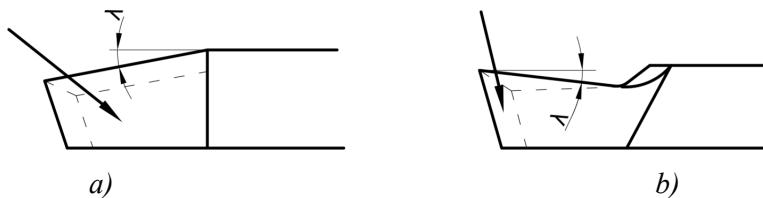
Ugao vrha noža (ε) je ugao između glavnog i pomoćnog sečiva, a napadni ugao (κ) je ugao između glavnog sečiva i pravca pomoćnog kretanja (sl. 3.23). Napadni ugao kreće se u granicama $0\text{--}90^\circ$.

²³ Povećanjem grudnog ugla γ , smanjuje se ugao klina β .



Sl. 3.24. Relativna promena uglova noža usled promene njegovog visinskog položaja
a-vrh noža na visini ose radnog predmeta, b-vrh noža iznad ose radnog predmeta

Pored navedenih uglova kod strugarskog noža definiše se i ugao nagiba sečiva (λ), odnosno ugao između glavnog sečiva i horizontale postavljenje kroz vrh reznog alata mereno u vertikalnoj ravni (sl. 3.25). Ugao može biti negativan, pozitivan ili jednak nuli. Naime, ovaj ugao utiče na pravac otpora rezanja. Kod pozitivnog ugla λ otpor rezanja je usmeren prema jezgru glave noža. S druge strane, kod negativnog ugla λ , otpor rezanja je usmeren prema sečivu, što nepovoljno utiče na otpornost sečiva. Iz tog razloga se za obradu tvrdog materijala upotrebljavaju pozitivne vrednosti nagibnog ugla λ .



Sl. 3.25. Uticaj ugla λ

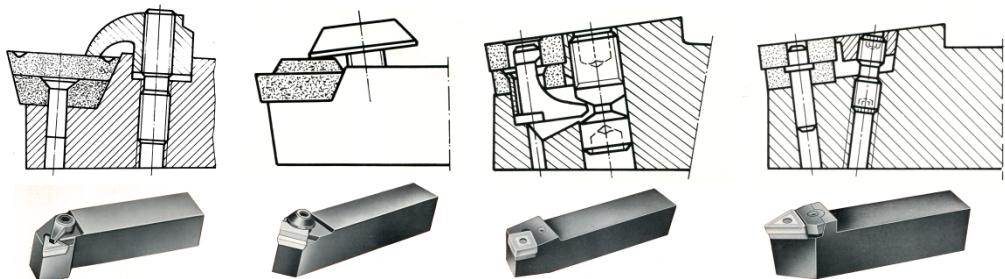
a-pozitivan ugao λ , b-negativan ugao λ

Rezni deo strugarskog noža izrađuje se od brzoreznog čelika, tvrdog metala ili rezne keramike. Brzorezni čelik se najčešće koristi za izradu noževa namenjenih obradi profilnih površina (površina složenog geometrijskog oblika). Tvrdi metali i rezna keramika koriste se za izradu izmenjivih ili okretnih pločica koje se vezuju za dršku noža, mehanički ili lemljenjem²⁴. Mehanička veza izmenjivih pločica i drške alata ostvaruje se primenom različitih rešenja (vijkom, preklopnom pločicom, ekscentrom, kombinacijom preklopne pločice i ekscentra i sl)²⁵.

²⁴ Strugarski noževi sa lemljenim pločicama se danas retko koriste zbog njihove skuplje izrade.

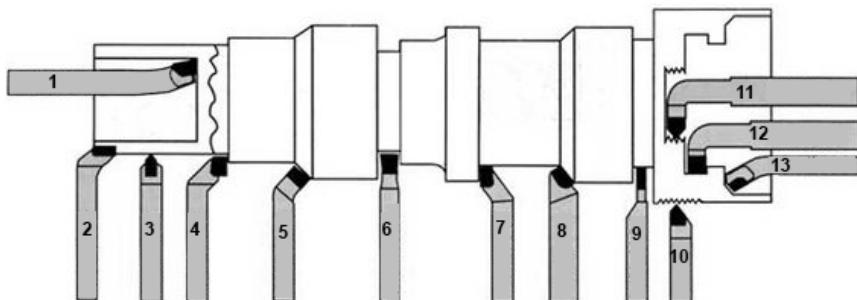
²⁵ Kod ovih noževa nakon zatupljenja jednog sečiva, pločica se oslobođi i okrene tako da se u radni položaj postavi sledeće sečivo (rezna ivica).

Na slici 3.26. prikazani su primeri izvedenih rešenja veze izmenljivih pločica sa drškom strugarskog noža.



Sl. 3.26. Izvedena rešenja veze pločica od tvrdog metala sa drškom strugarskog noža

Oblik strugarskog noža zavisi od vrste obrade kao i od vrste materijala koji se obrađuje. Na slici 3.27 prikazani su različiti oblici strugarskog noža sa pločicom od tvrdog metala. Osnovna podela strugarskih noževa vrši se prema nameni, na noževe namenjene za spoljašnju uzdužnu obradu (sl. 3.27, 1,4,5,7,8), unutrašnju uzdužnu obradu (otvora ili rupa - 1,13), poprečnu obradu (2), izradu navoja (10,11), profila, zaobljenja ili žlebova različitih profila (usecanje, zasecanje – 6,9,12). Prema vrsti obrade razlikuju se noževi za finu (3) i grubu obradu (1,2,4,5,7,8). Prema obliku reznog dela (glave) noževi se dele na prave (3,8,10), savijene (1,2,4,5,7,11,12,13) i noževi sa stanjenim reznim delom (9). Prema položaju glavnog sečiva noževi se dele na leve (4,5,8) i desne (7)²⁶.



Sl. 3.27. Zahvati različitih izvedbi oblika strugarskih noževa sa pločicom od tvrdog metala

²⁶ Levi noževi vrše rezanje sa pomoćnim kretanjem sleva u desno, a desni sdesna uлево.

3.3.3. Režim obrade na strugu

Režim obrade na strugu određuje brzina rezanja, pomak noža (korak) i dubina rezanja. Ove veličine zavise od vrste materijala obratka i reznog alata²⁷, željenog kvaliteta obrađene površine²⁸, karakteristika alatne mašine (struga)²⁹ i slično.

Prilikom određivanja režima rezanja najpre se određuje dubina rezanja, gde treba težiti da se sva količina materijala ukloni u jednom prolazu (ukoliko je ovo moguće). Generalno, dubina rezanja pri gruboj obradi, kreće se u granicama od 4 do 15 mm, a pri finoj od 1-1,5 mm. Nakon dubine rezanja određuje se korak noža. Korak noža pri gruboj obradi kreće se u granicama od 0,5-2 mm, a pri finoj obradi od 0,2-0,5 mm. Kada se odrede dubina rezanja i korak noža, pristupa se određivanju brzine rezanja. Brzina rezanja kreće se u granicama od 8-150 m/min za grubu, odnosno 12-250 m/min za finu obradu. Prilikom obrade na strugu unutrašnjih površina, brzine rezanja su oko dva puta manje.

3.3.4. Mašine za obradu struganjem

Osnovnu podelu strugova moguće je izvršiti na:

- Strugovi za pojedinačnu proizvodnju:
 - univerzalni strug,
 - strug sa vučnim vretenom,
 - strug sa vodećim vretenom,
 - čeoni strug,
 - karusel (vertikalni) strug...
- Strugovi za serijsku proizvodnju:
 - višesečni strug,
 - kopirni strug,
 - revolver strug...
- Strugovi za masovnu proizvodnju:

²⁷ Primena alata izrađenih sa pločicama od tvrdog metala omogućavaju veće brzine rezanja u odnosu na alate izrađene od brzoreznih čelika.

²⁸ Pri finoj obradi radi se sa većim brzinama i manjim korakom u odnosu na grubu obradu.

²⁹ Snage motora, tačnosti, krutosti alatne mašine i sl.

- automatski strugovi (jednovreteni i viševreteni),
- poluautomatski strugovi (jednovreteni i viševreteni),
- poluautomatski kopirni strugovi,
- fazonski automatski strug,
- revolverski automat sa stalnim bregastim vodicama,
- revolverski automat sa promenljivim bregastim vodicama...

Strugovi za pojedinačnu proizvodnju

U strugove za pojedinačnu proizvodnju spadaju strugovi koji se lako mogu prilagoditi prelazu sa jednog radnog predmeta na drugi različitog oblika. Ovi strugovi obično nemaju elemente za povećanje produktivnosti.

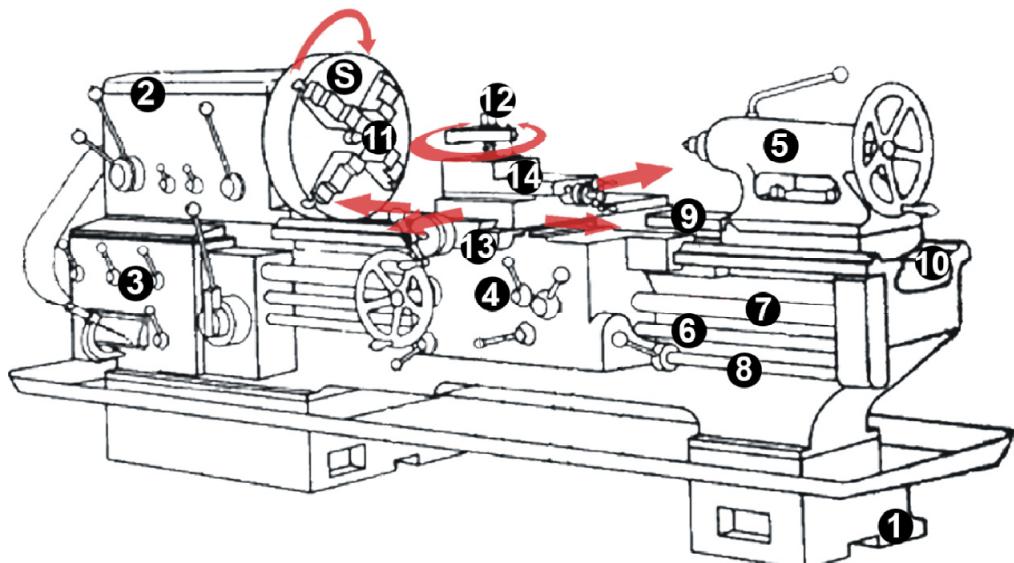
U pojedinačnoj proizvodnji **univerzalni strugovi** se najčešće koriste zbog svojih širokih mogućnosti prilagođavanja različitim operacijama. Univerzalnost primene ovih strugova postignuta je ugradnjom vučnog i vodećeg (navojnog) vretena, kao i nosača alata sa uzdužnim, poprečnim i zakretnim vođicama. Na slici 3.28 prikazani su osnovni delovi univerzalnog struga. Glavno kretanje se ostvaruje prenosom sa elektromotora preko prenosnika za glavno kretanje (sl. 3.28, poz. 2) na glavno radno vreteno (poz. 11). Prenosnik glavnog kretanja omogućava promenu brojeva obrtaja glavnog radnog vretena u zavisnosti od zahtevane brzine rezanja. Sa prenosnika za glavno kretanje prenosi se obrtni moment do prenosnika za pomoćno kretanje (poz. 3), sa kojeg se dalje prenosi ka nosaču alata (poz. 4). Prenos obrtnog momenta od prenosnika pomoćnog kretanja do nosača alata obavlja se preko vodećeg (navojnog) (poz. 7) ili vučnog vretena (poz. 6). Pri tome prenosnik pomoćnog kretanja može imati različite brzine, odnosno može ostvariti različite korake.

Vodeće vreteno (poz. 7) izrađuje se u vidu navojnog vretena i koristi se za izradu zavojnica (navoja). Vučno vreteno (poz. 6) se izrađuje kao glatko sa uzdužnim žlebom. Vučno vreteno se koristi pri izvođenju svih drugih strugarskih operacija sa automatskim uzdužnim ili poprečnim pomakom. Vučno vreteno se ugrađuje na univerzalne strugove kako bi se smanjila upotreba vodećeg vretena a time sprečilo nedozvoljeno odstupanje koraka zavojnice kao posledice pohabanosti vodećeg vretena i pripadajuće mu dvodelne navrtke u nosaču alata.

Držač alata (poz. 12) služi za pozicioniranje alata na mašini. Nosač alata pomerljiv je po svom uzdužnom klizaču (poz. 9), paralelno sa osom obrtanja obratka (uzdužno struganje). Pored uzdužnog pomeranja noža, nosač alata omogućava poprečno pomeranje držača alata, upravno na pravac ose obrtanja obratka (poprečno struganje). Zakretni klizač (poz. 14) omogućava zakretanje i vođenje držača alata u

pravcu koji sa osom obrtanja obratka zaklapa neki ugao (koso struganje). Unutar nosača alata smešten je prenosnik pomoćnog kretanja. Prenosnik omogućava uključivanje i isključivanje automatskog aksijalnog pomeranja nosača alata, kao i odabir pravca (uzdužni ili poprečni) kretanja noža.

Nosač šiljka (poz. 5) služi za podupiranje obradaka veće dužine. Pored toga, nosač šiljka se može koristiti za pozicioniranje različitih reznih alata (burgija, ureznica i sl.) sa cilindričnom ili koničnom (morze konus) drškom. Nosač šiljka ima prizmatične vođice i može se uzdužno pomerati po vodećim kliznim površinama (poz. 10). Pomoću stezne poluge, moguće je pozicioniranje nosača šiljka u bilo kom položaju duž klizne staze. U gornjem delu nosača šiljka nalazi se konusna čaura (pinola), koja se može uzdužno pomerati pomoću svog vretena.



Sl. 3.28. Univerzalni strug

1-postolje, 2, prenosnik glavnog kretanja, 3-prenosnik pomoćnog kretanja, 4-nosač alata, 5-nosač šiljka (konjac), 6-vučno vretno, 7-vodeće (navojno) vretno, 8-vretno za uključivanje i isključivanje struga, 9-uzdužna vođica nosača alata, 10-vođica nosača šiljka, 11-glavno radno vretno, 12-držać alata, 13-poprečna vođica držaća alata, 14-zakretni klizač, S-stezna glava

Primer univerzalnog struga COE6240A

Tehničke karakteristike struga su: Maksimalna dužina obratka 1000, 1500, 2000 ili 3000 mm. Broj stepeni prenosa 22, rang brzina 11-1400 o/min, Prečnik otvora radnog vretena 52 mm, opseg metričkih navoja koji se mogu izraditi na strugu 0,5-

240, snaga motora 10 KS, masa struga 2100 do 3030 kg zavisno od maksimalne dužine obratka.

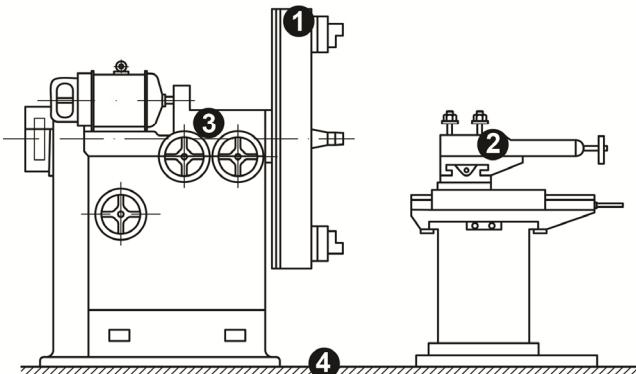


Sl. 3.29. Univerzalni strug COE6240A

Strugovi sa vučnim vretenom se od univerzalnih strugova razlikuju po tome što neposeduju vodeće (navojno) vreteno, čime je na ovim strugovima onemogućena izrada zavojnica sa tačno definisanim korakom.

Strugovi sa vodećim vretenom opremljeni su samo vodećim (navojnim) vretenom, čime im je primena ograničena samo na izradu zavojnica različitog koraka.

Za obradu radnih predmeta velikog prečnika a male dužine, upotrebljavaju se specijalni **strugovi za poprečnu obradu (čeoni strug)** (sl. 3.30) koji se odlikuju stezačem (poz. 1) velikog prečnika. S obzirom na to da se radi o obradcima velikog prečnika, glavno vretno (obradak) ima samo niske brojeve obrta. Nosač alata (poz. 2) je obično odvojen od nosača glavnog vretna i vezan je za njega preko zajedničkog temelja (poz. 4). Mogućnost za uzdužno kretanje nosača alata je mala, dok u poprečnom pravcu nož ima dovoljan hod za poprečnu obradu celog prečnika.

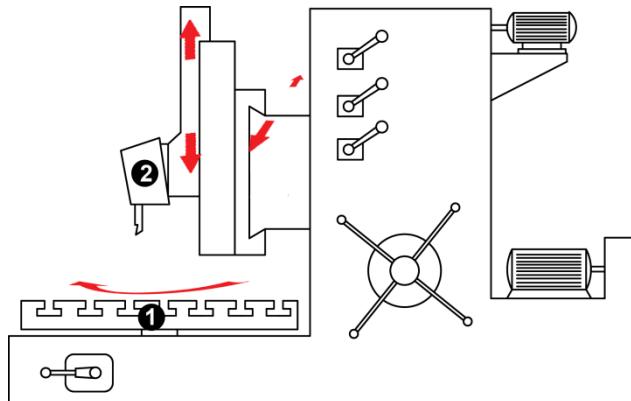


Sl. 3.30. Uprošćena šema čeonog struga

1-stezna glava, 2-nosač alata, 3-prenosnik glavnog kretanja, 4-zajednički temelj

Vertikalni strugovi (Karusel) namenjeni su obradi radnih predmeta velikog

prečnika i male visine (sl. 3.31). Vertikalni strugovi praktično zamenjuju poprečne strugove koji su uglavnom starije generacije. Primenom ovih strugova eliminisan je problem poprečnih strugova koji se ogledao u otežanom pozicioniranju obratka. Naime, kod ovih strugova obradak se pozicionira na okretni radni sto (sl. 3.31, poz. 1), koji se okreće oko vertikalne ose. Kod ovih strugova pomoćno kretanje alata (poz. 2) usmereno je u horizontalnom (poprečna obrada) i vertikalnom pravcu (uzdužna obrada).

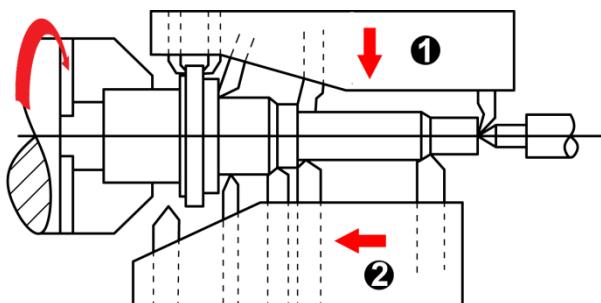


Sl. 3.31. Uprošćena šema vertikalnog struga
1- okretni sto, 2-nosač alata

Strugovi za serijsku proizvodnju

Strugovi za serijsku proizvodnju namenjeni su izradi većeg broja komada istog proizvoda ili izvođenje većeg broja operacija istovremeno.

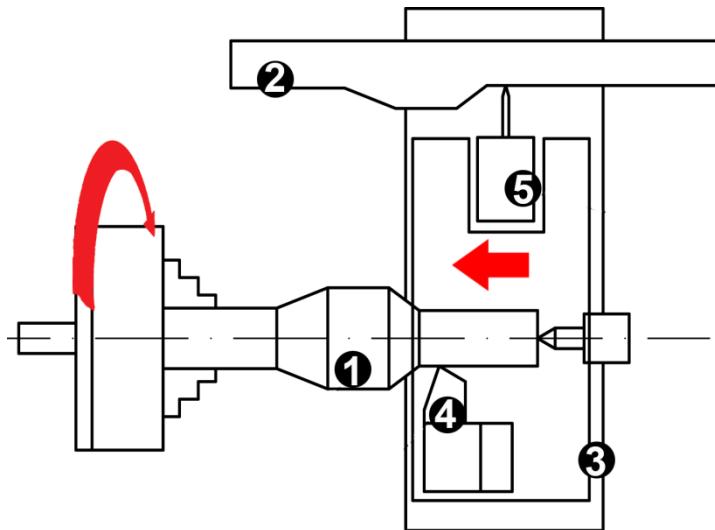
Za istovremeno izvođenje većeg broja operacija u uzdužnom i poprečnom pravcu koriste se **višesečni strugovi** (sl. 3.32), koji su opremljeni sa dva nosača alata. Jedan nosač alata postavljen je sa zadnje strane i na njega su postavljeni alati za poprečnu obradu (poz. 1), a drugi sa prednje strane opremljen je alatima namenjenim izvođenju uzdužnih operacija – poz. 2). Oba nosača alata pogone se istovremeno.



Sl. 3.32. Šema rada
višesečnog struga

1-nosač alata za
poprečnu obradu, 2-
nosač alata za uzdužnu
obradu

Kopirni strugovi (sl. 3.33) opremljeni su uređajem za kopiranje. Kod ovih strugova strugarski nož (poz. 4) koji se nalazi na uređaju za kopiranje (poz. 3), kreće se u skladu sa kretanjem kopirnog šiljka (poz. 5). Kopirni šiljak prati konturu modela - šablonu (poz. 2).



Sl. 3.33. Šema rada kopirnog struga

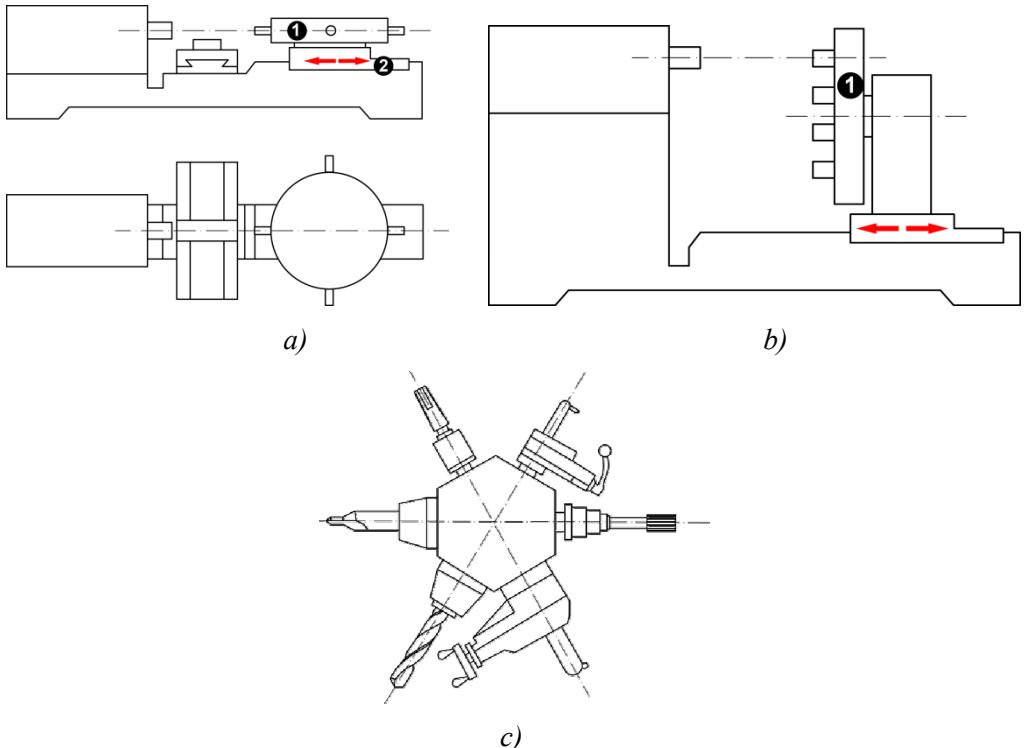
1-obradak, 2-model (šablon), 3-nosač alata, 4-rezni alat (nož), 5-kopirni šiljak

Revolver strugovi omogućavaju izvođenje većeg broja operacija obrade radnog predmeta pomoću više alata, bez premeštanja obratka sa jedne mašine na drugu. Ovakvi strugovi opremljeni su revolverskom glavom (sl. 3.34c) na koju su smešteni svi alati koji se predviđaju za operacije na predmetu. Prema položaju revolver glave ovi strugovi mogu biti sa horizontalnom (sl. 3.34a) i vertikalnom glavom (sl. 3.34b).

Horizontalna revolverska glava (sl. 3.34a, poz. 1) obrće se oko vertikalne ose i kod nje su alati postavljeni po obimu držača u ravni koja se nalazi u osi glavnog vretena. Uzdužni zahvati obavljaju se uzdužnim kretanjem nosača revolverske glave (poz. 2). Poprečni zahvati se ostvaruju posebno ugrađenim poprečnim nosačem alata.

Vertikalna revolverska glava (sl. 3.34b, poz. 1) obrće se oko horizontalne ose, a alati su paralelno postavljeni na čeonoj strani glave. Alat u zahvatu se nalazi u gornjem (najvišem) položaju. Osa otvora za smeštaj alata poklapa se sa osom glavnog vretena. Poprečna obrada se izvodi laganim obrtanjem revolverske glave.

Revolverski strugovi su namenjeni za obradu: spoljašnjih i unutrašnjih cilindričnih i profilnih površina, za rezanje navoja, za bušenje, razvrtanje itd.



*Sl. 3.34. Šematski izgled revolver struga
 a-revolver strug sa horizontalnom glavom, b-revolver strug sa vertikalnom glavom, c-revolver glava
 1-revolverska glava, 2-nosač revolverske glave*

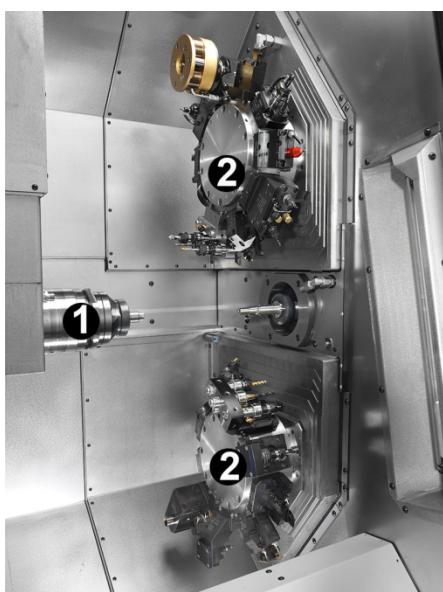
Strugovi za masovnu proizvodnju

U cilju povećanja produktivnosti proizvodnog procesa, kod mašina namenjenih masovnoj proizvodnji, prelazi se ka automatizovanju svih onih pokreta i operacija koje se kod mašina za serijsku proizvodnju izvode ručnim putem (povećanje produktivnosti se ostvaruje smanjenjem pomoćnog vremena). Tako nastali automatski strugovi odlikuju se potpunom automatizacijom svih pokreta sem ubacivanja materijala. Radne operacije se obavljaju po određenom redosledu, pri čemu se određene operacije mogu obavljati i istovremeno, pri čemu se skraćuje vreme obrade. Automatski strugovi zahtevaju veće pripremno vreme od strugova za serijsku proizvodnju, ali se vreme obrade smanjuje u odnosu na njih. Karakteristično za strugove namenjene masovnoj proizvodnji je jednostavnost u radu, pri čemu jedan radnik nadgleda i snabdeva materijalom dve ili više mašina (samo pripremanje automata za obradu vrši posebno visokokvalifikovano lice).

Prema načinu dovođenja materijala razlikuju se automatski strugovi sa dovođenjem materijala u vidu šipki i automatski strugovi sa magacinom za punjenje. Automatski strugovi sa magacinskom postavkom za punjenje snabdevaju se prethodno kovanim ili livenim delovima ili delovima koji su prethodno delimično obrađeni na drugim mašinama. Dovođenje ovakvih delova vrši se pomoću uređaja za punjenje u vidu levka, doboša ili sl. Pored toga, u upotrebi su i mašine sa ručnim ubacivanjem pojedinih pola obrađenih delova. Ove mašine se koriste u slučajevima kada njihov oblik ne dozvoljava punjenje pomoću magacina. Ovo su tzv. poluautomatski strugovi.

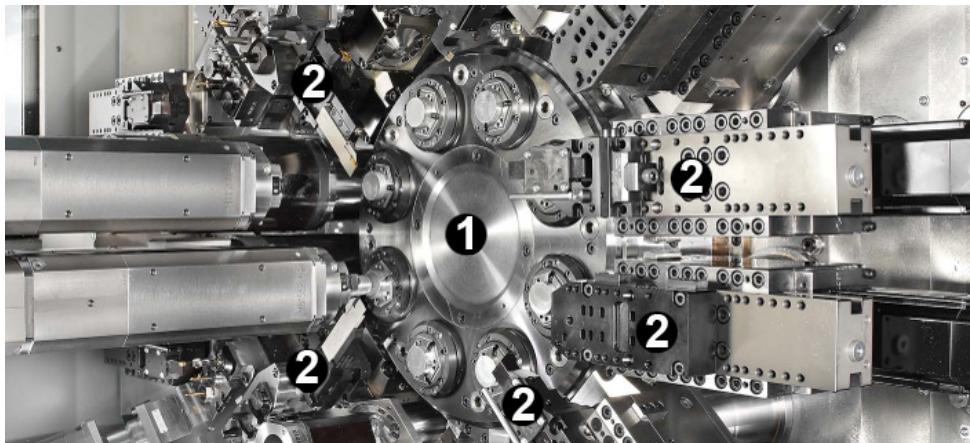
Prema broju glavnih vretena razlikuju se automatski strugovi sa jednim i više vretenima, dok se prema položaju vretena automatski strugovi dele na horizontalne i vertikalne.

Jednovreteni automatski strugovi (sl. 3.35) imaju dva ili više poprečnih nosača alata, kao i revolverski nosač alata (poz. 2) koji izvodi uzdužno kretanje.



Sl. 3.35. Jednovreteni automatski strug
1-glavno radno vretneno, 2-revolverski nosač alata

Viševreteni automatski strugovi služe za istovremenu obradu više delova. Broj delova koji se istovremeno može obrađivati jednak je broju glavnih vretena. Broj glavnih vretena najčešće se kreće od 4 do 8. Glavna vretnena postavljena su u zajedničkom dobošu koji se posle istovremeno izvedenog zahvata svih alata okreće za deo kruga (360° podeljen sa brojem vretena), pri čemu se obradak pomera od alata do alata koji su postavljeni prema redosledu zahvata. Posle jednog obrta doboša, završena je obrada onoliko delova koliko ima glavnih vretena. Na slici 3.36 prikazan je detalj viševretenog automatskog struga. Ovaj strug opremljen je glavom (poz. 1) sa osam glavnih vretena (ima mogućnost istovremene obrade osam obradaka). Obradak se steže u radnu glavu pomoću steznih čaura. Strug je opremljen sa većim brojem nosača alata (poz. 2) što omogućava izvođenje različitih tehnoloških operacija.



Sl. 3.36. Viševreteni automatski strug
1-glava struga, 2-nosač alata

3.3.5. Pomoćni pribor

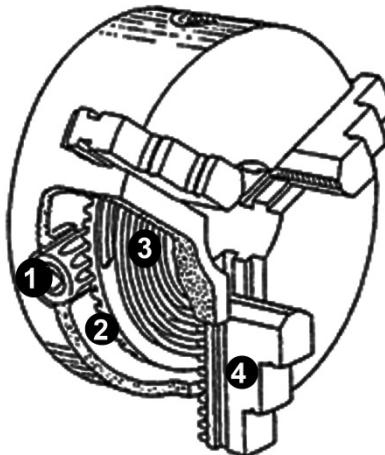
Da bi se osigurao proces obrade materijala skidanjem strugotine (koji prati veliko opterećenje), neophodno je obezbediti da obradak i rezni alat zauzmu odgovarajući međusobni položaj. U tu svrhu, mašine alatke se opremaju različitim pomoćnim priborom za njihovo pozicioniranje. Ovaj pribor treba da obezbedi stabilan položaj obratka tokom dejstva sile rezanja kako bi se postigla zahtevana tačnost obrade i osigurala bezbednost radnika koji upravlja mašinom. Konstrukcija steznih uređaja obratka i reznog alata prevashodno zavisi od oblika obratka, njegovih dimenzija i tipa reznog alata. Uobičajeno je da se pozicioniranje obratka i reznog alata vrši u standardnim uređajima koji su sastavni deo mašine ili se nabavljaju kao dodatna oprema. Međutim, u slučaju potrebe pozicioniranja obratka složenog oblika ili u slučajevima kada se određene operacije ponavljaju na većem broju predmeta-obradaka, primenjuju se specijalni sklopovi specifični za pojedine mašine. Rotacioni predmeti koji se najčešće obrađuju na strugovima pozicioniraju se pomoću steznih glava, šiljaka, elastičnih čaura i sl.

Za pozicioniranje obratka na strug, upotrebljavaju se stezne glave (sl. 3.37) sa dve, tri, četiri ili šest steznih kandži (šapa). Šape se mogu pomerati pojedinačno ili istovremeno. Istovremeno pomerljive stezne šape koriste se za pozicioniranje simetričnih obradaka, dok se kod asimetričnih primenjuju pojedinačno pomerljive šape. Pomeranje šapa kod istovremeno pomerljivih, može biti ručno (pomoću odgovarajućeg alata) ili mehanizovano (pneumatski, hidraulički, elektromehanički).



Sl. 3.37. Stezna glava za pozicioniranje obratka na strugu sa dve, tri, četiri i šest steznih šape

Na slici 3.38 prikazan je presek stezne glave sa 3 stezne šape koje se mehanički pomeraju istovremeno. Pomoću ključa se, ručno okreće konični zupčanik (poz. 1), koji pogoni tanjurasti zupčanik (poz. 2). Sa druge strane tanjurastog zupčanika nalazi se spiralni žleb (oblika Arhimedove spirale, poz. 3). Unutar spiralnog žleba vode se stezne šape (poz. 4).



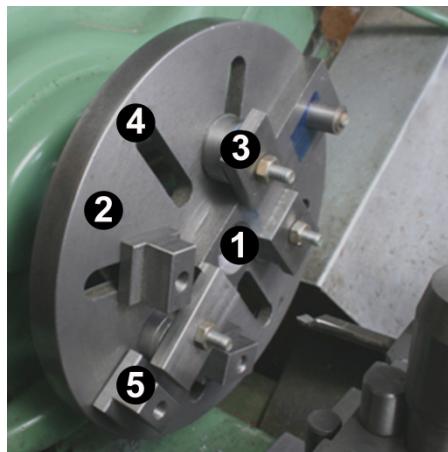
Sl. 3.38. Presek stezne glave sa 3 stezne šape

1-konični zupčanik, 2-tanjirasti zupčanik, 3-Arhimedova spirala, 4-stezna šapa

Arhimedova spirala omogućava istovremeno pomeranje sve tri šape čime je osigurano centrično stezanje obratka.

Predmeti koji se zbog svoje složene geometrije ne mogu stezati u šape, učvršćuju se na obrtnu steznu ploču stegama i vijcima. Na slici 3.39 prikazan je način pozicioniranja obratka (nerotacionog oblika) na obrtnu steznu ploču. Obradak (poz. 1) pričvršćen je za obrtnu steznu ploču (poz. 2) pomoću vijaka i različitih steznih pločica

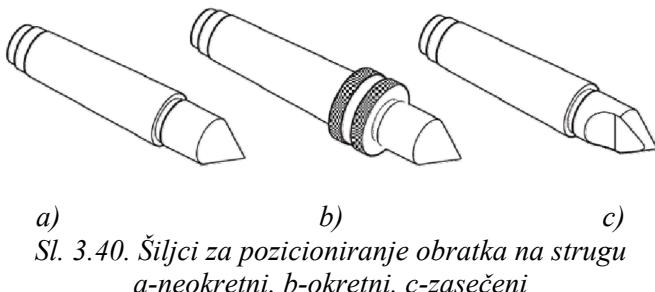
(poz. 3). Veza vijaka sa obrtnom steznom pločom ostvarena je kroz izrađene šlicovane proreze (poz. 4), a uravnoteženje mase se vrši primenom kontrategova (poz. 5).



Sl. 3.39. Pozicioniranje nerotacionog obratka na obrtnu steznu ploču

1-obradak, 2-obrtna stezna ploča, 3-stezači, 4-šlicovani prorezi, 5-kontra teg

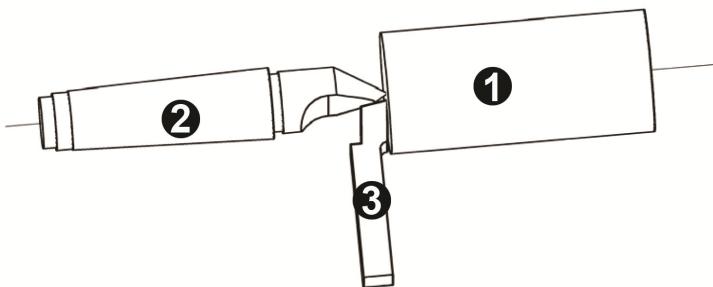
Da bi se sprečila deformacija prilikom rezanja obradaka čiji je odnos dužine i prečnika veći od četiri, neophodno je obradak podupreti sa suprotne strane (suprotno od stezne glave). Podupiranje obratka vrši se pomoću šiljka postavljenog u nosač šiljka (konjić). Prilikom podupiranja, šiljak se postavlja u tzv. gnezdo za šiljak³⁰. U zavisnosti od režima i postupka obrade koriste se različita rešenja šiljaka (sl. 3.40). Šiljci za pozicioniranje obratka mogu biti: neokretni (sl. 3.40a) ili okretni (sl. 3.40b), kao i puni (sl. 3.40a,b) ili zasečeni (sl. 3.40c).



Sl. 3.40. Šiljci za pozicioniranje obratka na strugu
a-neokretni, b-okretni, c-zasečeni

³⁰ Gnezdo za šiljak predstavlja tehničku rupu izrađenu tačno u osi obratka primenom odgovarajućeg alata za zabušivanje. Ove rupe koriste se i u drugim tehnološkim operacijama obrade kao bazna mesta za centriranje obratka. Tokom ugradnje delova, eksploatacije i održavanja mašine neophodno je sprečiti oštećenje rupa.

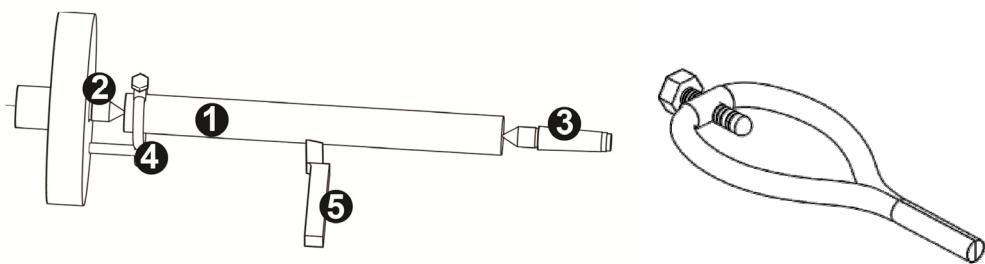
Okretni šiljci (obrću se oko svoje uzdužne ose) primenjuju se za veće brzine i dubine rezanja. Zasečeni šiljci koriste se pri poprečnom struganju (sl. 3.41).



Sl. 3.41. Primena zasečenog šiljka pri poprečnom struganju
1-obradak, 2-zasečeni šiljak, 3-rezni alat (strugarski nož)

Obrotno kretanje obratka pozicioniranog između šiljaka, obezbeđuje se primenom obrtača (strugarsko srce).

Tokom završne obrade (fino struganje), za najtačnije pozicioniranje obratka ili u slučajevima kada se želi sprečiti oštećenje obrađenih površina primenom stezne glave, obradak se pozicionira sa obe strane između šiljaka (sl. 3.42a). U tom slučaju, prinudno obrotno kretanje obratka ostvaruje se primenom okretača (strugarskog srca) (sl. 3.42b).



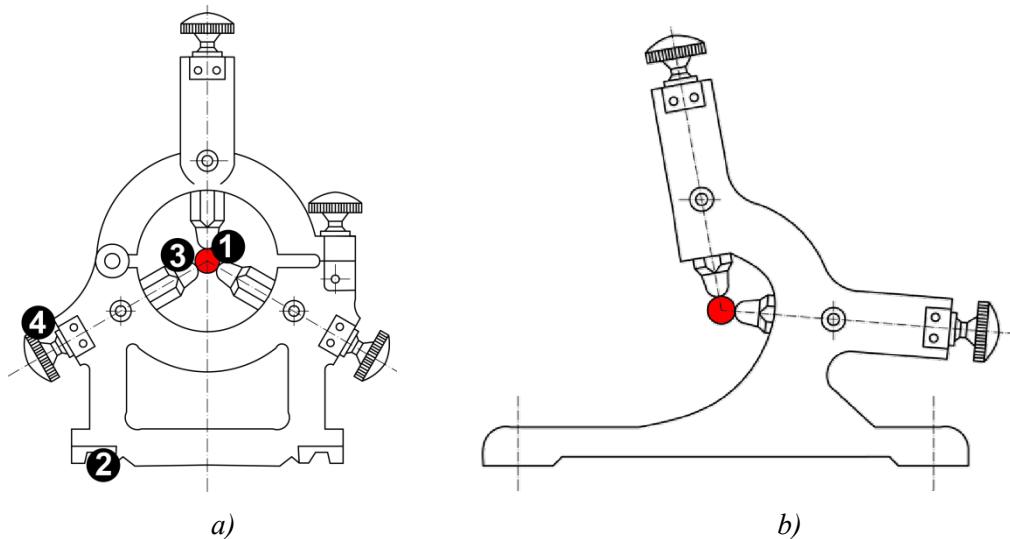
Sl. 3.42. Elementi za pozicioniranje obratka na strugu
a-pozicioniranje obratka između šiljaka (1-obradak, 2-šiljak na strani stezne glave, 3-šiljak pozicioniran u nosač šiljka, 4-okretač, 5-rezni alat), b- okretač (strugarsko srce)

Pored navedenih elemenata, za pozicioniranje obradaka u obliku čaura, prstena, čaša i sl., koriste se elastične čaure. Primena elastičnih čaura omogućava tačno pozicioniranje obradaka relativno malih dimenzija. Na slici 3.43 prikazane su faze pozicioniranja obratka u elastičnoj čauri.



Sl. 3.43. Faze pozicioniranja obratka u elastičnoj čauri na strugu
1-otvorena čaura, 2-obradak pozicioniran u elastičnoj čauri

Kako bi se izbegao nastanak deformacija tokom obrade predmeta čiji je odnos dužine i prečnika veći od deset, neophodno je njegovo dodatno podupiranje. Podupiranje obradaka veće dužine vrši se primenom nepokretne i/ili pokretne linete. Nepokretna lineta (sl. 3.44a) postavlja se na kliznu stazu struga (poz. 2) koja tokom obrade ostaje u mestu. Podupiranje obratka (poz. 1) vrši se u tri tačke, primenom tri upornika (poz. 3), čiji se položaj podešava pomoću navojnih vretena (poz. 4). Tokom najfinije (završne) obrade i obrade predmeta vrlo sklonih deformacijama (usled dejstva sile rezanja), za podupiranje se koristi pokretna lineta (sl. 3.44b). Pokretna lineta postavlja se na nosač alata, podupire predmet neposredno u zoni rezanja i sadrži dve uporne tačke, dok treću tačku čini strugarski nož.

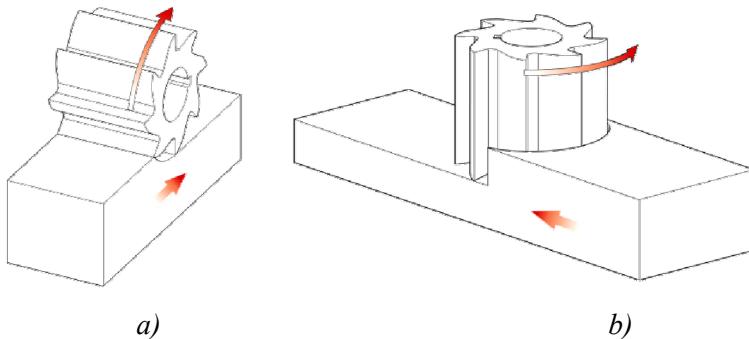


Sl. 3.44. Linete
a-nepokretna, b-pokretna
1-obrada, 2-vezu linete sa kliznom stazom struga, 3-upornik, 4-regulaciono navojno vreteno

3.4. OBRADA GLODANJEM

3.4.1. Osnove obrade na glodalici

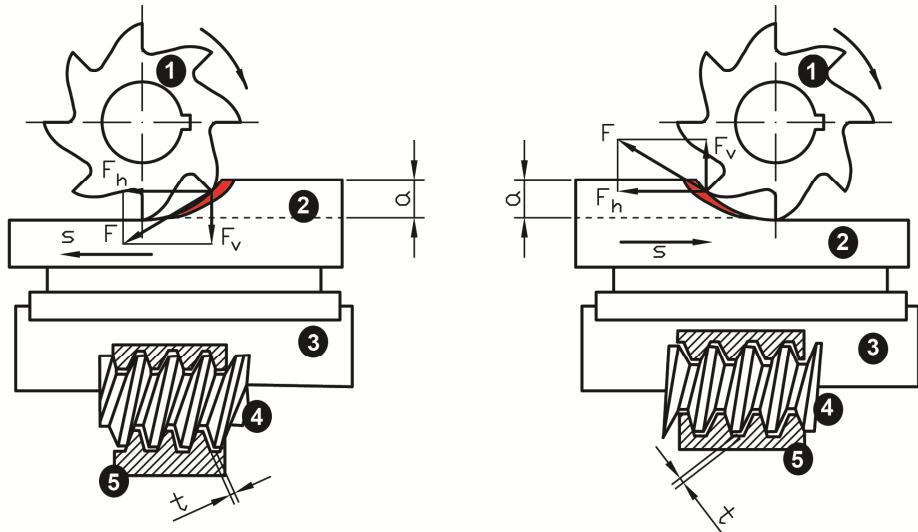
Obrada glodanjem je posle struganja najrasprostranjenija tehnološka operacija u obradi metala rezanjem. Glavno kretanje pri obradi glodanjem je obrtno kretanje alata, a pomoćno pravolinjsko kretanje obratka. Prema kvalitetu obrađene površine obrada na glodalici se deli na: grubo, prethodno, fino i najfinije. Grubom obradom na glodalici postiže se kvalitet obrađene površine N10 do N12, prethodnom N8 do N9, finom N7 a najfinijom N5 do N6. Prema vrsti obrade razlikuje se obimno i čeono glodanje (sl. 3.45), kao i istosmerno, suprotnosmerno i kombinovano glodanje. Kod obimnog glodanja osa obrtanja glodala je horizontalna. Pravac pomoćnog kretanja je takođe horizontalan i upravan na pravac ose obrtanja glodala. Obimno glodanje može biti istosmerno i suprotnosmerno. Ovakvo glodanje primenjuje se najčešće kod horizontalnih glodalica. Kod čeonog glodanja, pravac ose obrtanja glodala upravan je na pravac kretanja obratka. Ovo glodanje može biti istosmerno, suprotnosmerno i kombinovano. Čeono glodanje se najčešće primenjuje kod vertikalnih glodalica.



Sl. 3.45. Kinematika glodanja

a) obimno, b) čeono

Na slici 3.46 prikazana je šema obimnog istosmernog i suprotnosmernog glodanja. Kod istosmernog glodanja smer obimne brzine glodala (poz. 1) i smer kretanja obratka (poz. 2) se poklapaju (sl. 3.46a). Pri istosmernom glodanju presek strugotine se menja od maksimalnog na početku, do minimalnog na kraju rezanja jednog zuba. Tokom rezanja sila prodiranja se smanjuje tako da pri izlasku zuba iz materijala sila postaje jednak nuli, pri čemu se ovom metodom glodanja postiže viši kvalitet obrađene površine u odnosu na suprotnosmerno. Istosmerno glodanje se po pravilu može izvoditi samo na naročitim glodalicama namenjenim isključivo za istosmerno glodanje.



Sl. 3.46. Obimno glodanje
a-istosmerno, b-suprotnosmerno

1-glodalo, 2-obradak, 3-radni sto glodalice, 4-navojno vreteno, 5-vodeća navrtka radnog stola

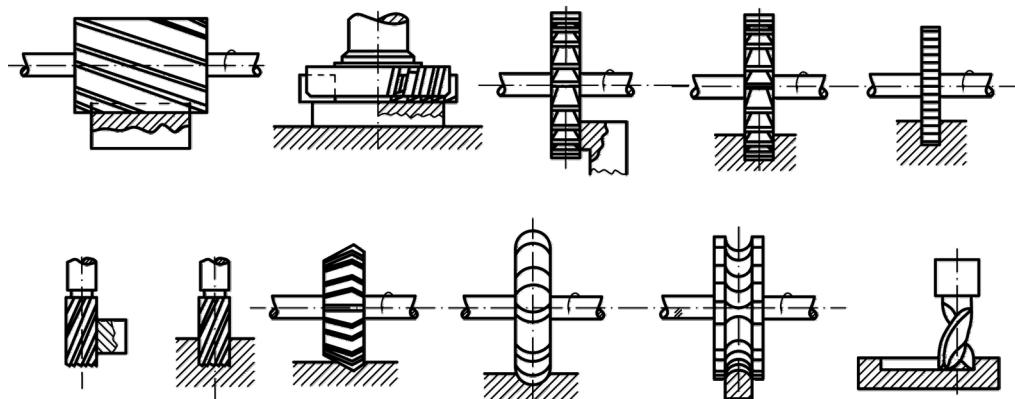
Ukoliko se istosmerno glodanje obavlja na običnim glodalicama, tada se, usled prisutnih zazora (t) između navojnog vretena (poz. 4) i vodeće navrtke (poz. 5) radnog stola (poz. 3), radni sto podvlači ispod glodala. Usled ovoga, debljina strugotine i otpori rezanja dobijaju vrednosti koje izazivaju povećano habanje reznog alata kao i pogoršanje kvaliteta obrađene površine. Glodalice za istosmerno glodanje imaju dva navojna vretena za uzdužno pomeranje stola (navojno vreteno je sa desnom i drugo sa levom zavojnicom). Tokom obrade, oba vretena obrću se istovremeno, čime se postiže da jedno vreteno naleže na leve, a drugo na desne bokove navoja svojih vodećih navrtki. Na ovaj način poništavaju se pomenuti zazori. Istosmerno glodanje može se izvoditi i na običnim glodalicama, ukoliko se obrada obavlja pri malim dubinama rezanja.

Kod suprotnosmernog glodanja (sl. 3.46b), smer obimne brzine glodala (poz. 1) i pomoćnog kretanja alata (poz. 2) su suprotni. Na početku rezanja glodalo najpre klizi po površini materijala, a zatim postepeno odvaja strugotinu, pri čemu se njena debljina povećava i najveća je u momentu kada zub (rezni klin) izlazi iz zone rezanja. Usled klizanja zuba po površini materijala rezne ivice zuba se brže habaju. Sila prodiranja zuba u materijal ima takav smer da teži da odigne obradak sa radnog stola (poz. 3), dok ga glodalo pritiska o radni sto usled čega nastaju vibracije (na obrađenoj površini ostaju tragovi obrade u vidu brazdi).

Kombinovano glodanje javlja se pri obradi čeonim glodalima, jer jedna strana glodala obavlja istosmerno a druga suprotnosmerno glodanje.

Obradom na glodalici realizuje se veliki broj operacija (sl. 3.47):

- obrada ravnih horizontalnih, vertikalnih i nagnutih površina,
- izrada kanala i žlebova na ravnim i cilindričnim površinama,
- usecanje,
- odsecanje,
- obrada stepenastih površina,
- obrada profilisanih površina (ispupčenja, udubljenja, zaobljenje, zavojnih žlebova, složenih kontura i sl.),
- obrada površina složenog oblika (izrada zupčanika, navoja, ožljebljenih vratila, gravura alata za kovanje, livenje u kokilama, presovanje i sl.)...



Sl. 3.47. Primeri zahvata na glodalici

3.4.2. Karakteristike reznog alata

Obrada glodanjem obavlja se primenom glodala. Glodalo je alat cilindričnog oblika sa reznim elementima raspoređenim po obimu i/ili čeonoj površini. U zavisnosti od oblika površine koju treba obraditi i vrste mašine, koriste se različita glodala. Prema načinu izrade, glodala mogu biti sa: glodanim, leđno - struganim i umetnutim zubima. Prema konstrukciji, glodala se dele na:

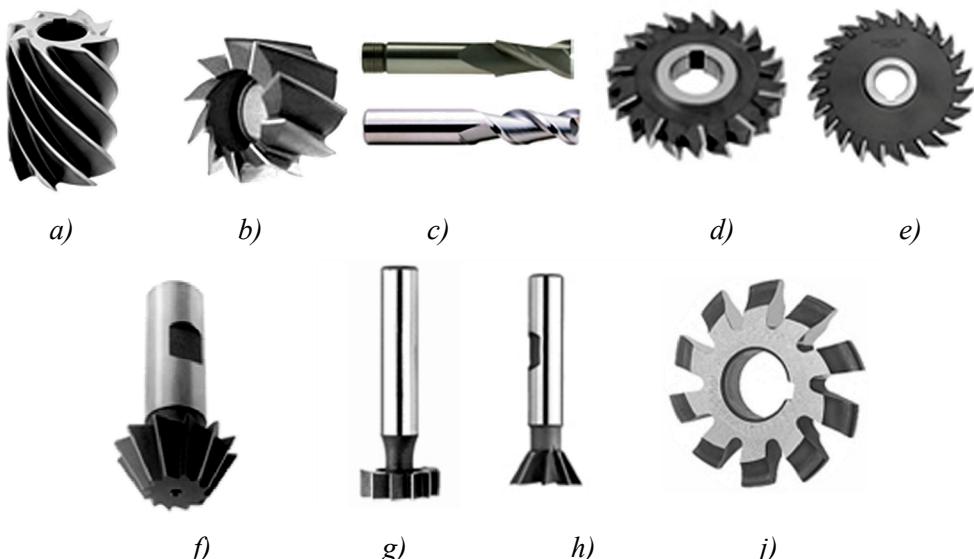
- jednodelna (integralna) glodala - glodala od punog materijala,
- višedelna glodala, izrađena na različite načine:
 - sa umetnutim zubima,

- sa lemljenim pločicama od tvrdog metala i
- sa mehanički pričvršćenim pločicama alatnih materijala.

Prema načinu postavljanja na mašinu glodala se dele na:

- glodala sa koničnom ili cilindričnom drškom – usadna glodala i
- glodala sa otvorom - nasadna glodala,

Prema vrsti i obliku glodala mogu biti (sl. 3.48): valjkasta, čeona, vretenasta, testerasta, profilna, vretenasta za T - žlebove, konična i sl. Prema smeru rezanja glodala mogu biti „desnerezna“ i „levorezna“. Posmatrajući iz pravca pogona, u pravcu ose glodala, „desnerezna“ glodala se obrću u smeru, a „levorezna“ suprotnom od smera kazaljke na satu.



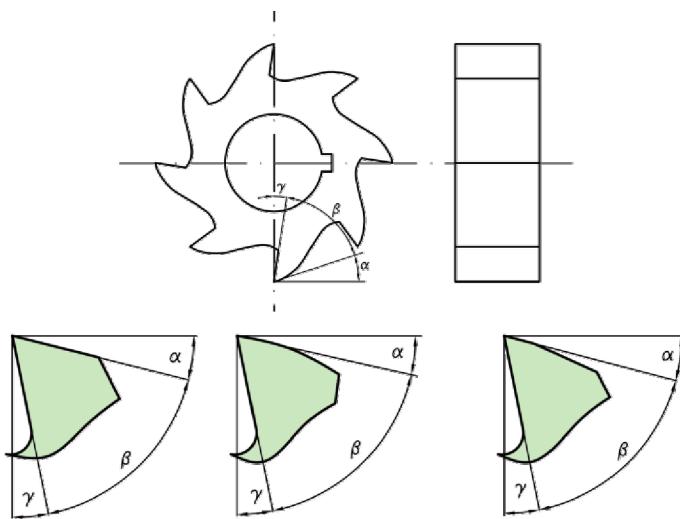
Sl. 3.48. Različiti tipovi glodala

a-valjkasto, b-valjkasto čeono, c-vretenasto, d-koturasto, e-testerasto, f-konično, g-glodalo za T žlebove, h-glodalo za žlebove tipa "lastin rep", j-profilno glodalo

Prema obliku zuba glodala se dele na glodala sa pravim, kosim, zavojnim i ukrštenim zubima³¹.

³¹ Nedostatak glodala sa pravim zubima je naglo povećanje otpora rezanja usled toga što zub istovremeno, celom širinom započinje rezanje pri čemu nastaju potresi. S druge strane, kod

Glodalo je višesečni alat i čine ga zubi i telo. Veći broj sečiva (reznih klinova) daju mu prednost u odnosu na jednosečne alate (strugarski nož, nož za rendisanje) jer se sečiva manje zagrevaju i habaju. Jedno sečivo u toku jednog obrtaja vrši rezanje vrlo kratko vreme, a tokom preostalog vremena je izloženo hlađenju. Izuzetak ovome su čeona glodala, kod kojih sečiva čeone strane pri aksijalnom pomaku izvode rezanje bez prekida. Na zubu se razlikuje grudna površina (po kojoj klizi strugotina) i leđna površina (u procesu zahvata zuba okrenuta je naspram obrađene površine obratka). Geometriju glodala čine: osnovne dimenzije (prečnik i širina glodala i prečnik otvora ili drške), broj zuba glodala i geometrija reznog klina. U preseku grudne i leđne površine je glavno sečivo. Uglovi zuba kod glodala su grudni ugao (γ), leđni ugao (α) i ugao klina (β), čiji je zbir 90° . Na slici 3.49. data je geometrija reznog klina sa karakterističnim uglovima i različitim oblicima leđne površine zuba (ravnom, u obliku parabole i izlomljena).



Sl. 3.49. Geometrija reznog klina

3.4.3. Režim obrade na glodalici

Brzina rezanja kod glodanja jednak je obimnoj brzini glodala. Kako je ranije navedeno, brzina rezanja ne sme da pređe određenu granicu kako ne bi nastupilo

glodala sa kosim, zavojnim i ukrštenim zubima, zub postepeno ulazi u zonu rezanja, čime se povećava opterećenje (postiže se mirniji rad i viši kvalitet obrađene površine). Međutim, troškovi izrade i oštternja glodala sa pravim zubima su znatno niži u odnosu na ostala glodala (posebno u odnosu na glodala sa zavojnim zubima).

prevremeno zatupljenje glodala. Naime, postojanost glodala brže opada u odnosu na porast brzine rezanja. Brzina rezanja usvaja se iz odgovarajućih tabela u zavisnosti od vrste materijala koji se obrađuje, tipa glodala i dubine obrade³².

Brzina pomoćnog kretanja je ograničena čvrstoćom obratka. Iz tog razloga tanji obradci se moraju obrađivati skidanjem tanjih strugotina (što znači da brzina pomoćnog kretanja treba da je manja). Pri obradi na glodalici, brzina pomoćnog kretanja može se izraziti na tri načina:

- Korak po zubu (s_z - veličina pomeranja obratka za vreme dok se glodalo okreće za jedan zub - izražava se jedinicom mm/zub),
- Korak po obrtaju (s_o - veličina pomeranja obratka za vreme dok se glodalo okreće za jedan obrt - izražava se jedinicom mm/o) i
- Minutni korak (s_m - veličina pomeranja obratka za vreme jedne minute - izražava se jedinicom mm/min).

Minutni korak se izračunava prema jednačini:

$$s_m = \frac{1000 \cdot M}{a \cdot B} \text{ (mm/min)}$$

gde je:

M – Količina strugotine (cm³/min),

a – Dubina rezanja (mm),

B – Širina glodanja (mm).

Veza između minutnog koraka, koraka po zubu i koraka po obrtaju data je relacijom:

$$s_m = n \cdot z \cdot s_z = n \cdot s_o$$

gde je:

n – broj obrtaja glodala (o/min),

z – broj zuba glodala.

Pri gruboj obradi obradaka većih gabaritnih dimenzija, obrada se najčešće vrši sa velikom brzinom pomoćnog kretanja (100-500 mm/min) i malom brzinom glavnog kretanja. Pri finoj (završnoj) obradi, obrada se vrši malom brzinom pomoćnog kretanja (10-120 mm/min), dok se glodalo obrće velikom brzinom (velika brzina rezanja) pri čemu se postiže viši kvalitet obrađene površine.

U zavisnosti od vrste glodanja (grubo ili fino), dubina rezanja se kreće u

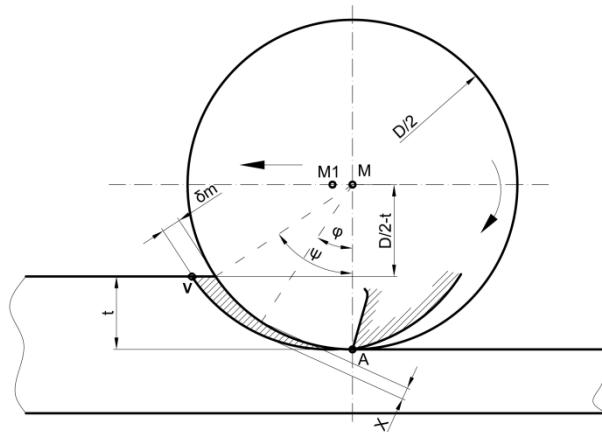
³² U zavisnosti od pomenutih parametara, brzina rezanja se kreće u širokim granicama, od 12 do 500 m/min.

granicama od 0,5 do 10 mm.

3.4.4. Otpor rezanja pri obradi na glodalici

Zbog neravnomjerne debljine strugotine i istovremenog dejstva većeg broja zuba tokom obrade, otpor rezanja kod glodanja se teže određuje u odnosu na otpor rezanja pri struganju (poglavlje 3.2.2).

Tokom analize veličine otpora rezanja pri glodanju polazi se od pretpostavke da samo jedan zub vrši rezanje. Vrh zuba opisuje luk oko središta M i dolazi iz tačke A u tačku V (sl. 3.50). Istovremeno, središte glodala se pomera iz tačke M u tačku M₁. Kriva koju opisuje vrh noža tokom kretanja iz tačke A u tačku V, može se sa dovoljno tačnosti smatrati kružnim lukom poluprečnika D/2. Tokom rezanja debljina strugotine se povećava od 0 do svoje maksimalne vrednosti δ_m (na izlazu iz zone rezanja).



Sl. 3.50. Rezanje glodača

Za proizvoljni ugao φ debljina strugotine je:

$$X = MM_1 \cdot \sin \varphi$$

S obzirom na to, da je za jedan radni zahvat zuba glodala, pomeraj središta glodala MM_1 :

$$MM_1 = \frac{S}{n \cdot z}$$

a debljina strugotine u proizvoljnem uglu φ :

$$X = \frac{S}{n \cdot z} \cdot \sin \varphi$$

gde je:

S - brzina pomoćnog kretanja (m/sec)

z - broj zuba

n - broj obrtaja glodala (o/sec)

Iz prethodne formule proizilazi da je maksimalna debljina strugotine:

$$\delta_m = \frac{S}{n \cdot z} \sin \psi$$

S obzirom da je:

$$\sin \psi = 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D} - \left(\frac{t}{D}\right)^2}$$

a

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D}$$

gde je:

t – dubina rezanja (m),

v - brzina rezanja (m/sec),

proizilazi da je maksimalna debljina strugotine:

$$\delta_m = 2 \cdot \pi \cdot \frac{S \cdot D}{v \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{t}{D} - \left(\frac{t}{D}\right)^2}$$

Pod pretpostavkom da samo jedan Zub vrši rezanje, najveći otpor rezanja će biti pri najvećoj debljini strugotine i iznosiće:

$$F_v = \delta_m \cdot b \cdot k = \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{S \cdot D}{v \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{t}{D} - \left(\frac{t}{D}\right)^2}\right) \cdot b \cdot k$$

gde je:

b - širina glodala (m),

k - specifični otpor rezanja³³ (N/m^2).

Ako se pretpostavi da je otpor prodiranja jednak otporu rezanja rezultujući otpor imati vrednost:

$$F_R = \sqrt{F_v^2 + F_p^2} = \sqrt{2} \cdot F_v \approx 8,9 \cdot \frac{S \cdot D}{v \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{t}{D} - \left(\frac{t}{D}\right)^2} \cdot b \cdot k$$

3.4.5. Mašine za obradu glodanjem

Glodalice se mogu podeliti na više načina. Najčešće primenjivana podela je na:

- Horizontalne (obične i univerzalne),
- Vertikalne (obične i univerzalne),
- Portalne,
- Alatne,
- Kopirne i
- Specijalne glodalice.

Pored navedene podele, glodalice se dele, u zavisnosti od sistema upravljanja na konvencionalne i programske glodalice, a prema broju glavnih vretena na jednovretene i viševretene. Takođe, prema konstruktivnom rešenju, glodalice se mogu podeliti na konzolne³⁴, bezkonzolne³⁵ i glodalice specijalne namene³⁶.

³³ Specifičan otpor rezanja se menja sa promenom površine poprečnog preseka strugotine. Naime, ispitivanja rezanja strugarskim noževima i glodalima pokazala su, da je specifični otpor rezanja kod strugotina velikih debljina znatno manji nego kod malih. Ovo znači da se specifični otpor kod glodanja menja za sve vreme formiranja jedne strugotine. Tokom kalkulacija otpora rezanja može se usvojiti srednja vrednost specifičnog otpora rezanja na početku i kraju formiranja strugotine. Prema tome, vrednost specifičnog otpora na približno polovini luka strugotine predstavlja vrednost specifičnog otpora za celu strugotinu.

³⁴ Kod konzolnih glodalica kretanja u uzdužnom, poprečnom i vertikalnom pravcu izvodi radni sto, tako da je krutost i stabilnost radnog stola predmeta obrade relativno niska. U ovu grupu glodalica spadaju horizontalne, vertikalne i univerzalne.

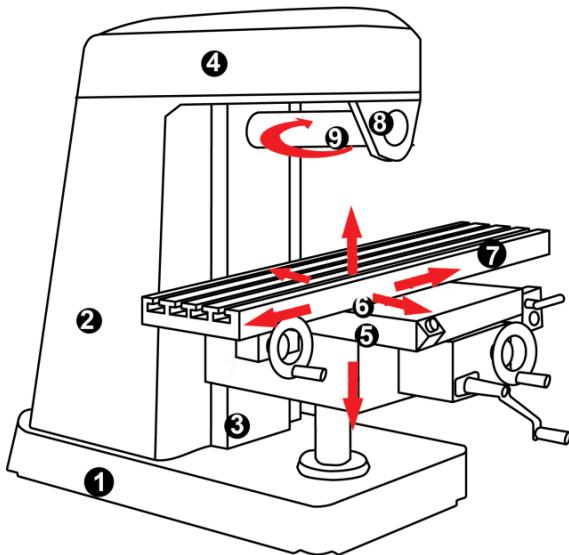
³⁵ Bezkonzolne (posteljne) glodalice obezbeđuju visoku krutost i stabilnost radnog stola jer isti izvodi dva kretanja (u uzdužnom i poprečnom ili vertikalnom pravcu), dok nosač alata izvodi jedno kretanje u vertikalnom ili poprečnom pravcu.

³⁶ U ovu grupu glodalica spadaju: alatne, kopirne, agregatne, programske, odvalne, glodalice za navoj i sl.

Horizontalne glodalice

Horizontalne glodalice, tj. glodalice sa horizontalnim glavnim vretenom, predviđene su za obradu ravnih površina valjkastim glodalom, za izradu žljebova, odsecanje ili usecanje obratka testerastim glodalom kao i za izradu zupčanika pojedinačnim rezanjem uz pomoć podeonog aparata. Razlikuju se obične i univerzalne horizontalne glodalice. Kod obične horizontalne glodalice uzdužni klizač omogućava pomeranje radnog stola samo u pravcu upravnog na osu glavnog radnog vretena. Kod univerzalnih horizontalnih glodalica postoji mogućnost zakretanja uzdužnog klizača u horizontalnoj ravni čime je omogućeno pomeranje radnog stola pod ugлом $\pm 45^\circ$ u odnosu na glavno radno vreteno.

Na slici 3.51. data je skica horizontalne glodalice. Na postolju (poz. 1) smešten je vertikalni stub (poz. 2) unutar koga se nalazi prenosnik glavnog i pomoćnog kretanja. Na prednjoj strani stuba smeštene su vertikalne vodice (poz. 3) koje omogućavaju vertikalno pomeranje nosača radnog stola (poz. 7). Poprečni klizač (poz. 5) na nosaču radnog stola omogućava poprečno kretanje, a uzdužni klizač (poz. 6) uzdužno kretanje radnog stola (poz. 7)³⁷. Na vrhu vertikalnog stuba nalazi se knzola (poz. 4). Na prednjoj strani konzole nalaz se pomoćni oslonac (poz. 8) glavnog radnog vretena (poz. 9). Oslonac (poz. 8) omogućava dodatno ukrućenje glavnog radnog vretena.

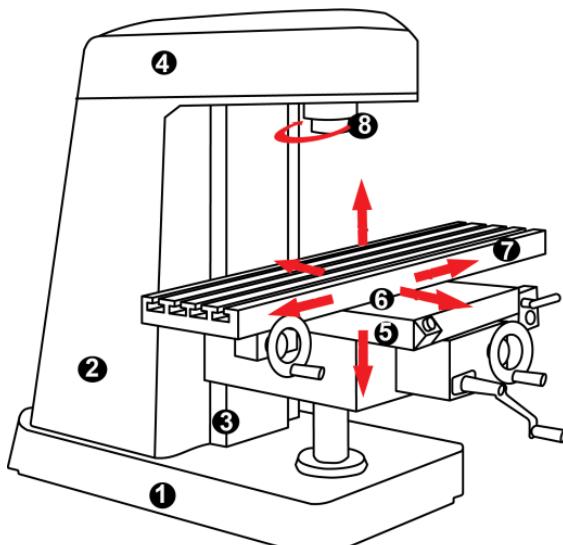


Sl. 3.51. Horizontalna glodalica
1-postolje, 2-vertikalni stub, 3-vodice (vertikalne), 4-konzola (nosač oslonca), 5-poprečni klizač, 6-uzdužni klizač, 7-radni sto, 8-oslonac, 9-glavno radno vreteno

³⁷ Kod univerzalnih glodalica je moguće radni sto zakrenuti za ugao $\pm 45^\circ$.

Vertikalne glodalice

Kod vertikalnih glodalica položaj glavnog radnog vretena je pretežno vertikalnan, iako kod ovih mašina često postoji mogućnost naginjanja glavnog vretena (sl. 3.52). Mogućnost naginjanja glavnog vretena znatno proširuje univerzalnost takvih mašina, te se nazivaju univerzalne vertikalne glodalice. Na vertikalnim glodalicama moguće je obavljati veći broj različitih operacija. Između ostalog, moguće je obrađivati vertikalne rupe i otvore, ravne površine, zavoje žlebove, površine složenog oblika i sl. Izuzev položaja glavnog radnog vretena (poz. 8), konstruktivni izgled univerzalnih glodalica je gotovo identičan vertikalnim glodalicama.



Sl. 3.52. Vertikalna glodalica
1-postolje, 2-vertikalni stub, 3-vodice (vertikalne), 4-konzola (nosač oslonca), 5-poprečni klizač, 6-uzdužni klizač, 7-radni sto, 8-glavno radno vreteno

Primer univerzalne glodalice KNUTH UFM 3 PLUS

Na slici 3.53 prikazana je univerzalna glodalica Knuth UFM 3 PLUS. Ova glodalica ima mogućnost da radi kao univerzalna horizontalna i univerzalna vertikalna glodalica. Osnovne tehničke karakteristike glodalice su: uzdužni hod stola 780 mm, poprečni hod stola 235 mm, hod stola u pravcu Z ose 400 (470) mm, dimenzije radnog stola 1500 x 300 mm, max. opterećenje stola 250 kg, max. zakretanje stola, $\pm 45^\circ$, gabaritne dimenzije 1695 x 1535 x 1728 mm i masa 2850 kg.

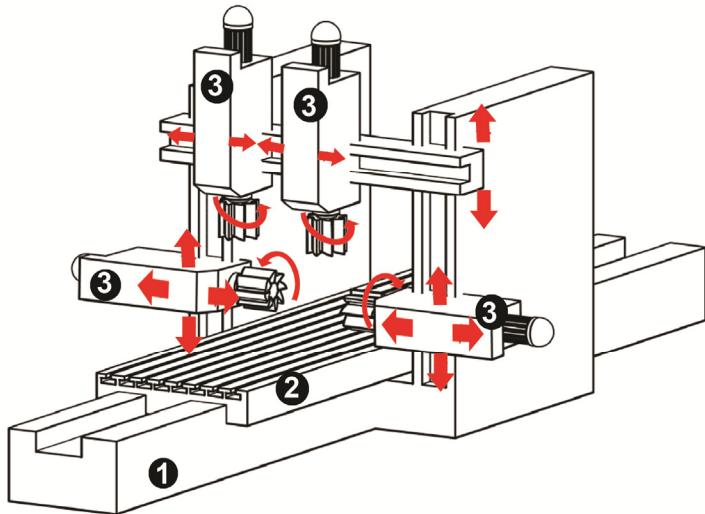


Sl. 3.53. Univerzalna glodalica Knuth UFM 3 PLUS

Portalne glodalice

Prethodno prikazane glodalice imale su samo jedno radno vreteno (horizontalno ili vertikalno), namenjeno obradi samo jedne površine. U serijskoj proizvodnji javlja se potreba povećanja produktivnosti alatnih mašina. U tom smislu koriste se portalne glodalice, koje su opremljene većim brojem radnih vretena (sl. 3.54). Ove glodalice omogućavaju obradu većeg broja površina istovremeno. Portalne glodalice namenjene su obradi predmeta većih dimenzija (stubovi, postolja mašina, kućišta prenosnika i sl.), obično primenom čeonih i vretenastih glodala. Pojedinačna radna vretena (poz. 3) mogu biti u vertikalnom, horizontalnom ili kosom položaju. Svako vreteno je opremljeno prenosnikom glavnog i pomoćnog kretanja i nezavisno je pogonjeno.

Radni sto (poz. 2) na kome je pozicioniran obradak, najčešće ima samo jedno kretanje duž vodiča postolja (poz. 1). Ostala pomoćna kretanja, kao i glavno rotaciono, izvodi rezni alat (glodalo).



Sl. 3.54. Portalna glodalica

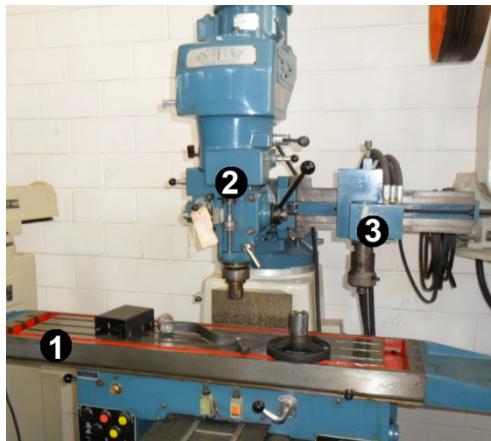
1-masivno postolje, 2-radni sto, 3-radna vretena sa prenosnikom glavnog i pomoćnog kretanja

Alatne glodalice

Alatne glodalice predstavljaju najčešće glodalice manjih dimenzija sa vertikalnim položajem glavnog radnog vretena. Ove glodalice su posebno pogodne za izradu alata za kovanje, prosecanje, izvlačenje i sl. Radni sto alatnih glodalica, pored aksijalnog pomeranja u vertikalnom, uzdužnom i poprečnom pravcu, može se zakretati u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Zakretanje u vertikalnoj ravni moguće je ostvariti oko jedne ili dve horizontalne ose. Univerzalnost ovih glodalica povećana je i zakretanjem glavnog radnog vretena oko, najčešće dve ose.

Kopirne glodalice

Kopirne glodalice namenjene su izradi krivolinijskih kontura i prostorno složenih površina. Obrada ovakvih površina ostvaruje se vrlo složenim kretanjem reznog alata i obratka. Složeno kretanje alata ostvaruje se kopiranjem modela zadatog oblika. Mašina ima dva vretena, od kojih je jedno glavno sa glodalom, a drugo služi za smeštaj kopirnog siljka.



Sl. 3.55. Kopirna glodalica Zema FFA 300

1-radni sto, 2-nosač glavnog radnog vretena sa prenosnikom glavnog kretanja, 3-kopirni uređaj

3.4.6. Pomoćni pribor

Pomoćni pribor koji se koristi pri obradi glodanjem može se podeliti u tri osnovne grupe:

- pribor za pozicioniranje obratka,
- pribor za pozicioniranje alata,
- specijalni pribor (podeoni aparat i sl.).

Radni predmet (obradak) pri glodanju mora biti čvrsto stegnut za radni sto jer od toga zavisi tačnost mera, kvalitet obrađene površine, postojanost alata i sigurnost izvršioca. Za pozicioniranje obratka na glodalici primenjuju se različiti univerzalni i specijalni pribori.

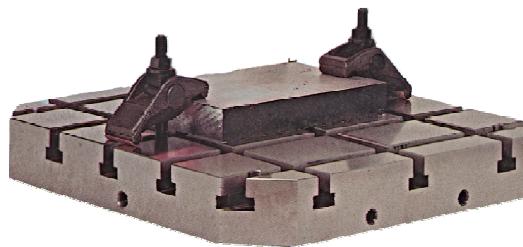
Za pozicioniranje, pre svega manjih obradaka na glodalici, primenjuje se univerzalna stega. Ukoliko se za pozicioniranje obratka koristi univerzalna stega, treba težiti da ona bude tako pozicionirana na radnom stolu, da sila rezanja bude usmerena u pravcu nepokretne čeljusti stege. Stega se za radni sto učvršćuje pomoću vijaka. Na slici 3.56a prikazana je stega okretna u ravni (postoji mogućnost zakretanja oko vertikalne ose – ose upravne na radni sto), a na slici 3.56b prostorno okretna stega³⁸ (ima mogućnost zakretanja oko horizontalne i vertikalne ose).

³⁸ Ova stega omogućava postavljanje obratka u bilo koji položaj u odnosu na glavno radno vreteno (rezni alat).



*Sl. 3.56. Mašinske stege
a) okretna u ravni, b) prostorno okretna*

Za direktno pozicioniranje obratka na sto glodalice koriste se stezni vijci i stezne šape, zatim ravni i stepenasti podmetači, ugaonici i sl. Na slici 3.57 prikazan je primer pozicioniranja obratka na radni sto. Veza vijaka sa radnim stolom ostvaruje se pomoću T-žlebova izrađenih na radnom stolu.



Sl. 3.57. Pozicioniranje obratka direktno na radni sto

Glodala se učvršćuju primenom specijalnih steznih pribora (sl. 3.58), kao što su: konusne čaure (a), elastične (stisljive) čaure (c) i trnovi za nasadna glodala sa prstenovima za stezanje (sl. 3.58b). Ovi stezni alati imaju standardne konuse, koji odgovaraju unutrašnjim konusima glavnog vretena glodalice. Čvrst spoj između steznog pribora i glavnog radnog vretena ostvaruje se preko vijaka za pritezanje. Trnovi se koriste za pozicioniranje nasadnih glodala, a čaure usadnih (glodala sa drškom). Aksijalni položaj glodala na trnu osigurava se pomoću odstojnih prstenova, a radijalni pomoću klinova bez nagiba.



*Sl. 3.58. Trnovi i čaure za pozicionirenje glodala
a-konusne čaure, b-trn, c-elastična (stisljiva) čaura*

Podeoni aparati

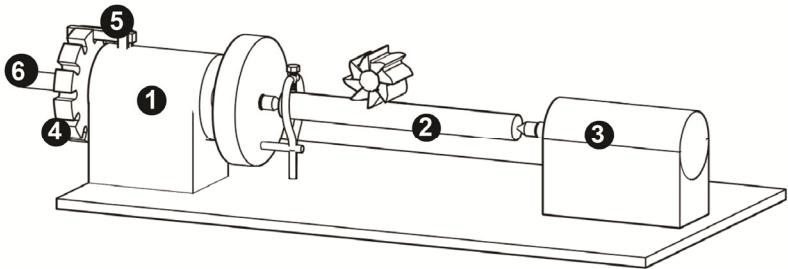
Pozicioniranje obratka kod kojih je glodanje potrebno obaviti na nekoj određenoj podeli po obimu (izrada zupčanika, kvadratnih i šestougaonih profila i sl.), vrši se pomoću podeonog aparata. Podeoni aparati omogućavaju pozicioniranje obratka na radnom stolu glodalice, periodičnim ili neprekidnim zakretanjem obratka oko sopstvene ose. Podeoni aparati se dele na:

- podeoni aparat sa direktnom podelom,
- podeoni aparat sa prostom podelom i
- univerzalni podeoni aparat.

Kod **podeonog aparata sa direktnom podelom** (sl. 3.59), obradak (poz. 2) se postavlja između šiljka (poz. 3) i stezne glave podeonog aparata (poz. 1)³⁹. Nakon svakog prolaza glodala obradak se ručicom (poz. 6) zakreće za određeni ugao. Naime, na kraju vratila podeonog aparata, nalazi se podeona ploča (poz. 4). Obimna površina podeone ploče podeljena je na određeni broj rupa (ili proreza). Položaj ploče se osigurava osiguračem (poz. 5). Menjanjem ploče sa različitim brojem rupa (proreza) mogu se ostvariti različite podele. Ovakvim načinom deljenja mogu se dobiti samo oni podeoni brojevi koji su jednaki broju rupa na ploči ili je broj rupa na ploči deljiv sa podeonim brojem bez ostatka⁴⁰. Iz tog razloga, podeoni aparati sa direktnom podelom se najčešće primenjuje u serijskoj proizvodnji.

³⁹ Na slici 3.59 obradak je pozicioniran između šiljaka, a prinudno okretanje obratka ostvareno je primenom okretača.

⁴⁰ Ukoliko je potrebno izraditi zupčanik sa 8 zuba, moguće je koristiti podeonu ploču sa 8, 16, 24, 32... proresa. Nakon izrade svakog zuba zupčanika, ručica podeonog aparata se zakreće za n rupa.



Sl. 3.59. Šema podeonog aparata sa direktnom podelom

1-podeoni aparat, 2-obradak, 3-nosač šiljka, 4-ozubljeni podeoni disk, 5-osigurač položaja, 6-ručica

Podeoni aparati sa prostom podelom (sl. 3.60) imaju pužni par koji čini jednohodni puž (poz. 1) i pužni točak sa k zuba (poz. 2). Da bi se vratilo podeonog aparata, na čijem se kraju nalazi nosač obratka (poz. 3), obrnuo za pun krug, ručica (poz. 5) mora da se okrene za k obrtaja⁴¹. Da bi se obradak podelio na z jednakih delova, ručicu podeonog aparata potrebno je okrenuti za:

$$n = \frac{k}{z}$$

gde je:

k – karakteristika podeonog aparata (broj zuba pužnog točka),

z – broj delava na koji se deli obradak

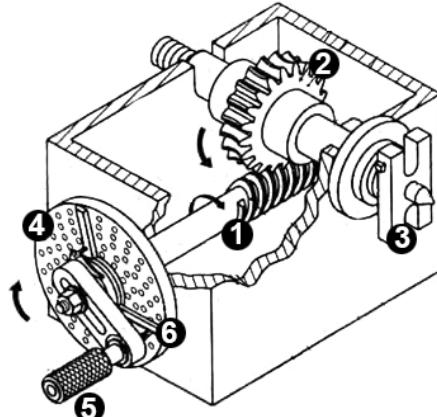
Podeoni aparati sa prostom podelom opremanju se podeonom pločom sa većim brojem koncentričnih krugova sa različitim brojem otvora, koji su raspoređeni na jednakom međusobnom rastojanju (poz. 4). Podeona ploča kod aparata sa prostom podelom je fiksna (nepokretna). Podeona ploča se koristi u slučajevima kada je ručicu podeonog aparata potrebno zakrenuti za deo kruga. (npr.: kada se obradak želi podeliti na 7 jednakih delova, na podeonom aparatu čija je karakteristika $k=40$, ručicu podeonog aparata je potrebno okrenuti za:

$$n = \frac{40}{7} = \frac{40}{7} = 5 + \frac{5}{7} = 5 + \frac{20}{28}$$

ručicu je potrebno okrenuti za pet punih krugova i deo kruga kome odgovara 20 otvora

⁴¹ Potreban broj obrtaja ručice podeonog aparata da bi se obradak okrenuo za pun krug naziva se karakteristika podeonog aparata. Karakteristika podeonog aparata je najčešće 40, ali može imati i neku drugu vrednost.

po krugu od 28 otvora. Naime, proširivanje razlomka je izvršeno na taj način da se traži koncentrični krug na podeonoj ploči čiji je broj otvora (u gornjem slučaju 28) deljiv sa imeniocem u razlomku bez ostatka. Radi lakšeg brojanja otvora (npr. 20 otvora na krugu od 28 otvora) podeoni aparati se opremaju sa obrtnim graničnim polugama (poz. 6)).



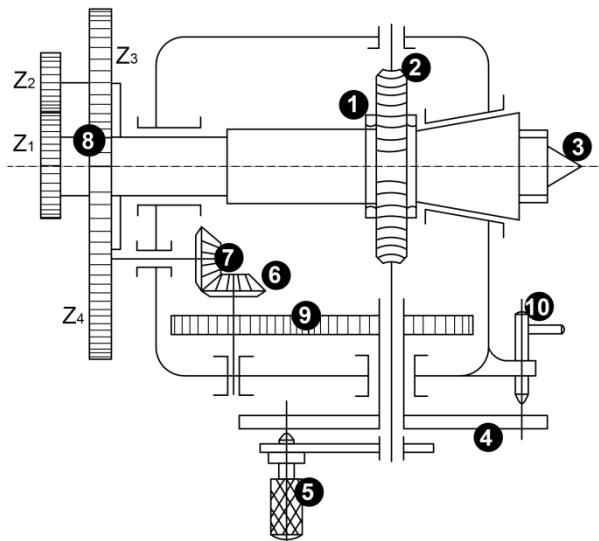
Sl. 3.60. Šema podeonog aparata sa prostom podelom

1-puž (jednohodni), 2-pužni točak (40 zuba), 3-šiljak za pozicioniranje obratka (umesto šiljka najčešće se koristi stezna glava), 4-podeona ploča, 5-ručica sa osiguračem položaja, 6-obrtnе granične poluge

Univerzalni podeoni aparat omogućava direktnu, prostu i diferencijalnu podelu obratka. **Diferencijalna podela** se koristi u slučajevima kada je potrebno izvršiti podelu obratka na broj delova koji se ne može ostvariti primenom aparata sa prostom podelom (najčešće kod prostih brojeva⁴²). Kinematska šema podeonog aparata sa diferencijalnom podelom data je na slici 3.61. Suštinska razlika podeonog aparata sa diferencijalnom podelom u odnosu na aparate sa prostom podelom je pokretna (zakretna) podeona ploča. Pored zakretne podeone ploče podeoni aparati imaju set od dva para zupčanika Z_1 , Z_2 , Z_3 i Z_4 (poz. 8). Naime kod aparata sa diferencijalnom podelom, podeona ploča (poz. 4) je preko para cilindričnih zupčanika (poz. 9) vezana za konični zupčanik (poz. 6). Da bi se izvršilo zakretanje obratka, ručica podeonog aparata (poz. 5) se okreće, a sa njom puž (poz. 1). Okretanjem puža pogoni se pužni točak (poz. 2). Pužni točak zakreće obradak (poz. 3) sa jedne i cilindrični zupčanik Z_1 sa druge strane vratila. Zakretanjem zupčanika Z_1 , sa njim se zakreću spregnuti cilindrični zupčanici Z_2 , Z_3 i Z_4 . Zupčanik Z_4 preko koničnog

⁴² Prost broj je prirodan broj veći od jedan, deljiv samo brojem jedan i samim sobom.

zupčanik (poz. 7) sa kojim je u čvrstoj vezi, pogoni konični zupčanik (poz. 6) i preko para cilindričnih zupčanika (poz. 9) podeonu ploču (poz. 4). Pri zakretanju obratka, zakreću se ručica i podeona ploča (podeona ploča može da se zakreće u smeru obrtanja ručice ili u kontra smeru).



Sl. 3.61. Kinematska šema podeonog aparata sa diferencijalnom podelom

1-puž, 2-pužni točak, 3-šiljak ili stezna glava, 4-podeona ploča, 5-ručica, 6,7-par koničnih zupčanika ($i=1$), 8-set zamenljivih cilindričnih zupčanika, 9-par koničnih zupčanika ($i=1$), 10-trn za fiksiranje podeone ploče

Primena podeonog aparata sa diferencijalnom podelom

Ukoliko je potrebno obradak podeliti na z jednakih delova, koji se ne može ostvariti prostom podelom, usvaja se proizvoljan (veći ili manji) broj podeoka z_o , koji je blizak potrebnom broju podeoka z . Ugao zakretanja ručice određuje se za podelu na z i z_o delova na isti način kao i kod proste podele.

$$n = \frac{k}{z} \quad , \quad n_1 = \frac{k}{z_o}$$

S obzirom na to da je usvajanjem broja z_o umesto z , napravljena greška, greška se mora korigovati dodatnim zakretanjem podeone ploče. Zakretanje podeone ploče određuje se jednačinom:

$$n_2 = \frac{i}{z} \quad i = i_1 \cdot i_2$$

gde je:

i_1 – prenosni odnos zupčanika Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4

$$i_1 = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4 – broj zuba zupčanika

i_2 – prenosni odnos ostalih zupčanika u podeonom aparatu

S obzirom na to da je i_2 najčešće jedan, sledi da je:

$$i = i_1 = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

Da bi se ostvarila željena podela, potreban ugao zakretanja ručice je:

$n = n_1 + n_2$ - za usvojen manji broj podele ili

$n = n_1 - n_2$ za usvojen veći broj podele.

Opšti oblik ovog obrasca je:

$$n = n_1 \pm n_2$$

Zamenom prethodnih izraza za n, n_1 i n_2 dobija se:

$$\frac{k}{z} = \frac{k}{z_o} \pm \frac{i}{z} \quad \Rightarrow \quad i = k \cdot \left(\frac{z_o - z}{z_o} \right) = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

Izborom zupčanika koji se isporučuju uz podeoni aparat neophodno je napraviti izračunati prenosni odnos i .

Kako je napred navedeno, podeoni aparat, osim za periodično, koristi se i za kontinualno zakretanje obratka tokom izrade zavojnih žlebova (zavojnica). Tokom izrade zavojnice neophodno je obezbediti sinhronizovano obrtanje obratka i aksijalno pomeranje radnog stola glodalice. Na slici 3.62 prikazana je šema podeonog aparata podešenog za izradu zavojnih žlebova. S obzirom na to da navojno vreteno radnog stola (poz. 1) mora da obezbedi aksijalno pomeranje obratka (poz. 2), a podeoni aparat njegovo zakretanje, veza između podeonog aparata i radnog stola (navojnog vretena) ostvaruje se preko seta zupčanika (Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4) i para koničnih i cilindričnih

zupčanika (poz. 3 i 4) unutar podeonog aparata. Tokom izrade zavojnice ručica podeonog aparata (poz. 5) mora biti postavljena unutar bilo kog otvora podeone ploče (podeona ploča mora da bude slobodno okretna kao kod diferencijalnog deljenja, poz. 6). Da bi se izradio željeni korak zavojnice, navojno vreteno radnog stola glodalice treba da se obrne za:

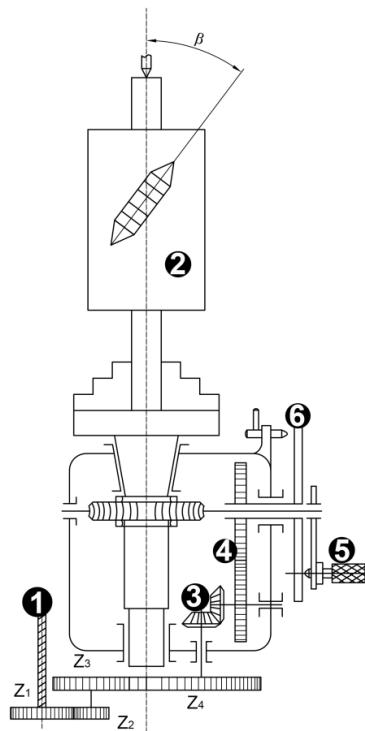
$$n_s = \frac{h}{s}$$

gde je:

n_s – potreban broj obrtaja navojnog vretena pri kom se radni sto pomeri za jedan korak zavojnice koja se izrađuje,

h – korak izrađivane zavojnice (mm),

s – korak navojnog vretena radnog stola glodalice (mm).



Sl. 3.62. Šema podeonog aparata tokom izrade zavojnih žljebova

1-navojno vreteno radnog stola (koraka S), 2-obradak, 3-par koničnih zupčanika ($i=1$), 4-par cilindričnih zučanika ($i=1$), 5-ručica, 6-podeona ploča, Z_1-Z_4 -zamenljivi set zupčanika

Za vreme dok navojno vreteno napravi n_s obrtaja (radni sto se aksijalno pomeri za h), obradak mora da napravi jedan pun krug. Ukoliko se sa i_1 označi prenosni odnos promenljivih zupčanika (Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4) a sa i_2 prenosni odnos podeonog aparata, tada je:

$$n_s \cdot i_1 \cdot i_2 = \frac{h}{s} \cdot i_1 \cdot \frac{1}{k} = 1 \quad \Rightarrow \quad i_1 = \frac{s \cdot k}{h} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

gde je:

k - karakteristika podeonog aparata

Izborom zupčanika koji se isporučuju uz podeoni aparat neophodno je napraviti prenosni odnos i_1 .

Tokom izrade zavojnice, osu obratka je potrebno postaviti u odnosu na osu alata pod uglom β (sl. 3.63). Veličina ovog ugla određuje se iz izraza:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi \cdot D}{h}$$

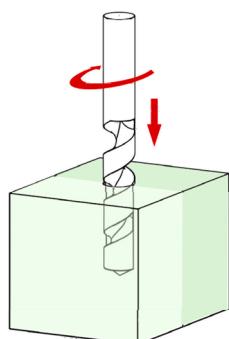
gde je:

D – prečnik obratka (mm).

3.5. OBRADA BUŠENJEM

3.5.1. Osnove obrade na bušilici

Osnovna kretanja pri obradi bušenjem obavlja alat, glavno rotaciono i pomoćno aksijalno (sl. 3.63).



Sl. 3.63. Kinematika bušenja

Operacije bušenja imaju prevashodno za cilj izradu rupa ili otvora. Pored toga na bušilici je moguće obaviti razvrтанje i upuštanje rupa (ili otvora), zabušivanje, izrada navoja i druge slične operacije.

Na slici 3.64 prikazane su osnovne proizvodne operacije na bušilici. Uzimajući u obzir zahtevani kvalitet obrade (tačnost dimenzija obrade i kvalitet obrađene površine), zahvati obrade bušenjem se dele na **prethodne (grube)** i **završne (fine)**.

U zavisnosti od propisane (tražene) tačnosti mera zavisi broj pojedinih zahvata i operacija pri obradi otvora (rupa). Npr.: za postizanje tačnosti mera IT13 i IT12 bušenje punog materijala vrši se sa jednom ili dve burgije⁴³. Tačnost mera IT11 za otvore prečnika manjeg od 10 mm postiže se bušenjem jednom burgijom, za otvore prečnika 10-30 mm bušenjem i proširivanjem⁴⁴, a za otvore prečnika 30-80 mm bušenjem, prširivanjem burgijom i proširivačem⁴⁵. Tačnost mera IT10 i IT9 postiže se kod otvora prečnika manjeg od 10 mm bušenjem i razvrтанjem⁴⁶, 10-30 mm bušenjem, proširivanjem proširivačem i razvrтанjem⁴⁷, 30-80 mm bušenjem, proširivanjem burgijom i proširivačem i razvrtanjem⁴⁸. Takođe, tačnost mera IT8 i IT7 postiže se kod otvora prečnika do 10 mm bušenjem i razvrtanjem, 10-30 mm bušenjem, proširivanjem proširivačem, grubim i finim razvrtanjem⁴⁹, a kod prečnika rupe (otvora) 30-80 mm bušenjem, proširivanjem burgijom ili nožem, zatim proširivačem i na kraju grubim i finim razvrtanjem.

⁴³ Prečnik prve burgije treba da je približno $0,6 \cdot D_2$ (mm), dve je D_2 – prečnik druge burgije

⁴⁴ Za proširivanje posle bušenja neophodno je predvideti dodatak za obradu od 1,5 mm za otvore prečnika do 15 mm, 3 mm za prečnike otvora 30-50 mm odnosno 5 mm za otvore prečnika 80-100 mm.

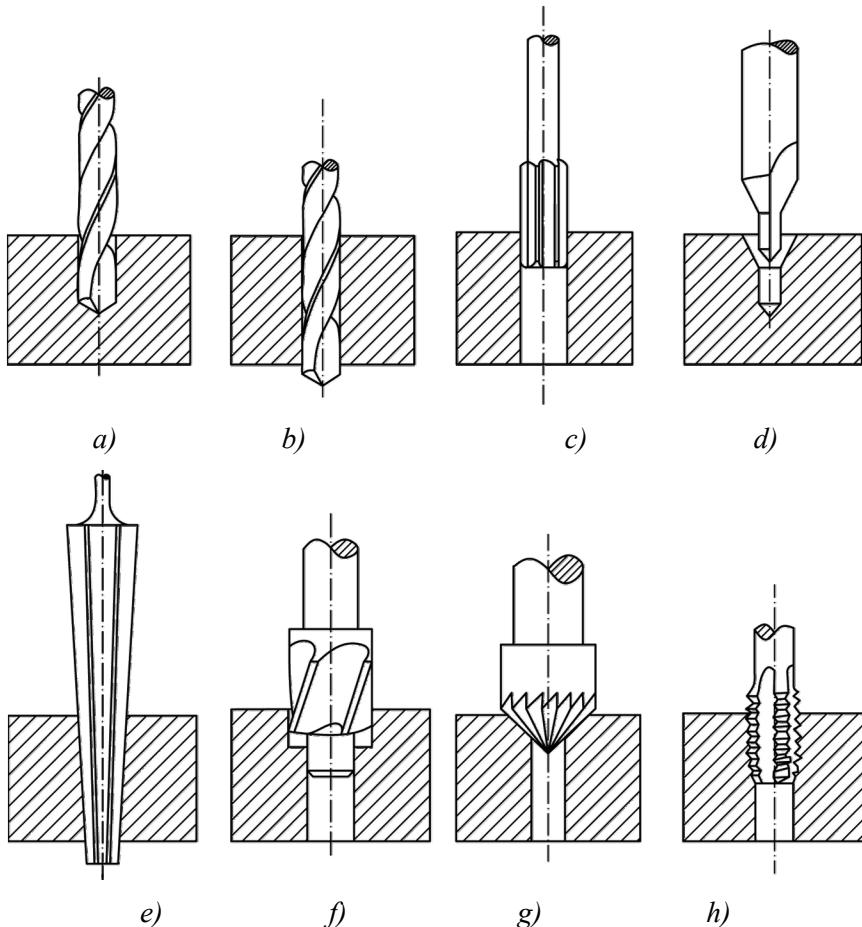
⁴⁵ Dodatak za proširivanje proširivačem nakon grubog proširivanja treba da se kreće oko 1 mm za prečnike otvora do 18 mm, 2 mm za prečnike otvora 30-50 mm, odnosno 3 mm za prečnike otvora 80-100 mm.

⁴⁶ Dodatak za razvrstanje je 0,2 mm.

⁴⁷ Dodatak za razvrstanje je 0,3-0,4 mm.

⁴⁸ Dodatak za razvrstanje je 0,5-0,7 mm.

⁴⁹ Dodatak za grubo odnosno fino razvrstanje je 0,15-0,35 mm i 0,03-0,09 mm respektivno. Veće vrednosti odgovaraju većem prečniku otvora.



Sl. 3.64. Proizvodne operacije na bušilici

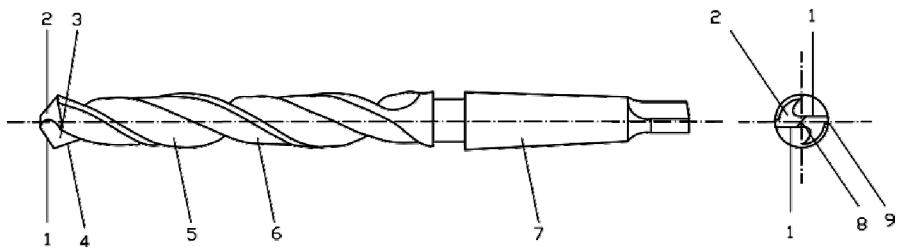
a) bušenje rupe, b) bušenje otvora, c) razvrtanje otvora, d) zabušivanje, e) konično razvrtanje, f) cilindrično upuštanje, g) konično upuštanje, h) urezivanje navoja

3.5.2. Karakteristike reznog alata

Alati za obradu na bušilici mogu se podeliti na alate za **prethodnu** i alate za **završnu** obradu. Alati za prethodnu obradu obrađuju rupu ili otvor nešto manjeg prečnika, koja se zatim drugim alatom (za završnu obradu) proširuje.

Najviše upotrebljavani alat za izradu rupa i otvora je **spiralna (zavojna) burgija**. Standardne dimenzije spiralnih burgija definisane su standardom SRPS K.D3.020 (sa cilindričnom drškom) i SRPS K.D3.022 (sa konusnom drškom).

Spiralnom burgijom moguće je ostvariti kvalitet obrađene površine N9 do N10. Spiralna burgija sastoji se od tela i drške (sl. 3.65) .



Sl. 3.65. Konstruktivni izgled spiralne burgije

1-glavno sečivo, 2-leđna površina, 3-grudna površina, 4-pomoćno sečivo, 5-zavojni žljeb, 6-telo burgije, 7-drška, 8-poprečno sečivo, 9-rub burgije

Drška burgije (sl. 3.65, poz. 7) koristi se za pozicioniranje burgije u nosač glavnog radnog vretena. Drška može biti cilindričnog ili koničnog (metrički ili morze konus) oblika. Burgije sa cilindričnom drškom pozicioniraju se u steznoj glavi sa steznim čeljustima (sl. 3.66a) ili elastičnoj čauri (sl. 3.43). Burgije sa konusnom drškom pozicioniraju se u konusnoj čauri (sl. 3.66b). Cilindrične drške najčešće se primenjuju kod burgija manjih prečnika (do 20 mm), dok se kod burgija većih prečnika, koristi češće konusna drška (burgije prečnika preko 5 mm).



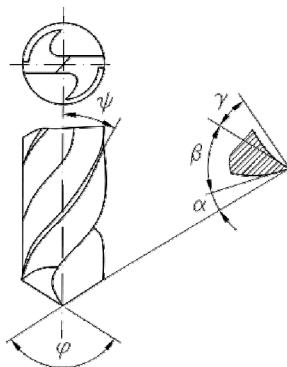
Sl. 3.66. Elementi za pozicioniranje burgije
a-stezna glava, b-konusna čaura

Telo burgije (sl. 3.65, poz. 6) po obodu ima dva zavojna žleba (poz. 5) za odvođenje strugotine i dovođenje rashladne tečnosti u zonu rezanja⁵⁰. Telo burgije je

⁵⁰ Zbog boljeg ispiranja strugotine iz žljebova zavojne burgije, tokom bušenja, najčešće se upotrebljavaju uljne emulzije za hlađenje. Ispiranje strugotine se poboljšava dovođenjem uljne emulzije u snažnom mlazu. Upotrebom uljne emulzije za hlađenje povećava se brzina rezanja do 75%.

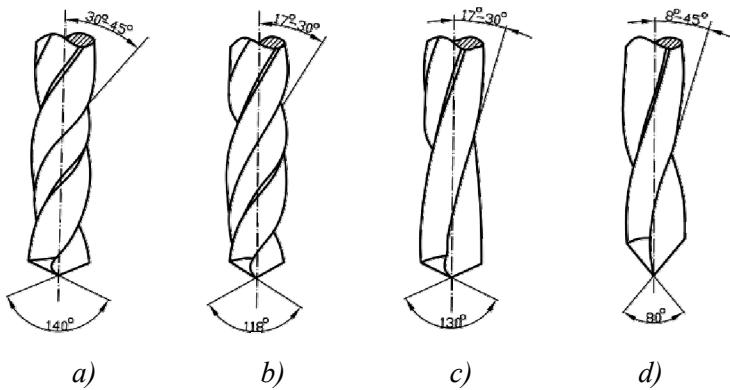
konusnog oblika (konus od vrha prema dršci iznosi najviše 0,1 mm na 100 mm dužine tela burgije), kako bi se smanjilo trenje između burgije i obratka. Spiralni žlebovi na vrhu burgije (reznom delu) obrazuju dva glavna sečiva (poz. 1) u preseku grudnih (poz. 3) i leđnih (poz. 2) površina, dok presek dve leđne površine daje poprečno sečivo (poz. 8). Poprečno sečivo nema ulogu odsecanja materijala već materijal sabija, gnječe i gura ispod glavnog sečiva.

Reznu geometriju spiralne burgije (sl. 3.67) kao dvosečnog alata, pored uglova reznog klina (α , β , γ) definiše ugao vrha spiralne burgije (ϕ) i ugao uspona spiralnog žleba (ψ).



Sl. 3.67. Geometrija reznog kline spiralne burgije

U zavisnosti od materijala obratka, menja se i geometrijski oblik spiralne burgije i uglovi. Zavisno od vrste materijala posebno se menjaju uglovi ψ i ϕ . Na slici 3.68. date su vrednosti ovih uglova zavisno od vrste materijala.

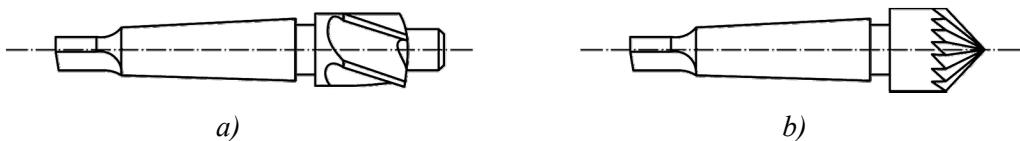


Sl. 3.68. Geometrijski oblik burgije u zavisnosti od vrste materijala
a-burgija namenjena obradi nerđajućeg čelika, bakra i legure aluminijuma, b- burgija namenjena obradi čelika, sivog liva, nodularnog liva i mesinga, c- burgija namenjena obradi tvrdog čelika, d- burgija namenjena obradi bakelita i materijala od plastike

Za obradu okolnih površina otvora, koriste se upuštači (sl. 3.69) koji mogu imati različite oblike u zavisnosti od oblika površine koja se obrađuje:

- ravno,
- cilindrično ili
- konično upuštanje.

Sve operacije upuštanja imaju za cilj obezbeđivanje pravilnog naleganja vijaka različitog tipa. Cilindrično upuštanje se primenjuje za obradu čeone površine otvora kroz koji prolazi vijak sa „imbus“ glavom, ravno upuštanje za vijak sa šestougaonom a konično za vijak sa konusnom glavom. Upuštanjem rupa ili otvora, ostvaruje se kvalitet obrađene površine N8 do N9.



Sl. 3.69. Geometrijski oblik upuštača
a-cilindrični, b-konični

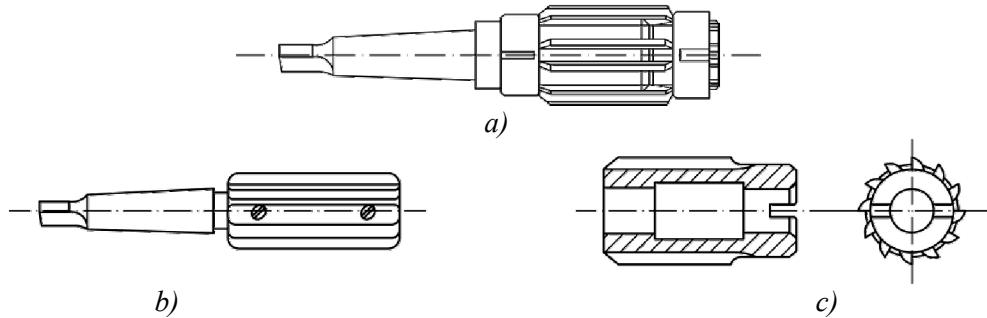
Kao alat za dodatnu obradu već prethodno izbušenih ili izlivenih (kod delova proizvedenih livenjem) otvora ili rupa, koristi se **proširivač**. Proširivač se razlikuje od spiralne burgije po broju žlebova (3 ili 4 žlebova), kao i po zatupljenom vrhu. Veći broj žlebova kod proširivača obezbeđuje bolje vođenje alata.

Završna obrada rupa i otvora ostvaruje se primenom **razvrtača** koji ima cilj da ostvari kvalitet obrađene površine i propisanu dimenziju. Zubi razvrtača su najčešće pravi. Da bi se postigla što „čistija“ površina otvora ili rupa, razvrtači se najčešće konstruišu sa neparnim brojem zuba ili tako da je ugao između zuba različit, ali takva da su naspramni zubi u jednom pravcu sa središnjom osom razvrtača. Razvrtanjem rupa ili otvora ostvaruje se kvalitet obrađene površine N4 do N7.

Razvrtači sa zavojnim zubima primenjuju se u slučaju da unutrašnja površina otvora ima uzdužni žljeb koji bi mogao da ometa okretanje razvrtača sa pravim zubima. Pored toga, razvrtači sa zavojnim zubima primenjuje se pri obradi nehomogenih materijala, kod kojih bi usled razlike u tvrdoći moglo da dođe do zadiranja zuba u materijal.

Razvrtači se dele na ručne i mašinske, a prema konstrukciji na podesive i nepodesive. Razvrtači se proizvode od brzoreznog čelika ili sa pločicama od tvrdog metala.

Na slici 3.70 prikazani su različiti geometrijski oblici razvrtača.

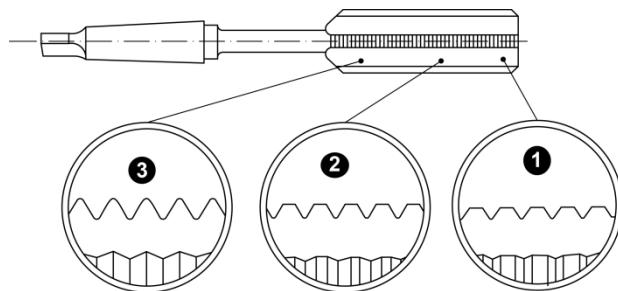


Sl. 3.70. Geometrijski oblik razvrtača

a-razvrtač sa pomicnim (podesivim) noževima, b-cilindrični razvrtač sa nepodesivim (umetnutim) noževima, c-nasadni razvrtač

Razvrtači rade sa malom dubinom rezanja (0,1-0,8 mm). Grudni ugao razvrtača pri obradi čelika je 5° , a sivog liva 0° , dok je leđni ugao 8° . Tokom razvrtanja, koriste se uljne emulzije za hlađenje i podmazivanje.

Ureznica je alat predviđen za urezivanje navoja. Prednji deo ureznice je koničan. Kod izrede zavojnica u tzv. otvorenim ili plitkim rupama, dovoljno je propustiti kroz rupu jednu ureznicu. Kod dubljih rupa potrebno je propuštanje dva ili tri urezača – ureznice, od kojih je prvi sa zatupljenim profilom zubaca, drugi sa oštijim zubima, a treći sa zubima koji odgovaraju gotovom profilu zavojnice. Kod mašinskih ureznica (ureznica koje se primenjuju kod bušilica), sva tri stepena su sjednjena u jedan ureznik (sl. 3.71), što omogućuje da se u jednom prohodu izradi navoj. Kako bi se smanjili otpori rezanja tokom izrade zavojnica, neophodna je upotreba neemulgirajućih ulja za obradu metala (čista ulja za rezanje). Pre urezivanja navoja, neophodno je izbušiti otvor čiji prečnik odgovara unutrašnjem prečniku navoja.



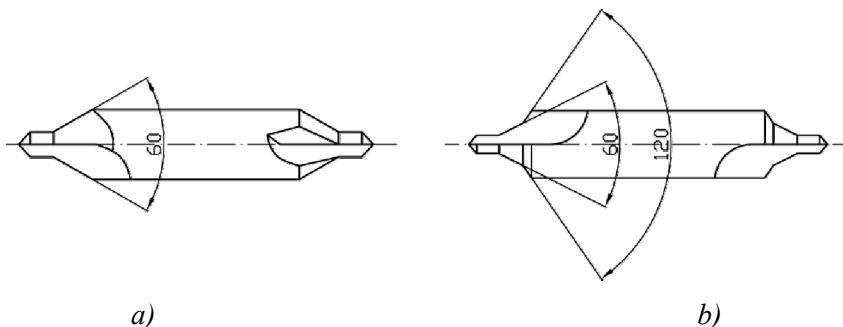
Sl. 3.71. Ureznica (jednodeblna mašinska)
1-zatupljeni profil, 2-srednji (oštiji) profil, 3-završni profil

Pri izradi zavojnice ureznikom od alatnog čelika, brzina rezanja se kreće od 5-10 m/min, dok je kod ureznica od brzoreznog čelika, brzina rezanja 10-25 m/min.

Kao specijalna burgija upotrebljava se **burgija za zabušivanje** rupa za centriranje. Razlikuju se dve vrste burgija za zabušivanje, i to:

- burgija za zabušivanje pre bušenja i
- burgija za zabušivanje gnezda za šiljak.

Zabušivanje pre bušenja vrši se zabušivačem sa jednostrukim konusom (sl. 3.72a) sa ciljem obezbeđivanja centriranja i pravilnog vođenja spiralne burgije. Zabušivanje gnezda za šiljak vrši se primenom specijalne burgije za zabušivanje sa dvostrukim konusom (sl. 3.72b). Zabušivanje gnezda za centriranje na vratilima i osovinama, obezbeđuje njihovo pravilno centriranje i stezanje u obradi struganjem ili brušenjem.



Sl. 3.72. Zabušivač
a-zabušivanje pre bušenja, b-zabušivanje gnezda za šiljak

3.5.3. Otpori rezanja pri obradi bušenjem

Pri obradi bušenjem, rezultujući otpor rezanja, može se razložiti na tri komponente (sl. 3.73): glavni otpor rezanja (F_1), otpor prodiranja (F_2) i otpor pomoćnog kretanja (F_3).

Glavni otpor rezanja F_1 deluje u ravni upravnoj na osu burgije i izračunava se prema jednačini:

$$F_1 = A \cdot k$$

gde je:

A – površina poprečnog preseka strugotine (m^2),

k - specifični otpor rezanja (N/m^2)⁵¹.

Površina poprečnog preseka strugotine pri rezanju jednim glavnim sečivom je:

$$A = \frac{d}{2} \cdot \frac{S}{2}$$

d - prečnik burgije (mm),

$S/2$ - pomak sečiva burgije (mm).

Uvrštavanjem prethodne relacije u jednačinu za izračunavanje glavnog otpora rezanja, sledi da je:

$$F_1 = \frac{d}{2} \cdot \frac{S}{2} \cdot k$$

S obzirom na to, da je ovaj otpor jednak za oba sečiva i da dejstvuje približno na odstojanju $d/4$ od centra burgije (sl. 3.73), glavni otpori rezanja izazivaju moment⁵²:

$$M_t = 2 \cdot F_1 \cdot \frac{d}{4} = \frac{k \cdot d^2 \cdot S}{8} \text{ (Nm)}$$

Otpor prodiranja sečiva F_2 je upravan na sečivo, a **otpor pomoćnog kretanja F_3** dejstvuje u pravcu ose burgije (sl. 3.73). Odnos ovih otpora za jedno sečivo je:

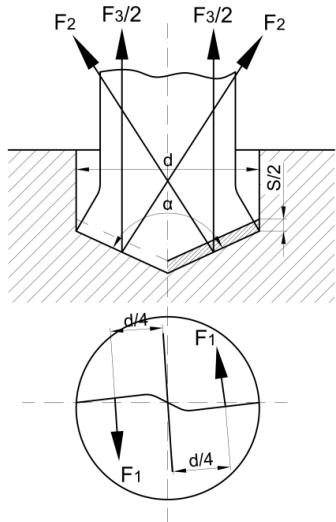
$$\frac{F_3}{2} = F_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$$

Sprovedena istraživanja otpora pri bušenju pokazala su da je otpor prodiranja sečiva $F_2 = (0,7 - 0,9)F_1$ ili približno $F_1 = F_2$ pa je tada:

$$F_3 = S \cdot F_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$$

⁵¹ U opštem slučaju specifični otpor rezanja pri bušenju je približno dva puta veći nego pri struganju.

⁵² Prilikom izlaska burgije iz materijala (kraj izrade otvora), iako se naizgled smanjuje usled smanjenja aktivnog dela glavnih sečiva, presek strugotine se povećava usled povećanja relativne brzine pomoćnog kretanja. U tom slučaju glavni otpor rezanja F_1 sve više se pomera ka periferiji. Iz tog razloga, povećava krak se sile, a time i momenat (M_t). Ovo povećanje obrtnog momenta u trenutku izlaska burgije iz materijala može proizvesti lom burgije. Iz tog razloga kod mašina sa ručnim pomoćnim kretanjem, ono se mora smanjiti u trenutku izlaska burgije iz materijala.



Sl. 3.73. Otpori rezanja pri bušenju

3.5.4. Mašine za obradu bušenjem

Mašine alatke namenjene obradi bušenjem nazivaju se bušilice. Prema položaju glavnog vretena bušilice mogu se podeliti u dve grupe:

- vertikalne,
- horizontalne.

Po broju glavnih vretena bušilice se dele na:

- bušilice sa jednim vretenom,
- bušilice sa više glavnih vretena.

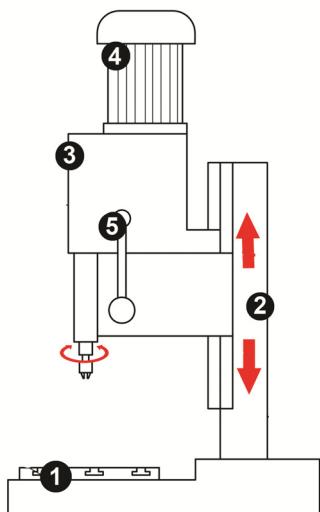
U jednovretene bušilice spadaju:

- stone,
- stubne,
- radijalne,
- univerzalne i
- kordinatne bušilice.

Stona bušilica je najjednostavnija alatna mašina za obradu bušenjem. Namenjena je bušenju rupa i otvora prečnika do 15 mm. Sastoji se od postolja na kome se nalazi sto za pozicioniranje obratka (sl. 3.74, poz. 1). Na postolju je postavljen vertikalni stub (poz. 2) na čijem se vrhu nalazi prenosnik glavnog kretanja (poz. 3) sa elektromotorom (poz. 4). Prenosnik glavnog kretanja se najčešće izvodi u

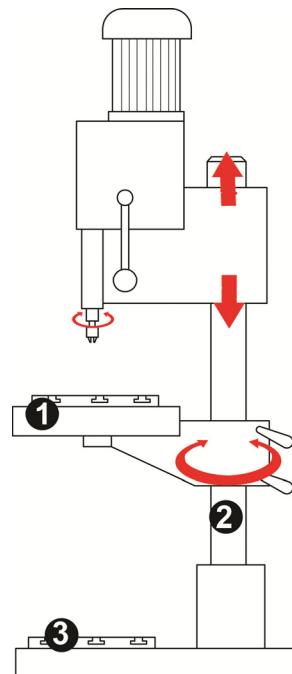
obliku remenog prenosnika sa pet pari remenica. Na taj način se obezbeđuje promena prenosnog odnosa, odnosno, broja obrtaja glavnog radnog vretena. Prodiranje alata u obradak reguliše se ručno preko ručice (poz. 5), kojom se pogoni zupčanik i zupčasta letva. Aksijalnim pomeranjem zupčaste letve obezbeđuje se aksijalno pomeranje radnog vretena a time i rezognog alata.

Stubna bušilica (sl. 3.75) konstruktivno se ne razlikuje od stone. Razlika u odnosu na stonu bušilicu je u gabaritnim dimenzijama, te se ova bušilica primenjuje pri obradi predmeta većih dimenzija, kao i pri bušenju rupa (otvora) većeg prečnika. Stubne bušilice se opremljene zakretnim stolom koji omogućava obradu predmeta manjih gabaritnih dimenzija (poz. 1). Zakretanjem stola (poz. 1) oko vertikalnog stuba (poz. 2), omogućena je obrada predmeta većih gabaritnih dimenzija pozicioniranjem na donju stopu bušilice (poz. 3). Noviji tipovi stubnih bušilica opremljeni su automatskim prenosnikom pomoćnog kretanja, čime se obezbeđuje ujednačenije prodiranje alata u obradak.



Sl. 3.74. Stona bušilica

1-postolje, 2-vertikalni stub, 3-prenosnik glavnog kretanja, 4-elektromotor, 5-ručica pomoćnog kretanja



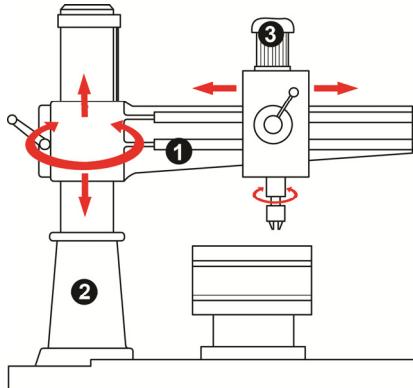
Sl. 3.75. Stubna bušilica

1-zakretni sto za male obratke, 2-vertikalni stub, 3-donja stopa namenjena pozicioniranju obradaka većih gabaritnih dimenzija

Radijalne bušilice (sl. 3.76) koriste se za obradu obradaka većih gabaritnih dimenzija i masa koji bi se teško mogli pomerati po stolu radi dovođenja u

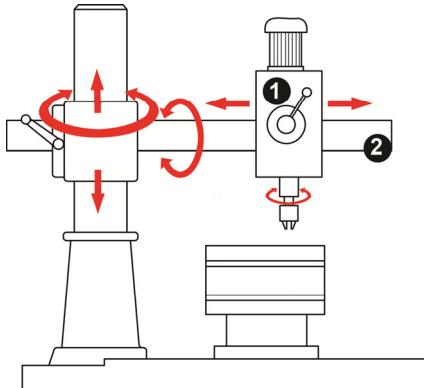
odgovarajuće mesto za bušenje do ose burgije. Glavna karakteristika ove mašine je obrtna konzola (poz. 1) pozicionirana oko vertikalnog stuba (poz. 2). Duž ove konzole se može radijalno pomerati nosač glavnog vretena (poz. 3), tako da se alat za bušenje lako može dovesti do odgovarajućeg mesta bez pomeranja obratka.

Univerzalna bušilica (sl. 3.77) je bušilica kod koje nosač glavnog vretena (poz. 1), pored kretanja koja su omogućena kod radijalnih bušilica može i da se zakrene oko uzdužne ose konzole (poz. 2), pri čemu je omogućeno bušenje vertikalnih i kosih rupa.



Sl. 3.76. Radijalna bušilica

1-konzola, 2-vertikalni stub, 3-nosač glavnog vretena

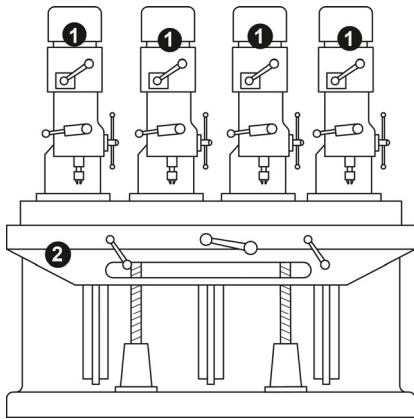


Sl. 3.77. Univerzalna bušilica

1-nosač glavnog radnog vretena, 2-okretna konzola

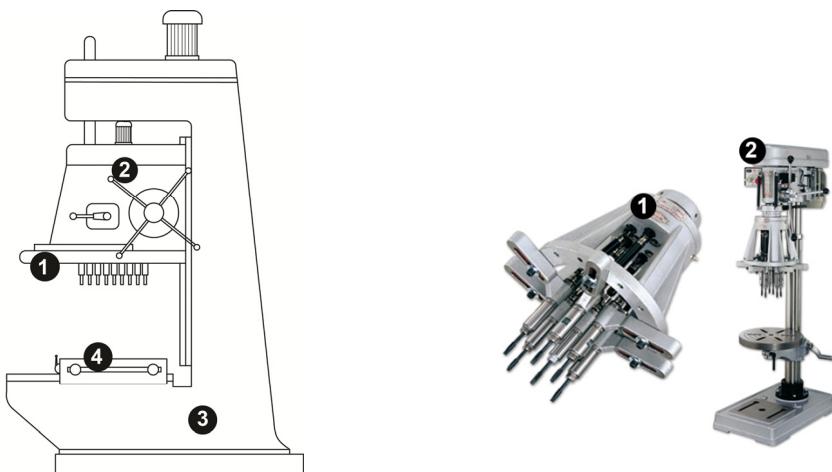
Kordinatna bušilica omogućava najtačnije bušenje bez prethodnog odmeravanja rupa tj. obeležavanja na radnom predmetu. Radni predmet se postavlja na radni sto koji može da se pomera upravno na pravac pomeranja glavnog vretena. Pomeranje stola kod ovih bušilica podešava se pomoću uređaja za merenje koji su sastavni deo mašina. Koordinatna bušilica može da radi i kao glodalica za uzdužno glodanje, ako se umesto burgije u glavno vreteno postavi glodalno, a stolu omogući automatsko pomoćno kretanje.

Bušilice sa više radnih vretena predviđene su za obavljanje produktivnijih radnih procesa u serijskoj proizvodnji. **Redna bušilica** predstavlja kombinaciju većeg broja jednovretenih bušilica (sl. 3.78, poz. 1) povezanih zajedničkim postoljem (poz. 2). Ukoliko se u serijskoj proizvodnji javlja potreba da se jedna rupa obradi u više zahvata (bušenje, proširivanje, razvrtanje, upuštanje...), tada će se na prvom radnom vretenu obavljati bušenje, a na ostalim predstojeće operacije po predviđenoj tehnologiji obrade (Rukovaoc pri tome pomera obradak od jednog radnog vretena do drugog.).



*Sl. 3.78. Redna bušilica
1-jedno vretena bušilica, 2-zajedničko
postolje*

Kod bušilica sa **viševretenom glavom** istovremeno se obrađuje veći broj rupa. Viševretna glava (sl. 3.79, poz 1) se postavlja na glavno vreteno jednovretene bušilice (poz. 2), sa koga dobija pogon preko centralnog zupčanika. Na slici 3.79b prikazano je izvedeno rešenje viševretene glave opremljene sa šest nezavisno podesivih nosača reznog alata.



*Sl. 3.79. Bušilica sa viševretenom glavom
1-viševretnena glava, 2-glavno vreteno jednovretene bušilice, 3-postolje, 4-radni sto*

Agregatne bušilice su posebne bušilice namenjene masovnoj proizvodnji. Osobenost ovih mašina se ogleda u agregatnom koncipiranju tj. gradnji od više agregata. Agregati predstavljaju jednovretene bušilice opremljene svaka sa svojim elektromotorom. Agregati su postavljeni na zajedničko postolje čineći složenu mašinu namenjenu istovremenom obavljanju većeg broja zahvata, pri čemu svaki agregat može biti postavljen horizontalno, vertikalno ili pod uglom.

3.6. OBRADA RENDISANJEM

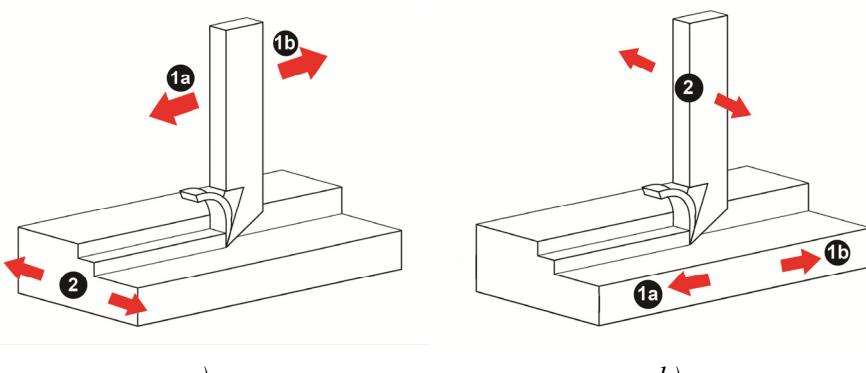
3.6.1. Osnovi obrade rendisanjem

U prethodnom tekstu opisani postupci obrade odnosi su se na mašine sa glavnim kružnim kretanjem. Obrada rendisanjem se, međutim, obavlja na mašinama kod kojih je glavno i pomoćno kretanje pravolinjsko (sl. 3.80). Osnovna razlika između obrade sa pravolinjskim i kružnim glavnim kretanjem je u periodičnom izvođenju glavnog kretanja kod prvih i kontinualnog kod drugih. U zavisnosti od toga ko izvodi glavno kretanje (obradak ili alat), razlikuju se dva tipa rendisaljki:

- kratkohodne i
- dugohodne.

Kod kratkohodnih rendisaljki nož izvodi glavno, a obradak pomoćno kretanje. S druge strane, kod dugohodnih rendisaljki, obradak izvodi glavno, a alat pomoćno kretanje. U procesu obrade rendisanjem razlikuje se radni i povratni hod alata ili obratka. Proces rezanja odvija se samo tokom radnog hoda (sl. 3.80a), a ne tokom povratnog (b). Kod oba tipa rendisaljki, pomoćno kretanje se obavlja periodično, po okončanju povratnog hoda alata ili obratka a pre početka narednog radnog ciklusa.

Kratkohodne rendisaljke se izrađuju kao horizontalne i vertikalne. Razlika između ove dve rendisaljke je u pravcu kretanja reznog alata. Dugohodne rendisaljke se izrađuju isključivo kao horizontalne.



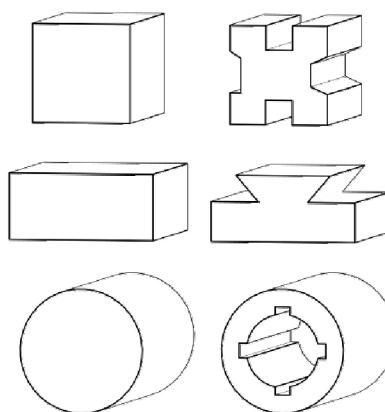
Sl. 3.80. Kinematika rendisanja

a-kratkohodna rendisaljka, b-dugohodna rendisaljka

1a-glavno kretanje (radni hod), 1b-povratni hod, 2-pomoćno kretanje

Uzimajući u obzir zahtevani kvalitet obrađene površine, rendisanje može biti grubo i fino. Grubim rendisanjem postiže se kvalitet obrađene površine N10 do N12, a finim N7 do N9⁵³.

Rendisanjem se mogu obrađivati ravne površine (horizontalne, vertikalne ili kose), žlebovi, profilne površine i sl (sl. 3.81). Pored ovoga na rendisaljci je moguće obrađivati veći broj ravnih površina istovremeno.



Sl. 3.81. Predmeti izrađeni rendisanjem
a- pripremак, b-израдак

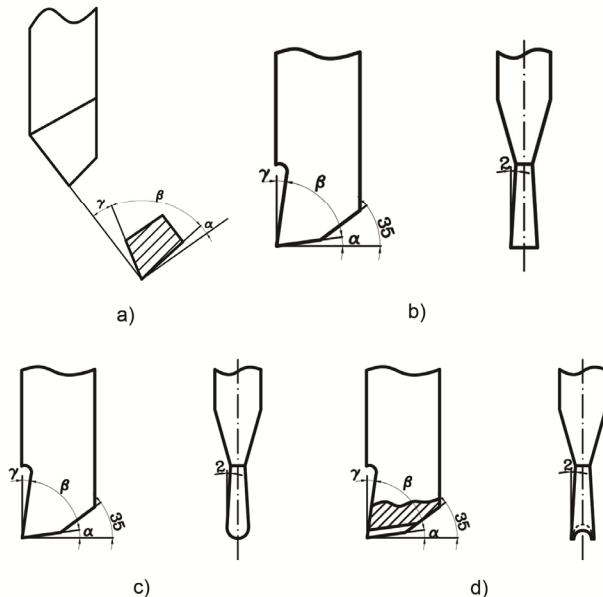
3.6.2. Karakteristike reznog alata

Obrada rendisanjem u osnovi je potpuno identična obradi na strugu kao rezni alat koji je identičan strugarskom nožu. Međutim, velike inercijalne sile koje se javljaju u momentu promene smera kretanja alata ili obratka, uslovjavaju da brzina rezanja pri obradi rendisanjem bude manja u odnosu na obradu struganjem⁵⁴. Naime, rezni alat (nož) je tokom rendisanja izložen promenljivom opterećenju. Tako, pri ulasku u zahvat, nož je izložen jakim udarnim opterećenjima, dok pri izlasku iz zahvata nastupa naglo rasterećenje noža. Kako bi nož mogao da izdrži ovakva, izrazito

⁵³ Korak (poprečno pomeranje alata ili obratka) pri gruboj obradi iznosi 1-5 mm/hodu, a finoj oko 0,3 mm/hodu.

⁵⁴ Brzina rezanja kod dugohodnih rendisaljki iznosi 5-20 m/min, a kod kratkohodnih do 30 m/min za grubu i 40-60 m/min za finu obradu.

promenljiva opterećenja, materijal od kog se izrađuje mora biti izuzetno žilav (za izradu noža koristi se brzorezni čelik i žilave vrste tvrdog metala). Kod noževa većih dimenzija, telo noža se izrađuje od konstruktivnog čelika, dok se pločice izrađene od brzoreznog čelika ili tvrdog metala na telo postavljaju lemljenjem ili mehaničkim putem. Na slici 3.82 dati su primjeri konstruktivnih izvedbi noža za obradu ravnih površina, usecanje i fazonsko (profilno) rendisanje.



Sl. 3.82. Noževi za rendisanje

a-nož za obradu ravnih površina, b-nož za usecanje, c-fazonski nož za rendisanje izdubljenog profila, d- fazonski nož za rendisanje ispupčenih profila

3.6.3. Mašine za obradu rendisanjem

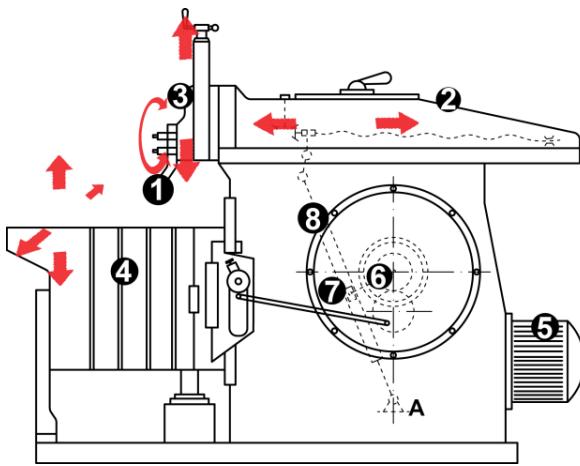
Kao što je napred rečeno, osnovna podela mašina za rendisanje je izvršena na kratkohodne i dugohodne. Kratkohodne rendisaljke se dalje dele na horizontalne i vertikalne.

Horizontalna kratkohodna rendisaljka je rendisaljka kod koje glavno kretanje izvodi nož (u horizontalnom pravcu), a pomoćno obradak. Nož (sl. 3.82, poz. 1) je neposredno pričvršćen za nosač alata (poz. 3) koji je visinski pomerljiv radi podešavanja dubine rezanja. Držač alata omogućava odizanje noža pri povratnom hodu, čime se obrađena površina i nož štite od habanja. Radni predmet se nalazi na stolu (poz. 4) koji izvodi periodično pomoćno kretanje. Sto se može pomerati po

vertikalnim kliznim stazama radi podešavanja položaja.

Elektromotor (poz. 5) pogoni, preko zupčastog prenosnika, glavno pogonsko vratilo. Sa glavnog pogonskog vratila kretanje se prenosi preko krivaje (poz. 6) i klizača (poz. 7) na kulisno klatno (poz. 8), koje osciluje oko nepomične tačke (A). Drugi kraj klatna vezan je za noseću konzolu (poz. 2). Na taj način se obrtno kretanje glavnog pogonskog vratila posredstvom krivajnog mehanizma pretvara u pravolinjsko kretanje nosača alata.

Pored mehaničkog pogona kratkohodne rendisaljke se izrađuju i sa hidrauličnim pogonom.

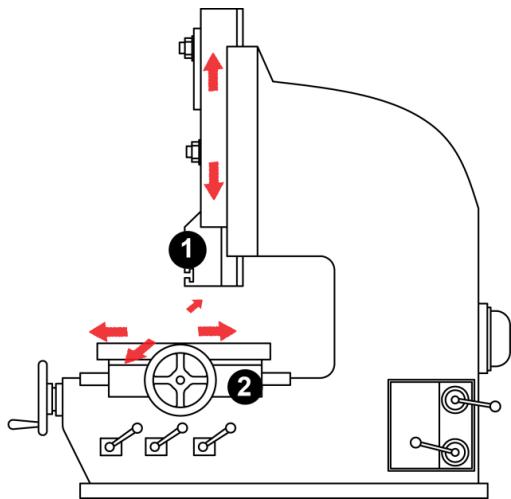


Sl. 3.82. Horizontalna

kratkohodna rendisaljka

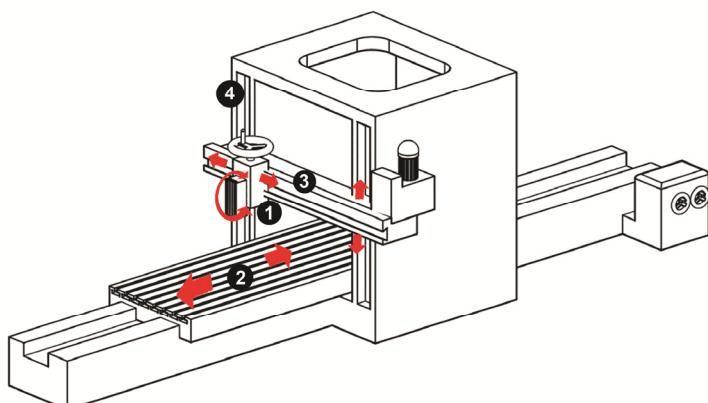
1-nož, 2-noseća konzola, 3-držać
alata, 4-radni sto, 5-elektrmotor,
6-krivaja, 7-klizač, 8-kulisno
klatno

Nosač alata **vertikalnih kratkohodnih rendisaljki** (sl. 3.83, poz. 1) ima vertikalno kretanje naniže pri radnom hodu, a naviše pri povratnom. Obradak se postavlja na radni sto (poz. 2) koji je obično izveden u obliku obrtnog stola na klizaču sa mogućnošću uzdužnog i poprečnog pomeranja. Kao pogonski mehanizam kod ovih rendisaljki primenjuje se prost ili složen mehanizam krivaje, iako mogu biti izrađene i sa hidrauličnim pogonom.

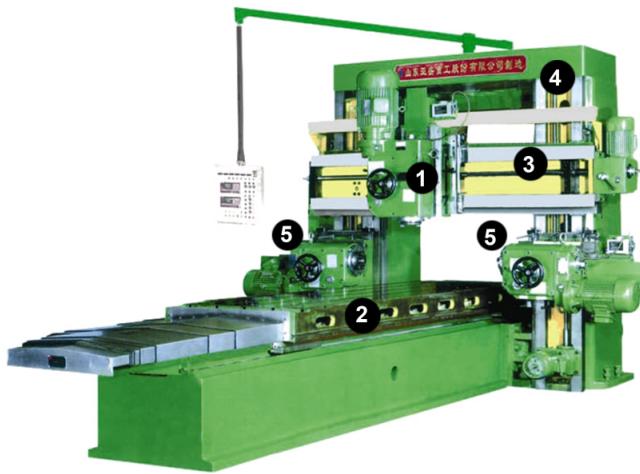


Sl. 3.83. Vertikalna kratkohodna rendisaljka
1-nosač alata, 2-radni sto

Dugohodne rendisaljke (sl. 3.84) se primjenjuju kod obrade delova velikih gabaritnih dimenzija, usled čega se takvi delovi postavljaju na pokretni radni sto (poz. 2) koji izvodi glavno kretanje. Dugohodne rendisaljke mogu imati hod i do nekoliko metara. Nosač alata (poz. 2) se postavlja na horizontalnoj traverzi (poz. 3) koja se može vertikalno pomerati na stubovima (poz. 4). Osim nosača alata postavljenih na horizontalnoj traverzi, postoje i bočni nosači alata koji omogućavaju obradu bočnih površina obratka (sl. 3.84b, poz. 5).



a)



b)

*Sl. 3.84. Dugohodna rendisaljka
a-šematski prikaz, b-izvedeno rešenje*

1-nosač alata, 2-radni sto, 3-traverza, 4-vertikalni stub, 5-bočni nosač alata

3.7. OBRADA NA MAŠINAMA ZA ODSECANJE (TESTEROM)

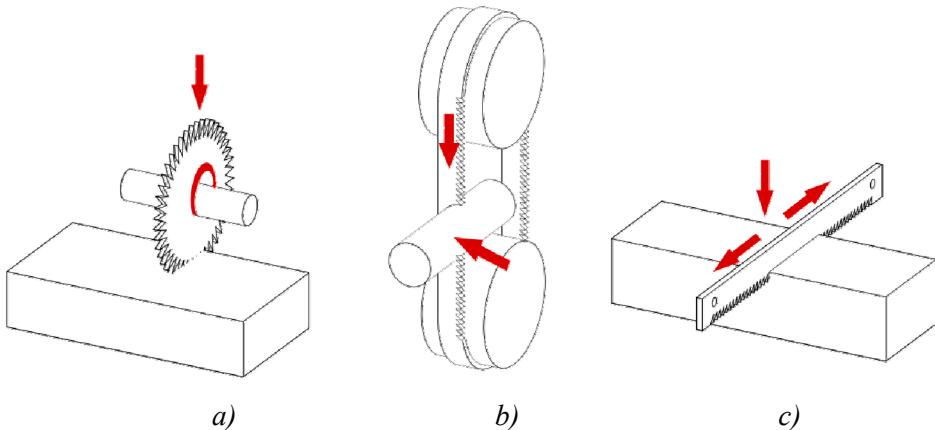
3.7.1. Osnovi obrade na testeri

Obrada na testeri se koristi prevashodno za realizaciju proizvodnih operacija odsecanja (sečenja) materijala, kao pripremnu operaciju za druge postupke obrade. Pored odsecanja, obrada na testeri se može koristiti i za izvođenje operacija isecanja i usecanja. Prema osnovnim kretanjima alata i obratka, kao i tipu mašine, razlikuju se postupci obrade na:

- kružnim,
- trakastim i
- okvirnim testerama.

Kod obrade materijala kružnom testerom alat u obliku nazubljenog diska vrši glavno obrtno i pomoćno pravolinijsko kretanje (sl. 3.85a). Kod obrade trakastom testerom, alat u obliku nazubljene trake vrši glavno kretanje, a obradak pomoćno pravolinijsko kretanje (b). Kod obrade okvirnom testerom, alat vrši glavno oscilatorno

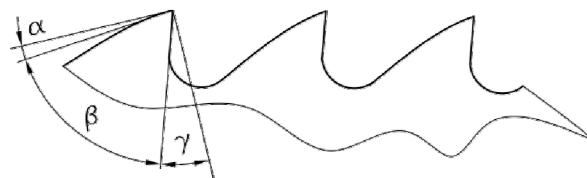
pravolinjsko i pomoćno pravolinjsko kretanje (c).



Sl. 3.85. Kinematika obrade na testerama
a-kružna testera, b- trakasta testera, c- okvirna testera

3.7.2. Alat za obradu na testerama

Kružne testere se izrađuju u vidu tankog ozubljenog diska i predstavljaju testerasta glodala. Kružne testere su višesečni alati sa zubima, po obliku sličnim ili istovetnim zubima glodala ali većeg broja i znatno manje debeljine diska u odnosu na glodalo. Osnovnu geometriju alata čine grudni ugao (γ), leđni ugao (α) i ugao klina (β). Zbir grudnog, leđnog i ugla klina je 90° (sl. 3.86).



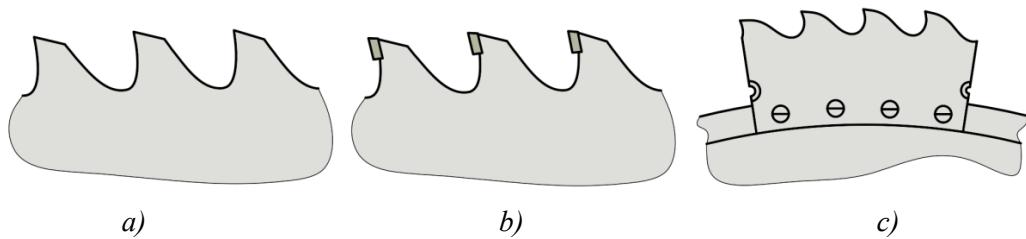
Sl. 3.86. Uglovi zuba testere

U tabeli 3.2. date su preporučene vrednosti ovih uglova namenjenih obradi različitih vrsta materijala.

Tab. 3.2. Preporučene vrednosti grudnog i leđnog ugla pri obradi različitih vrsta materijala

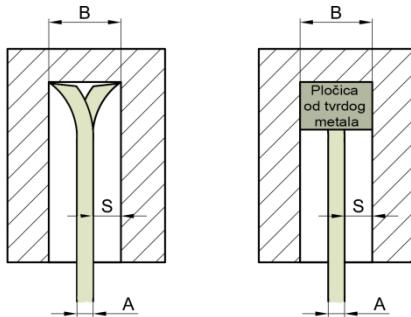
Vrsta materijala obratka	Žilavost (N/mm ²)	Grudni ugao (β)	Leđni ugao (α)
Automatski čelici	350-500	20°	8°
Armirni čelici	500-750	18°	8°
HSS čelici	700-950	15°	8°
Veoma tvrdi čelici	950-1050	12°	8°
Čelici za visoke temperature	950-1300	10°	8°
Nerđajući čelici	500-800	12°	8°
Sivi liv	100-400	12°	8°
Aluminijum i njegove legure	200-400	22°	10°
Legure aluminijuma sa max. 5 % silicijuma	300-500	20°	8°
Bakar	200-400	20°	10°
Fosforna bronza	400-600	15°	8°
Tvrde bronze	600-900	12°	8°
Mesing	200-400	16°	16°
Legirani mesing	400-700	12°	16°
Legure titanijuma	300-800	18°	8°

Kružne testere izrađuju se iz jednog dela, od legiranog brzoreznog čelika (sa primesama volframa, vanadijuma i molibdена, sl. 3.87a), sa umetnutim zupcima (b) ili segmentima (c) od brzoreznog čelika ili tvrdog metala. Kružne testere izrađene iz jednog dela imaju prečnik do 300 mm i mogu biti debljine od 0,2-6 mm. Testere izrađene sa umetnutim zupcima ili segmentima, mogu biti prečnika od 250 do 1600 mm i debljine do 10 mm.



Sl. 3.87. Različiti tipovi kružnih testera
a-jednodelna, b-sa umetnutim pločicama od tvrdog metala, c-sa umetnutim segmentima

U cilju smanjenja trenja između bočnih površina testere i površine obratka, zubi jednodelne testere se izvode povijeni naizmenično na jednu i drugu stranu (3.88a), a kod testera sa umetnutim zubima ugrađuju se pločice veće širine u odnosu na telo (b).



Sl. 3.88. Izvođenje zuba kako bi se spričilo zaglavljivanje testere
 a-jednodešna testera, b-testera sa umetnutim pločicama od tvrdog metala
 A-širina tela testere, B-širina reza, S-slobodan prostor između obratka i tela testere

Lisnate testere izrađuju se od ugljeničnog i niskolegiranog čelike ili kao bimetalne, dužine od 300 do 700 mm, debljine od 1,2-2,5 mm, sa korakom zuba od 2-6 mm. Zubi testere su trouglastog profila, grudnog ugla od 0-12° i lednog od 30-35°. Manja debljina, u odnosu na kružne testere, omogućava uštedu u materijalu. Bimetalne lisnate testere karakteriše elastično telo (izrađeno od elastičnog čelika) i izuzetno tvrd vrh zuba (izrađen od tvrdog čelika).

3.7.3. Mašine za obradu odsecanjem (testere)

Mašine alatke namenjene obradi odsecanjem nazivaju se **mašinske testere**. Prema vrsti reznog alata razlikuju se:

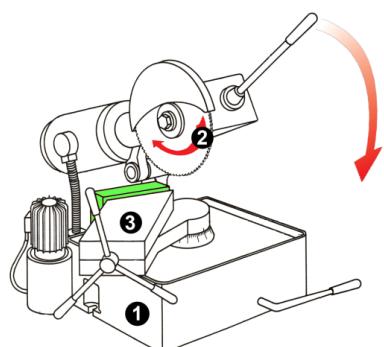
- Mašine sa kružnom testerom,
- Mašine sa trakastom testerom,
- Okvirna testera.

Kod **maštine sa kružnom testerom** glavno kretanje je obrtno kretanje alata (testere), a pomoćno kretanje predstavlja primicanje alata obratku. Primicanje alata moguće je ostvariti lučnim ili pravolinijskim kretanjem.

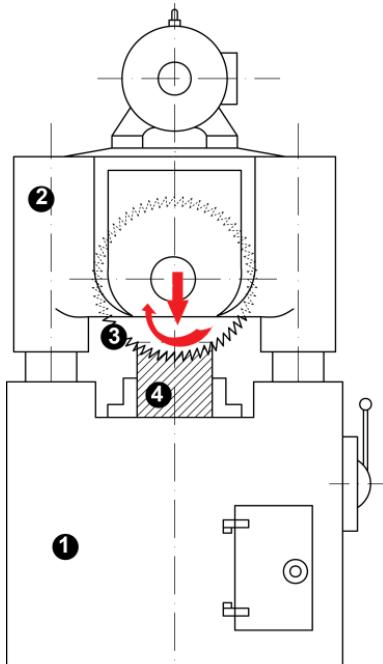
Na slici 3.89. prikazana je mala kružna testera sa lučnim primicanjem alata obratku. Na ovakvim mašinskim testerama često se sečenje obavlja primenom abrazivnih diskova koji zahtevaju veći broj obrtaja glavnog radnog vretena (oko 5000 o/min), u odnosu na testere sa ozubljenim diskom (800-1000 o/min). Testere sa ozubljenim diskom ostvaruju bolji kvalitet i preciznije sečenje u odnosu na abrazivne diskove.

Na slici 3.90. prikazana je mašina sa kružnom testerom (poz. 3), kod koje se

pomoćno kretanje obavlja vertikalnim aksijalnim kretanjem nosača alata (poz. 2). Kod ovih mašina ostvaruje se velika brzina rezanja. Tako naprimjer, pri odsecanju livenog gvožđa brzina rezanja se kreće od 20 do 40 m/min, mesinga i bakra do 200 m/min, a lakih metala do 600 m/min. Ovakve mašine obično su opremljene uređajem za automatsku regulaciju sile, odnosno brzine pomoćnog kretanja. Pored mašina sa vertikalnim postoje i sa horizontalnim aksijalnim pomeranjem alata.

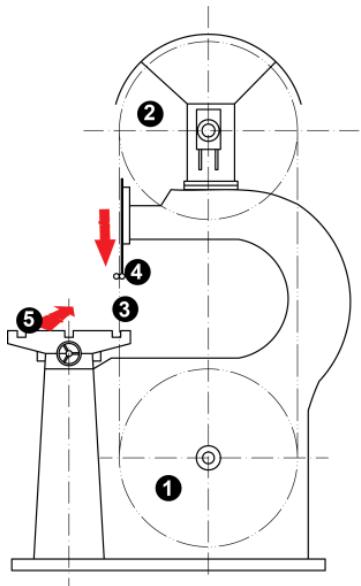


*Sl. 3.89. Kružna testera sa lučnim primicanjem alata
1-postolje, 2-kružna testera, 3-stega za pozicioniranje obratka,*



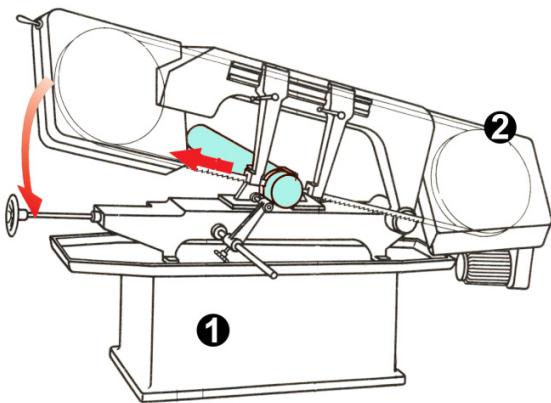
*Sl. 3.90. Kružna testera sa aksijalnim (vertikanim) primicanjem alata
1-postolje, 2-nosač alata, 3-kružna testera, 4-obradak*

Mašine za odsecanje sa trakastom testerom mogu biti vertikalne i horizontalne. Mašine sa vertikalnim položajem trakaste testere (slika 3.91) imaju dva točka oko kojih je prebačena testera u vidu trake (poz. 3). Debljina testere je od 0,4 do 1,2 mm. Jedan točak je pogonski (poz. 1) a drugi vodeći (poz. 2). Pomoćno kretanje se ostvaruje aksijalnim pomeranjem radnog stola (poz. 3). Nosač gornjeg točka ima mogućnost aksijalnog pomeranja u vertikalnom pravcu kako bi se obezbedilo pravilno zatezanje testere. Brzina rezanja pri odsecanju na ovim mašinama kreće se od 20 do 120 m/min.



*Sl. 3.91. Mašina sa trakastom testerom – vertikalnom
1-pogonski točak, 2-vođeni točak, 3-
trakasta testera, 4-točkići za vođenje
testere, 5-radni sto*

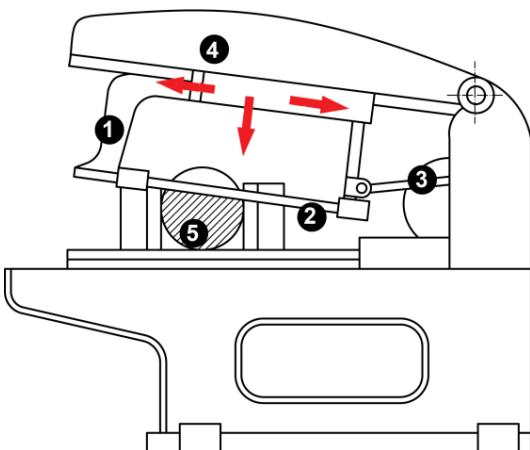
Mašine sa horizontalnim položajem trakaste testere (slika 3.92) imaju široku primenu za odsecanje materijala u metaloprerađivačkim pogonima. Mašina se sastoji od fiksnog postolja (poz. 1) i oscilirajućeg rama (poz. 2). Mašine se najčešće izrađuju sa kosim položajem oscilirajućeg rama na kome se nalaze koturi za kretanje testere. Glavno i pomoćno kretanje ovih mašina izvodi alat (testera).



*Sl. 3.92. Mašina sa trakastom
testerom – horizontalna
1-postolje, 2-oscilirajući ram,
3-pogonski točak, 4-vodeći
točak, 5-trakasta testera*

Okvirne testere našle su široku primenu u maloserijskoj i serijskoj proizvodnji. Mašina je relativno jednostavne konstrukcije i jeftina. Nedostatak se ogleda u niskoj proizvodnosti u odnosu na prethodne, jer se radni hod obavlja samo u jednom smeru kretanja. Broj duplih hodova okvira zavisi od dužine hoda i iznosi od $20-25 \text{ min}^{-1}$. Na

slici 3.93 prikazana je šema rada okvirne testere. Okvirna testera ima ramski držač (poz. 1) koji služi za stezanje alata izrađenog u obliku lista (poz. 2). Ramski držač dobija pogon od krivajnog mehanizma (poz. 3) koji obezbeđuje transformaciju rotacionog kretanja elektromotora u pravolinijsko oscilatorno kretanje. Vreme potrebno za odsecanje se skraćuje povećanjem pritiska testere na materijal, što se postiže postavljanjem pomerljivog tega na okvir testere (poz. 4).



Sl. 3.93. Okvirna testera
1-ramski držač alata, 2-lisnata testera,
3-krivajni mehanizam, 4-pomerljivi
teg, 5-radni sto

3.8. OBRADA BRUŠENJEM

3.8.1. Osnove obrade na brusilici

Operacije brušenja se najčešće primenjuju u završnoj obradi materijala skidanjem strugotine. Osnovne karakteristike brušenja su:

- brusna zrna nemaju definisaniu geometriju rezognog klina,
- ostvaruje se vrlo sitna strugotina i
- brušenje se obavlja velikom brzinom i malom dubinom rezanja.

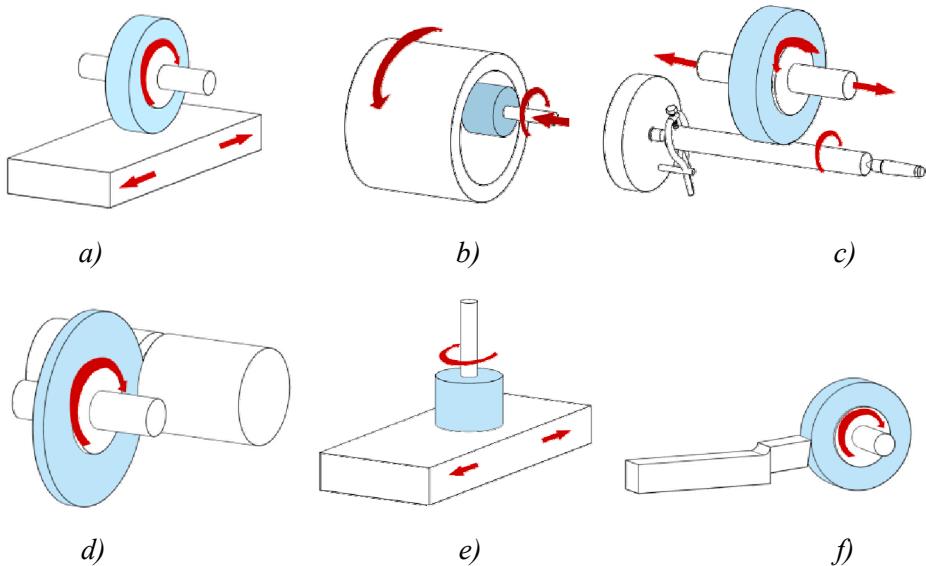
Od svih postupaka obrade materijala skidanjem strugotine, u poslednje tri decenije, brušenje je imalo najizraženiji razvoj i porast primene. Mnoge operacije u obradi materijala koje su izvedene nekim od postupaka skidanjem strugotine (struganje, glodanje, rendisanje...), danas se izvode na brusilicama. Savremene brusilice imaju CNC (Computer Numerical Control) upravljanje, snažniju konstrukciju, postižu veću produktivnost i poboljšanu tačnost.

Brušenje može biti:

- grubo,
- normalno i
- fino.

Grubo brušenje se najčešće primenjuje kao naknadni proces obrade odlivaka, otpresaka, otkivaka i zavarenih spojeva. Grubim brušenjem ostvaruje se kvalitet obrađene površine od N8 do N10. Normalno brušenje se primenjuje u cilju postizanja odgovarajućih dimenzija i oblika obratka velike tvrdoće. Normalnim brušenjem ostvaruje se kvalitet obrađene površine od N6 do N7. Fino brušenje predstavlja završnu obradu materijala, koja se obavlja nakon grube obrade nekim od postupaka obrade materijala skidanjem strugotine ili nakon termičke obrade, a sa ciljem poboljšanja kvaliteta obrađene površine. Finim brušenjem ostvaruje se kvalitet obrađene površine N5.

Brušenjem se obrađuju ravne i kružne spoljne i unutrašnje površine, stepenaste površine, pod uglom ili profilne površine. Takođe, brušenjem se obrađuju žlebovi, rupe, otvore, zupčanici, navoje, izvodi se oštrenje alata i sl. Osnovna karakteristika brušenja jeste mogućnost obrade svih vrsta materijala bez obzira na njihovu tvrdoću. Glavno kretanje pri obradi brušenjem je obrtno kretanje alata (tocila). Pomoćno kretanje može biti pravolinijsko, obrtno ili istovremeno pravolinijsko i obrtno i po pravilu ga izvodi obradak. Na slici 3.94 prikazani su primeri proizvodnih operacija brušenjem.

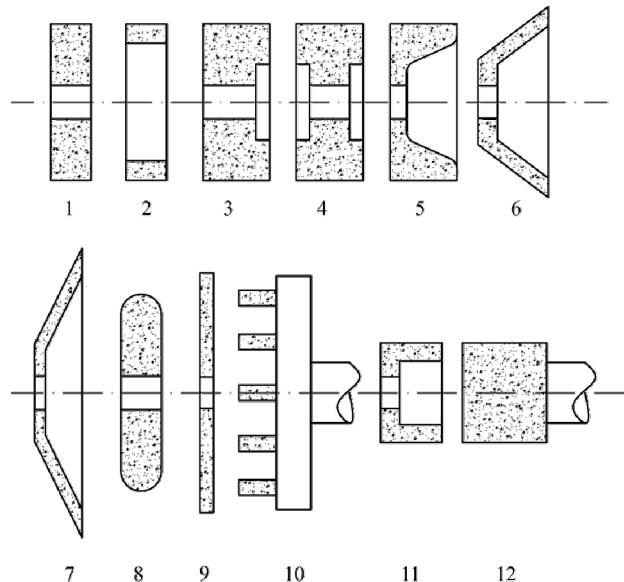


Sl. 3.94. Kinematika kod nekih proizvodnih operacija brušenja

a-obimno brušenje ravnih površina, b-obimno brušenje unutrašnjih kružnih površina, c-brušenje između šiljaka, d-odsecanje brušenjem, e-čeono brušenje ravnih površina, f-oštrenje alata

3.8.2. Alat za obradu na brusilici

Brušenje se izvodi alatima koji se nazivaju tocila. Prema obliku (sl. 3.95) tocila mogu biti kolutasta (1,3,4), prstenasta (2), lončasta (5), konusna (6), tanjurasta (7), profilna (8), tocila za odsecanje (9), segmentna (10), tocila za unutrašnje brušenje sa otvorom (11) i tocila sa drškom (12).



Sl. 3.95. Različiti oblici tocila

Tocilo se sastoji od dva osnovna materijala: sredstva za brušenje (brusnog zrna) i vezivnog materijala.

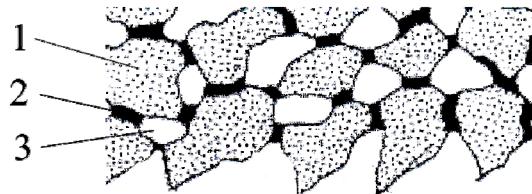
Brusno zrna ima po svom obimu veći broj oštih ivica - sečiva, koja u dodiru sa obratkom skidaju strugotinu. Najčešći oblici brusnog zrna su: oktaedar, trapezoid, tetraedar i trostrana prizma. Brusna zrna se najčešće izrađuju od veštačkog korunda (elektro-korunda) i silicijum-karbida, a nešto ređe od veštačkog dijamanta, borkarbida i nitrida bora. *Veštački korund* se deli na normalni (oznaka A) i plemeniti (oznaka V). Normalni korund se koristi za brušenje konstruktivnih čelika, dok se plemeniti korund koristi za brušenje alatnih čelika. *Silicijum-karbid* se upotrebljava za brušenje svih drugih materijala (osim čelika): livenog gvožđa, tvrdih legura, obojenih metala, plastičnih masa i kamena. Oznaka silicijum-karbida je CC za crni i CZ, za zeleni silicijum-karbid. *Veštačkim dijamantom* bruse se vrlo tvrdi i krti materijali (tvrdi legure, staklo, keramika i sl.). *Nitrid bora* služi za brušenje tvrdih čelika a od zrnaca *bor karbida* izrađuju se paste za glaćanje materijala.

Veličina (krupnoća) brusnog zrna utiče na kvalitet (finoću) brušenja. Veličina zrna izražava se brojem zrna na jednom dužnom inču, a označava se brojevima od 8 do 600 i to: vrlo grubo zrno (8 do 16), grubo (20 do 36), srednje (40 do 70), fino (80 do 120), vrlo fino (150 do 240) i naročito fino (280 do 600).

Veživni materijal u tocilu može biti: keramički (glina - oznaka V), silikatni (vodeno staklo - S), magnezitni (cement - O), metalni (legure bakra i aluminijuma - M), gumeni (R) i od veštačke smole (bakelit - B). Od vezivnog sredstva zavisi *tvrdoća*

tocila (čvrstoća vezivanja brusnih zrna). Tvrdoća tocila označava se latiničnim slovima od E do Z (Ukoliko je tvrdoća tocila veća, slovna oznaka je udaljenija od početka abecede. Npr.: vrlo meka tocila nose oznake G, H i J, srednje tvrda K, L i M, tvrda N, O i P, a najtvrdja tocila označavaju se slovima abecede Q, R i S.). Tvrdoća tocila se bira u zavisnosti od materijala obratka i tačnosti obrade. Prilikom obrade tvrdih materijala biraju se mekša tocila kako bi brže došlo do ispadanja brusnih zrna koje se intenzivnije habaju. Za brušenje mekših materijala koriste se tvrđa tocila, jer je manji intenzitet habanja brusnih zrna. Trošenjem tocila brže se menja njihov oblik, pa se prilikom obrade materijala sa većom zahtevanom tačnošću koriste tvrđa tocila.

Odnos između mase tocila (brusnih zrna i veziva) i ukupne zapreminе šupljina u tocilu naziva se *struktura tocila*. Naime, strukturu tocila osim brusnih zrna (poz. 1) i vezivnog sredstva (poz. 2) čine šupljine (sl. 3.96, poz. 3) koje smanjuju trenje. Takođe, šupljine u materijalu tocila služe kao komore za prijem formirane strugotine koja se izbacuje iz šupljina usled dejstva centrifugalnih sila. Sa porastom veličine šupljina, povećava se i ventilaciono dejstvo poroznih tocila, pri čemu se vazduh ili sredstvo za hlađenje nakupljeno u šupljinama, snažno izbacuje na predmet. S obzirom na to da je specifična težina poroznih tocila manja u odnosu na puna, porozna tocila se odlikuju velikom čvrstoćom. U upotrebi su tocila čija je poroznost do 70% (otvorena tocila). Struktura tocila označava se brojevima od 1 do 15. Manji brojevi (2, 3 i 4) predstavljaju manju zapreminu šupljina tj. označavaju zatvoreniju (gušću) strukturu dok veći brojevi označavaju veću zapreminu šupljina.



Sl. 3.96. Struktura tocila
1-abrazivne čestice, 2-vezivni materijal, 3-šupljina

Označavanje tocila (Oznaka tocila načinjana je od niza brojeva i slova.)

Npr. tocilo oznake **F1 400x40x127 A60K6V** znači:

F1 - formu tocila (specifična oznaka proizvođača)

400x40x127 - dimenzije tocila (prečnik x debljina x prečnik otvora)

A – materijal abrazivnih čestica (normalni elektrokorund)

60 – veličina abrazivnih čestica

K – tvrdoća tocila

6 – struktura tocila

V – vrsta vezivnog sredstva (keramičko vezivo).

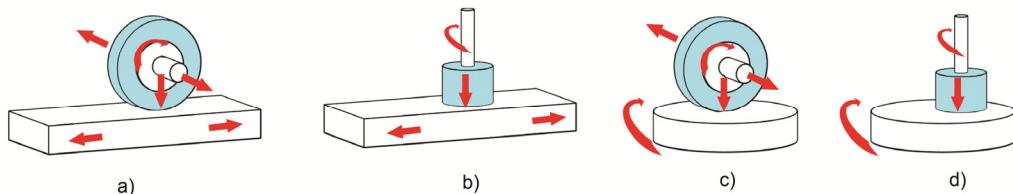
3.8.3. Mašine za obradu brušenjem

U zavisnosti od oblika i položaja obratka tokom brušenja, mašine ua brušenje se dele:

- a) Brusilice za ravno brušenje,
- b) Brusilice za kružno brušenje (spoljašnje ili unutrašnje),
- c) Specijalne brusilice (za oštrenje alata, za zavojnice, zupčanike i dr.)

a) Brusilice za ravno brušenje

Brusilice za ravno brušenje konstruisane su za rad sa kolutastim i lončastim tocilima. U zavisnosti od kinematičke kretanja obratka (vrste stola), brusilice za ravno brušenje mogu se podeliti na brusilice za obimno ravno brušenje na uzdužnom (sl. 3.97a) ili okretnom stolu (sl. 3.97b) i brusilice za čeono ravno brušenje na uzdužnom (sl. 3.97c) ili okretnom stolu (sl. 3.97d).



Sl. 3.97. Vrste ravnog brušenja

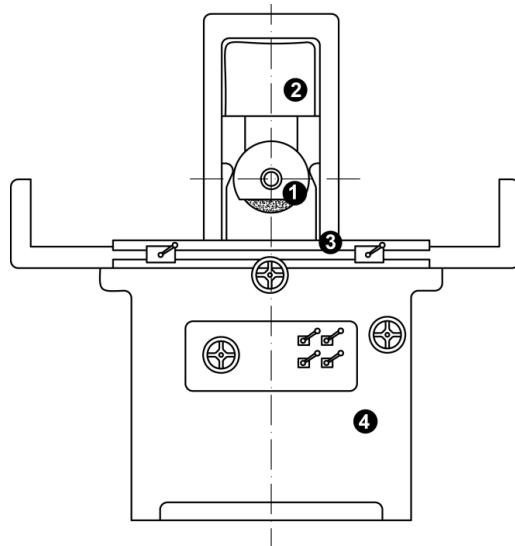
a-obimno ravno brušenje na uzdužnom stolu, b-čeono ravno brušenje na uzdužnom stolu, c-obimno ravno brušenje na okretnom stolu, d-čeono ravno brušenje na okretnom stolu

Dubina obrade, kod svih brusilica za ravno brušenje reguliše se ručnim ili automatskim pomakom glavnog radnog vretena. Pomoćno kretanje vrši uzdužni sto („amo-tamo“) ili rotirajući okrugli sto. Uzdužni sto ima mogućnost regulacije brzine i dužine hoda, dok rotirajući okrugli sto poseduje regulaciju brzine okretanja.

Obimno ravno brušenje ima manji učinak u odnosu na čeono ravno brušenje jer je manja dodirna površine između tocila i obratka. Obimnim ravnim brušenjem moguće je postići veću tačnost obrađene površine u odnosu na čeono. Tačnost brušenih površina kod obimnih brušenja na manjim brusilicama je između 2–3 μm , a kod većih brusilica između 5–8 μm .

Obimne brusilice sa uzdužnim stolom sa hodom „amo-tamo“ se najčešće koristi u industriji. Standardna, ručno upravljana brusilica ima ručni i automatski pomak, a

proizvode se u različitim veličinama, zavisno od veličine obrađivanih predmeta. Na slici 3.98 prikazana je šema brusilice za obimno ravno brušenje s uzdužnim stolom. Kod ovih vrsta brusilica obradak se kreće napred –nazad ispod brusne ploče (poz. 1). Brusna ploča, koja je postavljena na horizontalnom vratilu, obrađuje obradak svojim obodnim delom. Radni sto (poz. 3) nalazi se na kućištu (poz. 4), koje ima mogućnost poprečnog kretanje. Visina glavnog radnog vretena može se podešiti u smeru upravom na radni sto i time se određuje dubinu rezanja odnosno brušenja (poz. 2).

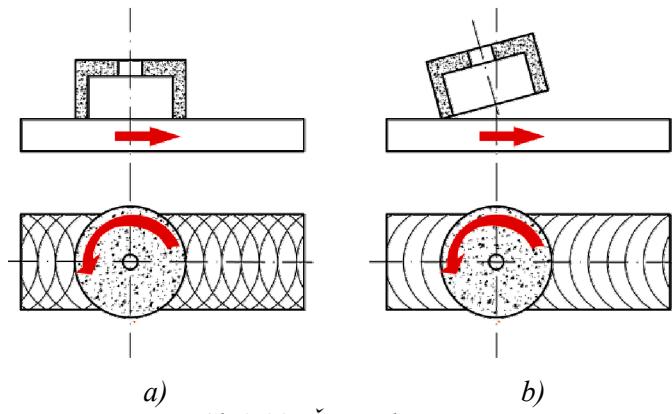


*Sl. 3.98. Brusilica za obimno ravno brušenje s uzdužnim stolom
1-tocilo, 2-nosač tocila, 3-radni sto, 4-postolje*

Obimne brusilice sa okretnim stolom imaju takođe horizontalno vratilo s brusnom pločom, koje svojim obodnim delom brusi obradak. Obradak je pričvršćen ispod brusne ploče na rotirajući sto, koji se okreće 360 stepeni. Brusilice s rotirajućim stolom se koriste za fino brušenje različitih predmeta.

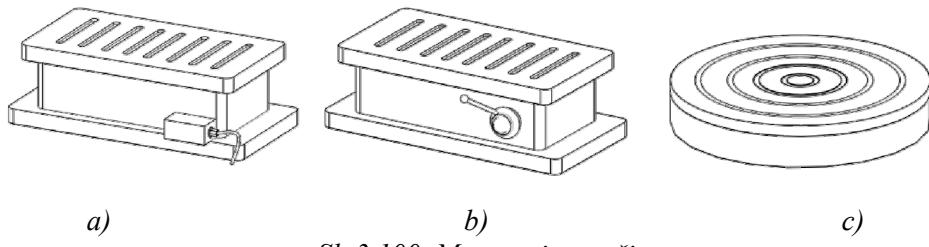
Čeono brušenje ima veliki učinak brušenja, pri čemu nije potrebna prethodna predobrada površine (glodanjem, struganjem...). Problem kod ovakvog načina brušenja je odvođenje strugotine i povećano zagrevanje. Čeono ravno brušenje se može izvoditi sa upravnim vratilom (sl. 3.99a) i sa brusnim vratilom nagnutim za nekoliko stepeni (b). U prvom slučaju dobijaju se paralelni unakrsni tragovi brušenja, a u drugom slučaju polukružni konkavni tragovi brušenja. Prvi postupak se koristi u pri gruboj obradi, dok se drugi koristi za finija brušenja⁵⁵.

⁵⁵ Grubim brušenjem se ostvaruje kvalitet obradene površine N8-N10, normalnim, N6-N7 a finim N5.



Sl. 3.99. Čeono brušenje
a-upravno vratilo, b-nagnuto vratilo

Pozicioniranje obratka pri obradi brušenjem se najčešće izvodi primenom magnetnih stezača (sl. 3.100). Magnetni stezač drži obradak magnetnim silama. Samo feromagnetični materijali kao što su gvožđe i čelik mogu se direktno pričvrstiti na ovakav stezač. Kod ravnog brušenja koriste se dve vrste magnetnih stezača: s permanentnim magnetom i elektromagnetom.



Sl. 3.100. Magnetni stezači
a-elektromagneti, b-magneti (permanentni), c-okretni elektromagneti

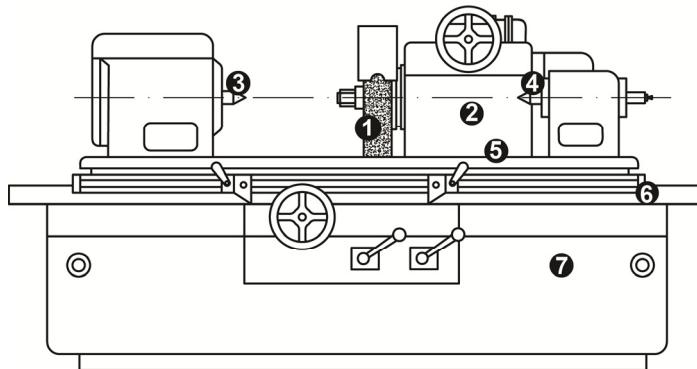
Kod stezača s permanentnim magnetom obradak se postavlja na gornju površinu stezača, te se pomakom poluge aktivira permanentni magnet. Elektromagneti mogu raditi na 110 ili 220 V. Elektromagneti stezači imaju dve prednosti. Prvo, stezna sila se može menjati. Mala struja se koristi kod malih delova, velika struja za velike delove. Druga prednost je postojanje sklopke za demagnetiziranje stezača, koja momentalno preokreće smer struje i neutralizuje zaostali magnetizam u stezaču i obratku.

Pored magnetnih stezača kod ravnog brušenja moguće je koristiti i praktično sve stezače koji se primenjuju kod obrade materijala glodanjem.

b) Brusilice za kružno brušenje

Spoljašnje kružno brušenje je postupak brušenja spoljnih cilindričnih, koničnih, profilnih ili navojnih površina. Ovim postupkom mogu se obrađivati tanke osovine do debelih valjaka prečnika većih od 1 metra. Cilindrične i konične površine veće dužine obrađuju se pri uzdužnom pomoćnom kretanju radnog stola sa obratkom, a površine manje dužine pri poprečnom pomoćnom kretanju tocila (poprečno brušenje). U svim slučajevima tocilo izvodi glavno obrtno kretanje i poprečno pomoćno kretanje, a obradak pomoćno obrtno i/ili aksijalno kretanja. Brzina rotacije tocila je daleko veća od brzine rotacije obratka. Operacije cilindričnog brušenja slične su operacijama struganja. Brusilice za kružno brušenje zamenjuju strugove pri obradi predmeta velikih tvrdoća ili kada se traži velika preciznost i vrhunski kvalitet obrađene površine.

Na slici 3.101. prikazana je skica brusilice namenjene spoljašnjem brušenju cilindričnih površina, obratka pozicioniranog između šiljaka. Tocilo (poz. 1) se nalazi na glavnom radnom vretenu, koje se može poprečno pomerati u odnosu na osu obratka. Obradak se smešta između pogonskog šiljka (poz. 3) i šiljka za pridržavanje (poz. 4). Nosači šiljaka postavljeni su na radnom stolu (poz. 5), koji po kliznim stazama (poz. 6) postavljenim na postolje mašine (poz. 7) izvodi uzdužno pomoćno pravolinjsko kretanje. Radni sto može se zakretati u horizontalnoj ravni čime se omogućava brušenje konusa. Postavljanjem dodatnog uređaja za unutrašnje brušenje, dobija se karakter univerzalne brusilice.

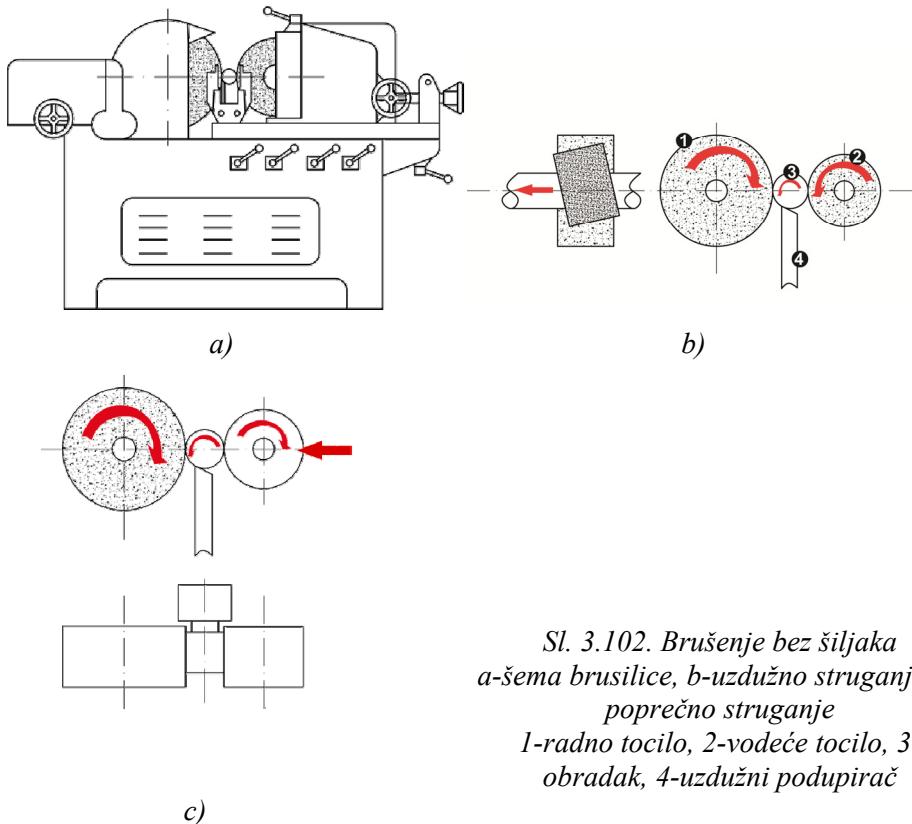


Sl. 3.101. Brusilica za uzdužno spoljno kružno brušenje

1-tocilo, 2-nosač glavnog radnog vretena, 3-pogonski šiljak, 4-šiljak za pridržavanje, 5-radni sto, 6-uzdužne klizne staze, 7-postolje

Brušenje spoljašnjih cilindričnih površina i veće dužine obično se izvodi na brusilicama za brušenje bez šiljaka. To je posebna metoda spoljnog kružnog brušenja kod koje se obradak ne steže između šiljaka i nisu potrebne rupe za centriranje na poprečnim površinama obratka. Šematski prikaz brušenja bez šiljaka prikazan je na

slici 3.102. Brusilica ima glavno radno (poz. 1) i vodeće tocilo (poz. 2). Kod ovog načina brušenja obradak (poz. 3) se postavlja između radnog i vodećeg tocila. Radno tocilo, pritiska obradak na uzdužni podupirač (poz. 4) i vodeće tocilo.

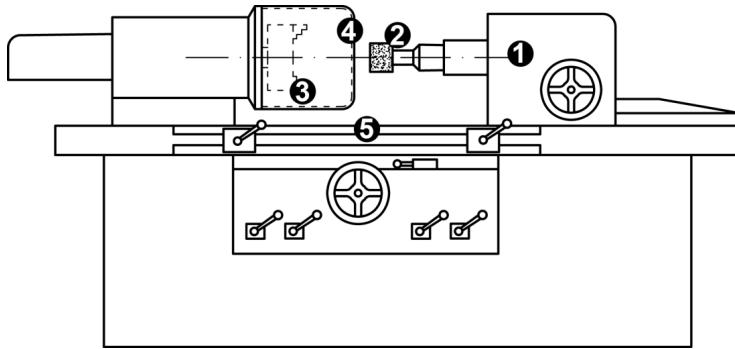


*Sl. 3.102. Brušenje bez šiljaka
a-šema brusilice, b-uzdužno struganje, c-
poprečno struganje
1-radno tocilo, 2-vodeće tocilo, 3-
obradak, 4-uzdužni podupirač*

Kod obrade predmeta većih dužina vodeće tocilo je zakošeno u odnosu na osu obratka i osu radnog tocila (sl. 3.102b). Na taj način se omogućava primudno aksijalno pomeranje obratka. Vodeće tocilo je brusna ploča sastavljena iz brusnih čestica međusobno povezanih gumenim vezivnim sredstvom.

U slučaju poprečnog brušenja (primjenjuje se kod obradaka čija je dužina obađivane površine manja od debljine tocila), ose radnog tocila i vodećeg točka su paralelne, a pri brušenju se vodeći točak primiče ka radnom tocilu (sl. 3.102c).

Unutrašnje kružno brušenje (sl. 3.103), se koristi za finu obradu unutrašnjih ravnih ili profilnih površina i navoja. Unutrašnje brušenje može se izvoditi sa uzdužnim pomoćnim kretanjem obratka (uzdužno brušenje) ili sa poprečnim pomoćnim kretanjem tocila (poprečno brušenje). Tocilo (poz. 2) ima mali prečnik i veliki broj obrtaja kako bi se postigla odgovarajuća brzina rezanja. Obradak se pozicionira u odgovarajući stezni pribor (stezna glava, stezna čaura, poz.3), dok se tocilo nalazi na glavnom radnom vretenu (poz. 1).



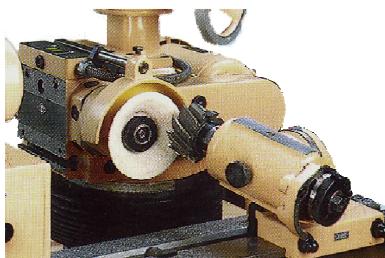
Sl. 3.103. Brusilica za unutrašnje brušenje
1-nosač glavnog vretena, 2-tocilo, 3-stezna glava, 4-zaštitna obloga, 5-radni sto

c) Specijalne brusilice

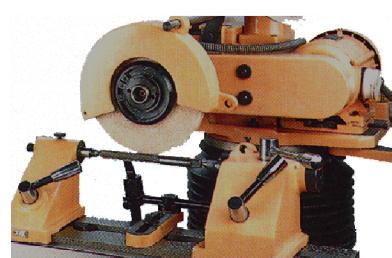
Specijalne brusilice su brusilice koje su namenjene za specijalne operacije i zahvate. U ovu vrstu brusilica spadaju:

- brusilice za brušenje alata,
- brusilice za izradu navoja itd.

Brusilice za brušenje alata konstruktivno su prilagođene brušenju glodala, razvrtača, nareznica, ureznica i drugih alata. Na slici 3.104 prikazana je brusilica za oštrenje alata izvedena u vidu stone brusilice. Ove brusilice su snabdevene različitim priborima koji omogućava postavljanje pojedinih tipova reznih alata u odgovarajući položaj u odnosu na tocilo kako bi se postigla odgovarajuća geometrija reznog dela alata pri oštrenju.



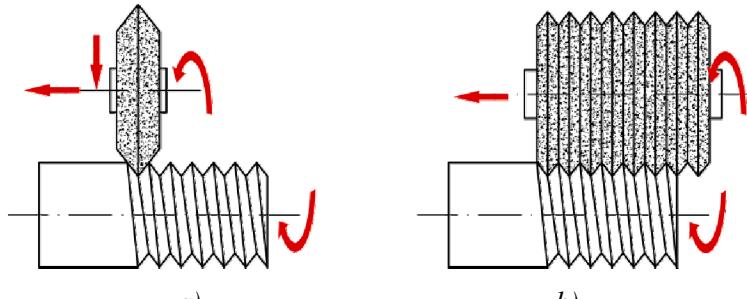
a)



b)

Sl. 3.104. Univerzalna brusilica za oštrenje reznih alata
a-oštrenje glodala, b-oštrenje razvrtača

Brusilice za navoje slične su brusilicama za kružno brušenje. Kako bi se postigla odgovarajuća tačnost izrade navoja (odgovarajući korak i nagib navoja) brusilice za navoje moraju imati vrlo precizna navojna vretena kao i uređaj za oštrenje i oblikovanje brusne ploče. Brušenje navoja moguće je izvesti primenom jednoprofilnih ili višeprofilnih tocila (sl. 3.105.).



Sl. 3.105. Izrada navoja na brusilici
a-jednoprofilno tocilo, b-višeprofilno tocilo

3.8.4. Obrada glačanjem

Obrada glačanjem deli se na:

- poliranje,
- lepovanje,
- honovanje i
- super-finiš.

Poliranje je najjednostavnija obrada glačanjem kojom se postižu sjajne površine, dok hrapavost površine i tačnost dimenzija zavisi od prethodne obrade. Poliranje se vrši obrtnim diskovima koji su napravljeni od filca, kože, dlake ili svile. Diskovi se obično postavljaju na vretno brusilice za ručno oštrenje alata, tako da se diskovi obrću velikim brojem obrtaja. Obradak ili disk se premaže pastom za poliranje u kojoj se nalaze najfinija brusna zrna. Ručnim pritiskanjem i pomeranjem obratka po disku ostvaruje se glačanje površine. Poliranje se najčešće primenjuje u pripremi delova za galvansku zaštitu od korozije.

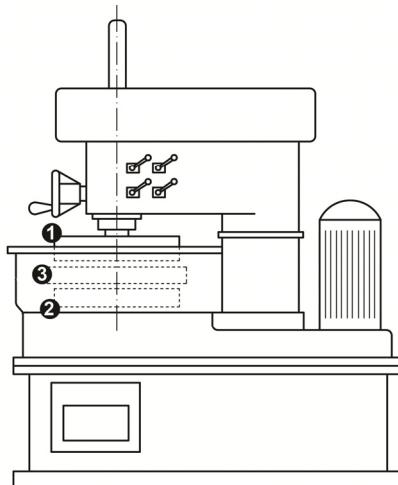
Lepovanje je vrlo fin, abrazivni postupak obrade, koji se sprovodi uz prisustvo slobodnih abrazivnih čestica. Postupak karakterišu male brzine i sile (niski pritisci) rezanja. Lepovanje je postupak koji se svrstava u najfiniju obradu skidanjem strugotine, a ima zadatak da postigne:

- ekstremnu dimenzionalnu tačnost površina (ravne ili valjkaste),
- veliku paralelnost dvostruko lepovanih površina,

- visok kvalitet lepovane površine,
- odstranjivanje oštećenih površina i slojeva ispod površine, koji degradiraju električna ili optička svojstva obratka.

Obrada lepovanjem se deli na grubu, prethodnu, finu i najfiniju. Grubom obradom postiže se kvalitet obrađene površine N5-N6, prethodnom N3-N4, finom N2 i najfinijom N1. Lepovanje se najčešće izvodi s pločom ili valjkom za lepovanje na kojoj se nalazi pasta za lepovanje. Paste za lepovanje su mešavine finih abrazivnih zrna i topljivih ulja, mineralnih ulja ili masti. Kod lepovanja obradci se nevode prisilno. Naime, tokom ove obrade obratci klize po ploči za lepovanje (na kojoj se nalazi sredstvo za lepovanje) stalno nasumično menjajući smjer kretanja.

Na slici 3.106 prikazana je mašina za lepovanje. Mašina se sastoji od gornjeg diska (poz. 1) i donjeg diska (poz. 2) između kojih se nalazi kavez sa otvorima u koje se postavljaju obradci (poz. 3). Diskovi su premazani abrazivnom pastom, a obrću se u suprotnim smerovima različitim obimnim brzinama. Tokom ove obrade gornji disk pritiska predmete. Obrtanjem diskova obrću se i predmeti, čime se ostvaruje ravnometerno glaćanje po celoj površini.

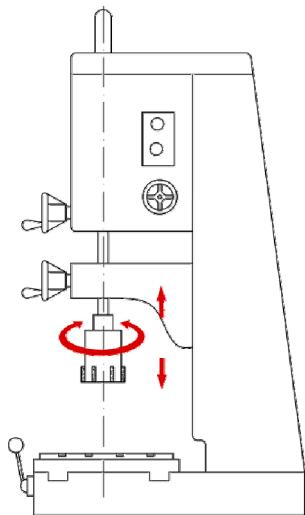


*Sl. 3.106. Mašina za lepovanje
1-gornji obrtni disk, 2-donji obrtni disk, 3-obradak*

Honovanje se najčešće koristi za glaćanje unutrašnjih površina kao što su cilindri motora i hidraulika, puščane i topovske cevi i sl. Honovanje (sl. 3.107) se vrši na specijalnim mašinama za honovanje (honing-mašinama). Obrada honovanjem može biti normalno, fino i najfinije. Normalnim honovanjem postiže se kvalitet obrađene površine N3-N4, finim N2 a najfinijim N1. Glavni uticaj na kvalitet obrađene površine ima:

- finoća zrna kamena (220 - 320),

- vrsta ulja za honovanje,
- pritisak kamena na zidove cilindra (30 - 120 kPa) i
- odnos obimne i aksijalne brzine alata (3-8 puta).



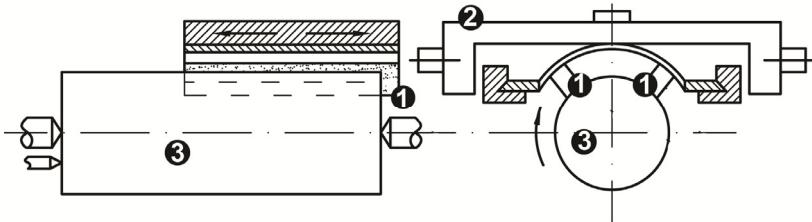
Sl. 3.107. Mašina za honovanje

Alat za honovanje je izrađen u obliku cilindričnog tela (sl. 3.108a) sa umetnutim elementima (brusnim letvicama) načinjenim od mase sredstva za brušenje velike finoće, povezanog vezivnim sredstvom (sl. 3.108b). Alat se obrće relativno malom brzinom (200-300 o/min), uz istovremeno translatorno kretanje (gore-dole). Alat je konstruisan tako da omogućava ravnomeran pritisak segmenata o zidove obratka. U procesu honovanja dovodi se velika količina retkog ulja ili petroleja, koji podmazuje, hlađi i inspira istrošena abrazivna zrnca. Mašine za honovanje prema položaju glavnog vretena mogu biti vertikalne (za honovanje cilindara motora) i horizontalne (za honovanje topovskih cevi).



a)
b)
Sl. 3.108. Alat za honovanje cilindra

Super - finiš postupak (slika 3.109) primenjuje se pri glaćanju rukavaca, vratila i klipova. Glaćanje se obično obavlja sa dva brusna segmenta (poz. 1) koji su smešteni u nosač (poz. 2). Segmenti izvode glavno pravolinijsko kretanje sa velikim brojem hodova (250 do 1000 hodova za minut) i pritiskuju obradak (poz. 3) koji izvodi pomoćno obrtno kretanje.



Sl. 3.109. Princip rada super-finiš mašine
1-brusni segment, 2-nosač, 3-obradak

4.

OBRADA MATERIJALA BEZ SKIDANJA STRUGOTINE

4.1. UVOD

Obrada materijala bez skidanja strugotine bazira se na dva osnovna tehnološka svojstva metala:

- sposobnost obrade metala u tečnom stanju (na povišenim temperaturama) i
- sposobnost promene oblika pod dejstvom spoljnih sila (deformabilnost na različitim temperaturama).

Prvo tehnološko svojstvo metala omogućava obradu livenjem, a drugo obradu kovanjem.

4.2. LIVENJE

Postupak livenja poznat je još od antičkog vremena. Prvenstveno livenjem je obrađivana bronza, gvožđe i mesing. U XIX veku, kroz usavršavanje opreme, razvoj i istraživanje materijala, tehnološki progres prerada livenjem dobija industrijski karakter. Danas, livenje čelika, sivog liva i aluminijuma, nalazi široku primenu u izradi predmeta složenog geometrijskog oblika.

Livenje je tehnološki proces kojim se izrađuju predmeti izlivanjem rastopljenog metala u odgovarajuće kalupe. **Kalupi** su šupljine koje po dimenzijama i obliku odgovaraju odlivku definisanim tehničkom dokumentacijom. Kalupi za livenje izrađuju se od različitih materijala i mogu biti namenjeni za samo jedno livenje (izradu jednog odlivka) ili za višekratnu upotrebu (izradu većeg broja odlivaka). Kalupi namenjeni za jedno livenje izrađuju se od kaluparskih mešavina (osnovu čini kvarcni pesak i vezivni materijal). Kalupi namenjeni višekratnoj upotrebi koriste se najviše u proizvodnji odlivaka od lakih i obojenih metala, plastičnih masa i sl., i izrađuju se od metala (tzv. kokile).¹

¹ Kalupi namenjeni višekratnoj upotrebi, u zanatskoj proizvodnji, za izlivanje umetničkih odlivaka i sl., proizvode se od gipsa, cementa...

Livenjem se izrađuju predmeti koji ne mogu da se proizvode drugim načinom prerade². Da bi se takvi predmeti izradili na drugi način (valjanjem, kovanjem, rezanjem) neophodno je uložiti ogromnu količinu energije, rada i vremena, što poskupljuje proizvodnju. Druga prednost livenja je da se livenjem omogućava izrada predmeta homogene strukture i umanjenih unutrašnjih naponi.

Kako bi se livenjem ostvario zahtevani oblik predmeta, prethodno u pećima rastopljeni metal se izliva u kalup otporan na visoke temperature. Proizvedeni predmet se naziva odlivak.

4.2.1. Karakteristike materijala za livenje

Prilikom odabira materijala za livenje mora se voditi računa o različitim zahtevima. Pored mehaničkih osobina, materijal za livenje mora da zadovolji i različita tehnološka svojstva, kao što su: topljivost i livkost.

Topljivost je svojstvo metala da brzo prelaze iz čvrstog u tečno stanje. Primer je čisto gvođe koje se odlikuje dugim vremenom "omekšavanja" (topljenja) što čini da mu je topljivost slabija nego kod čelika i sivog liva. Najpogodnije legure za topljenje su sivi liv, bronza, mesing, legure laking metala, čelici visokog sadržaja ugljenka, legure na bazi olova...

Livkost predstavlja svojstvo metala da u rastopljenom stanju poseduje dobru tečljivost. Naime, s obzirom na to da liv poseduje tečljivost samo u rastopljenom stanju, neophodno je da tečan metal, pre nego što započne svoje očvršćavanje (usled hlađenja), potpuno ispuni kalup (čak i u najtanjim delovima). Tečljivost (svojstvo suprotno viskoznosti) zavisi od temperature i sastava rastopljenog metala.

Pored navedenih svojstava, metal namenjen preradi livenjem, treba da poseduje:

- nisku temperaturu topljenja,
- malo skupljanje pri očvršćavanju i
- malu sklonost prema apsorbaciji gasova u tečnom stanju.

Temperatura topljenja je karakteristično svojstvo svakog materijala. Da bi se proces livenja odvijao što povoljnije, temperatura topljenja ne sme preći 1600°C. Niska temperatura topljenja zahteva manji utrošak energije za zagrevanje, čime je proizvodnja jeftinija. U tabeli 4.1 date su temperature topljenja pojedinih vrsta metala.

² Npr. karburatori, glava motora, zamajac, postolja alatnih mašina, cevni elementi, radijatori, slavine, ventili itd.

Tab. 4.1. Temperatura topljenja nekih metala

Metal	Temperatura (°C)
čisto gvožđe	1530
čelici	1250-1400
sivi liv	1200
bakar	1083
bronza	900-1070
mesing	900-1080
aluminijum	658
magnezijum	650
cink	420
olovo	327
kalaj	232

Metali se pri zagrevanju šire, dok se pri hlađenju skupljaju, odnosno, njihove mere se umanjuju. Tokom skupljanja, u raznim zonama odlivka se javljaju unutrašnji naponi koji mogu dovesti do loma usled prskotine. Da bi se ograničile štetne posledice skupljanja, odlivci se podvrgavaju termičkoj obradi žarenjem i temperovanjem, u svrhu smanjenja i stabilizacije unutrašnjih napona. Kod odlivaka (posebno odlivaka velikih gabaritnih dimenzija), moraju se izbegavati oštре ivice jer one prouzrokuju konstruktivno oslabljena mesta, što može dovesti do naglog prekida kontinuiteta kristalne strukture.

Orijentacione vrednosti skupljanja različitih vrsta materijala tokom hlađenja i očvršćavanja date su u tabeli 4.2.

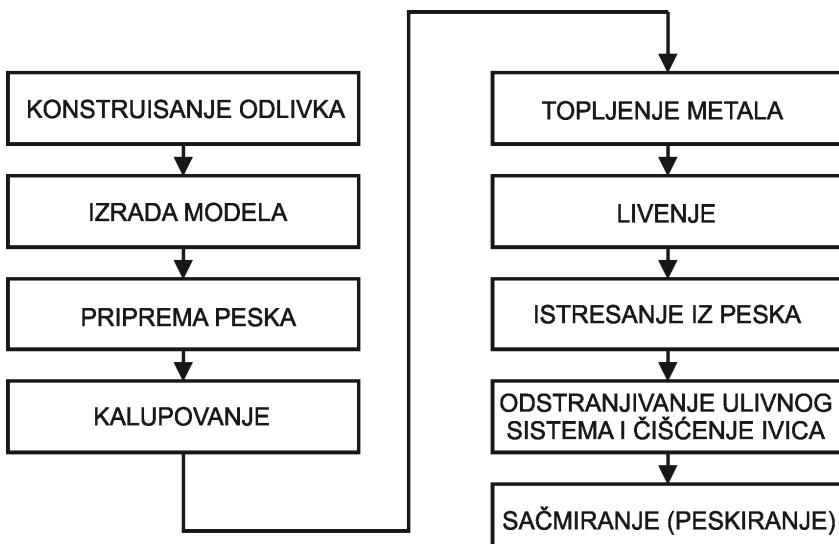
Tab. 4.2. Vrednosti skupljanja različitih vrsta materijala

Metal	Skupljanje (%)
bakar	1,80
aluminijum	1,70
čelik	1,55
mesing	1,58
bronza	1,53
beli liv	1,50
lake legure	1,45
cink	1,25
olovo	1,10
sivi liv	1,10
kalaj	0,70

Metali u tečnom stanju imaju tendenciju apsorpcije gasova sadržanih u vazduhu sa kojim dolaze u dodir. Tokom očvršćavanja liva, gasovi se oslobođaju obrazujući karakteristične gasne mehure (gasna poroznost), čije prisustvo prouzrokuje slabljenje mehaničkih karakteristika odlivka. Da bi se pojava gasne poroznosti i drugih defekata sprečila ili ograničila, u rastopljeni metal se dodaju supstance za dezoksidaciju, degazaciju i obrazovanje šljake.

4.2.2. Livenje u peščanim kalupima

Proizvodnja odlivka zahteva niz različitih operacija (sl. 4.1.) koje se odvijaju po određenom redosledu.



Sl. 4.1. Tok izrade odlivaka

a) Konstruisanje odlivka

Proizvodnja odlivaka započinje konstruisanjem odlivka. Konstruisanje predmeta koji se izrađuje livenjem, zahteva temeljno proučavanje oblika. Geometrijske karakteristike odlivka koje utiču na tehnologičnost konstrukcije i koje su bitne za tehnološke mogućnosti livenja su pre svega oblik unutrašnjih i spoljašnjih površina, veličina i ravnomernost debljine zidova, nagib bočnih površina, zaobljenja ivica i prelaza i sl³. Kao posledica hlađenja metala, nakon livenja, nastaje skupljanje

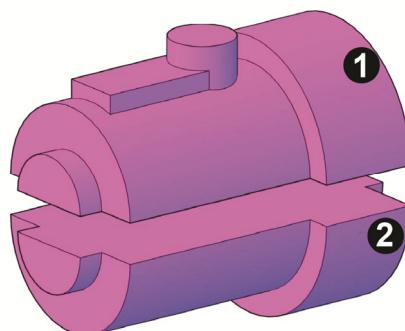
³ Tokom konstrukcije odlivka treba izbegavati konstruktivna rešenja kod kojih površine

pri čemu se najtanji delovi odlivka brže hlađe i nastaje unutrašnje naprezanje u tim zonama.

b) Izrada modela

Za izradu kalupa u koji će se ulivati rastopljeni metal koristi se model. Model se u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji izrađuje od drveta⁴, a za potrebe serijske proizvodnje od lakih legura bronze i mesinga⁵. Modeli moraju biti fino obradeni, uglačani i ofarbani kako bi im površine bile glatke. Tokom izrade modela, u obzir se moraju uzeti promene dimenzija nastale kao posledica temperaturne dilatacije. Dimenzije modela u odnosu na gotov deo, moraju biti uvećane za vrednost mehaničke obrade na mašinama alatkama.

Modeli mogu biti izrađeni kao jednodelni (celi) i višedelni. Na slici 4.2 prikazan je primer dvodelnog modela.



Sl. 4.2. Model

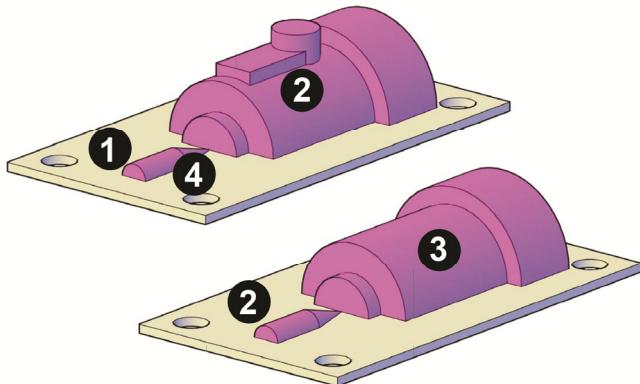
1-gornji model, 2-donji model

Modeli (sl. 4.3, poz. 2,3) se nakon izrade postavljaju na modelne ploče (poz. 1) izrađene od drveta ili metala. Na modelnim pločama se postavljaju vodice koje obezbeđuju tačno pozicioniranje (centriranje) kalupnika u odnosu na model, što je veoma važno jer se mora obezbediti precizno uklapanje gornjeg i donjeg kalupnika.

odlivka (spoljašnje i unutrašnje) imaju ispuštenja, suženja i proširenja koja mogu otežati vađenje odlivka iz kalupa.

⁴ Drvo za izradu kalupa mora da ima vlažnost ispod 10%.

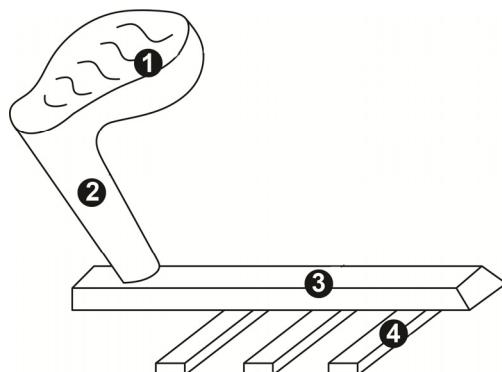
⁵ Prednost metalnih modela je to što se njihovom upotrebom izrađuju kalupi finih površina, što omogućava korišćenje manjih livačkih konusa (nagibi površina koji omogućavaju lakše vađenje odlivka iz kalupa) i manje dimenziono odstupanje odlivka (manje naknadne obrade na alatnim mašinama).



Sl. 4.3. Modelna ploča sa modelom i delovima ulivnog sistema

1-modelna ploča, 2-gornji model, 3-donji model, 4-horizontalni ulivni kanal

Pored vođica za centriranje na modelnu ploču se postavljaju delovi ulivnog sistema (sl. 4.3, poz. 4). Zadatak ulivnog sistema je obezbeđivanje brzog, ravnomernog i mirnog dovođenja rastopljenog metala u šupljinu kalupa (bez pojave vrtloženja). Na slici 4.4 prikazani su elementi ulivnog sistema, koga čine: ulivna čaša (poz. 1), ulivni levak (poz. 2), razvodni kanal (poz. 3) i ulivni kanal (poz. 4). Zadatak ulivne čaše je prihvatanje tečnog metala i mirnog sprovođenja u ulivni levak. Tokom ulivanja materijala, ulivna čaša mora svo vreme da bude puna. Naime, u slučaju prekida ulivanja metala pre ispune celokupne šupljine kalupa stvaraju se uslovi za unošenje nečistoća i gasova u šupljinu kalupa kao i uslova za nastanka tzv. hladnih spojeva u kalupu. Pored ulivnog sistema, kalupi se opremanju i tzv. oduškom koji imaju zadatak sprečavanje pojave gasnih čepova i omogućavaju punjenje celokupne zapremine tečnim metalom.



Sl. 4.4. Elementi ulivnog sistema

1-ulivna čaša, 2-ulivni levak (vertikalni alat), 3-razvodni kanal (horizontalni kanal),
4-ulivni kanal (ušće)

c) Priprema peska za kalup

Materijali za izradu kalupa i jezgra nazivaju se peščane (kaluparske) mešavine. Kaluparske mešavine sastoje se od:

- dela povratnog istresanog peska,
- dela novog peska,
- vezivnog sredstva,
- dodataka i
- vode.

Procentualni odnos komponenti, određuje vrstu peska za kalupovanje kao i mehaničke osobine mešavine. Koja će se vrsta peska za kalupovanje primeniti, zavisi od mase, gabarita i vrste odlivka.

Za kalupne mešavine najčešće se koristi kvarcni pesak, ali i druge vrste pesaka (cirkonski, hromitni i magnezitni). Kao vezivno sredstvo primenjuju se dve vrste gline: kaolinit ili bentonit, kao i vodeno staklo, cement i veštačke smole (fenolna ili furanska). Dodatni materijali, kao što su prašina kamenog i drvenog uglja, dodaju se u kaluparske mešavine kako bi se povećala propustljivost kalupa na gasove i sprečilo lepljenje peska za odlivak. Da bi se povratni istresani pesak mogao ponovo koristiti kao sirovina, neophodno je razbiti grudve i izdvojiti metalne opiljke i uključke zaostale od livenja. Za razbijanje grudvi, koristi se specijalni uređaj sa rotirajućim valjkom sa lopaticama tzv. aerator, dok se metalne čestice uklanjuju pomoću magnetnog odvajača. Nakon pripreme kaluparske mešavine sastojeći se izmešaju i ovlaže.

d) Kalupovanje

Kalupovanje predstavlja proces neposredne izrade šupljine u kaluparskoj mešavini. Kalupovanje može biti ručno ili mašinski.

Ručna izrada kalupa se primenjuje u maloserijskoj proizvodnji i u izradi komplikovanih kalupa velike mase. Kada se obavlja ručno, kalupovanje, predstavlja jednu od najnapornijih operacija u procesu livenja.

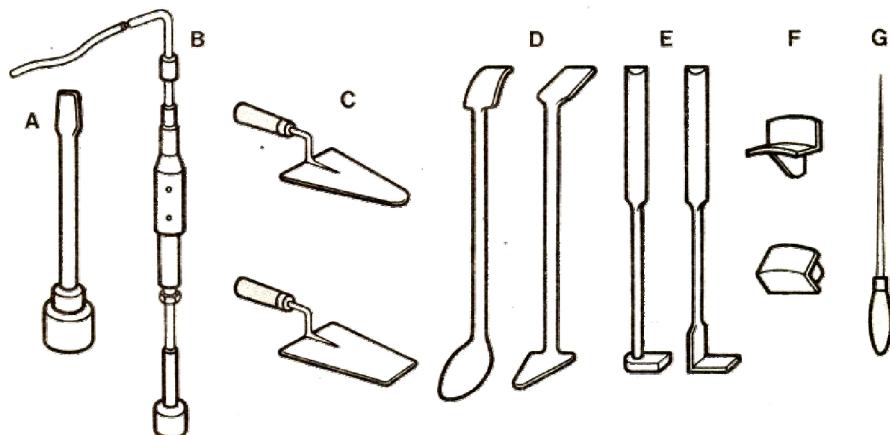
Osnovne operacije u izradi kalupa su :

- centriranje modela u kalupnicima,
- punjenje kalupnika i nabijanje peska,
- izrada ulivnog sistema i hranilice⁶,

⁶ Hranilice su delovi kalupa (odlivka) koji služe za nadoknadu smanjenja zapremine usled skupljanja. Ugrađuju se na najdeblje zidove odlivka, a liv u njima mora da ostane tečan i posle

- vađenje modela,
- popravak kalupne šupljine i obrada zaštitnim premazima⁷,
- ulaganje jezgara,
- sklapanje donjeg i gornjeg kalupnika.

Za ručnu izradu kalupa koriste sa različiti alati koji su prevashodno namenjeni za nabijanje peska oko modela i prilagođavanje kalupa pre livenja, odnosno za korekciju eventualnih grešaka ili oštećenja nastalih tokom izvlačenja modela. Na slici 4.5 prikazani su osnovni alati koji se koriste za ručnu izradu kalupa.



Sl. 4.5. Alati za ručno kalupovanje

a-ručni nabijač sa kašikom, b-pneumatski nabijač, c-mistrija, d-lanceta, e-ravnalica, f-glaćalica, g-probadač za izradu prolaza za gasove

Ručna izrada kalupa moguća je:

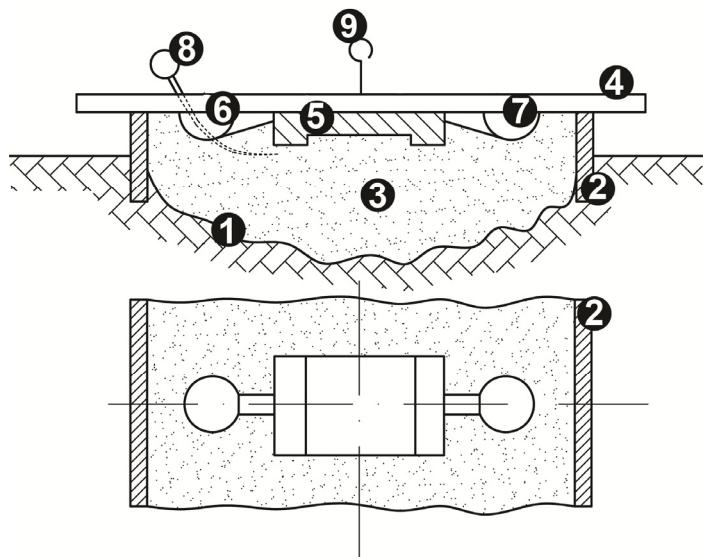
potpunog očvršćavanja odlivka, što je neophodno kako bi se omogućilo ravnomerno očvršćavanje svih delova odlivka (postiže se približno ujednačena struktura materijala bez pojave mikroporoznosti i usahlina).

⁷ Obrada zaštitnim premazima vrši se sa ciljem sprečavanja direktnog kontakta kvarcnog peska sa rastopljenim metalom. Naime, usled njihovog kontakta dolazi do pojave stopljenog i zapečenog kvarca na površini odlivka. Za zaštitu površine kalupa koriste se vatrostalni premazi. Vatrostalni premazi izrađuju se od mešavine grafita, kvarcnog brašna, cirkonskog brašna ili feriokksida sa vezivnim materijalom (najčešće dekstrin ili bentonit, ređe prirodna ili veštačka smola). Kao rastvarač za premaz koristi se voda ili alkohol. Vatrostalni premazi ne smeju da sadrže materije koje se tope ili omekšavaju u kontaktu sa tečnim metalom. Vatrostalne materije ne smeju da se sjedinjuju sa rastopljenim metalom ili da se međusobno raslojavaju. Vatrostalni materijali moraju lako da se nanose na površinu kalupa i da dobro prijanjaju na nju.

- u podu livnice,
- u kalupnicima i
- pomoću šablonu (šestarenjem).

U podu livnice izrađuju se dve vrste kalupa: otvoreni i zatvoreni.

- Otvoreni kalupi (slika 4.6) koriste se za tanke odlivke (poklopci šahtova i sl.) kod kojih jedna strana odlivka može biti neravna. Kalup se izrađuje tako što se na predviđenim mestima u podu livnice iskopa plitka rupa (poz. 1) dubine do 20 cm, dok se sa strane postave dve daske (poz. 2). U rupu se naspe i sabije kaluparska mešavina (poz. 3) do visine dasaka, a zatim se pritiskom u kaluparsku mešavinu utisne model (poz. 5). Posle utiskivanja model se vadi pomoću kuke (poz. 9), prave se ulivak (poz. 6) i odušak (poz. 7) a zatim se šilom (poz. 8) izbuše rupe za izlaz gasova.

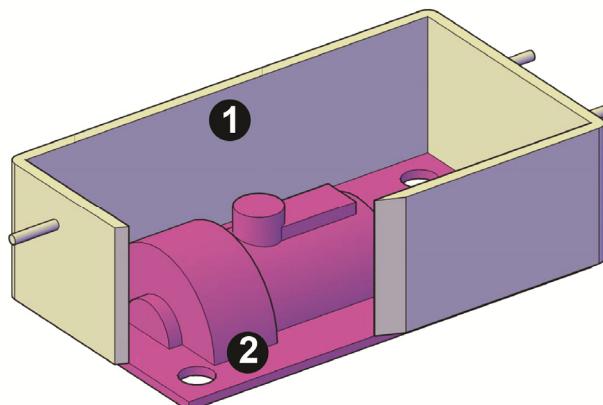


Sl. 4.6. Otvoreni kalup u podu livnice

1-rupa u podu livnice, 2-bočne daske, 3-kaluparska mešavina, 4-modelna ploča, 5-model, 6-ulivak, 7-odušak, 8-šilo, 9-kuka

- Zatvoreni kalupi se izrađuju na sličan način kao i otvoreni, s tom razlikom što se kopa dublja rupa, na dno rupe nasipa se sloj koksa za izlaz gasova i kalup se zatvara gornjim delom u kome je pesak sabijen u kalupniku. U zatvorenim kalupima liju se delovi velikih dimenzija (kućišta mašina) na kojima sve površine moraju biti ravne.

Peščani kalupi najčešće se izrađuju u specijalnim metalnim kutijama, *kalupnicima*, čiji je zadatak da zadrži pesak oko modela. Kalupnici su metalne kutije bez dna i poklopca (sl. 4.7). Kalupnici se koriste u parovima, a nekada i tri ili više kalupnika.

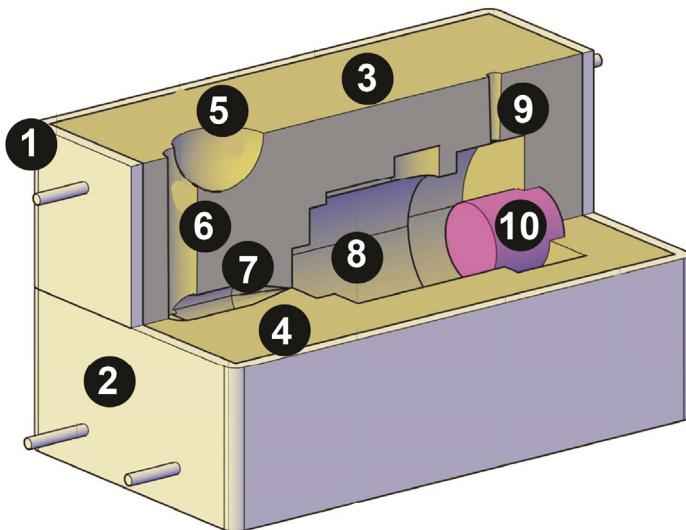


*Sl. 4.7. Priprema kalupnika za kalupovanje
1-kalupnik, 2-modelna ploča sa modelom*

U kalupnicima se izrada kalupa obavlja u četiri faze:

- Donji kalupnik se postavi na sto za kalupovanje, a zatim se u sredinu stavlja donji deo modela, sipa se i sabija kaluparska mešavina i potom se izbuše rupe za izlaz gasova.
- Donji deo kalupa se okreće se za 180° , na njega se postavi gornji deo modela u kome su smešteni modeli za ulivak i odušak i gornji kalupnik, sipa se i sabije kaluparska mešavina i izbuše rupe za izlaz gasova.
- Gornji deo kalupa se skine sa donjeg dela kalupa. Pomoću kuka se izvadi jedna, a zatim druga polovina modela. Posle vađenja modela izduva se odronjeni pesak i kalup se osuši.
- Osušene šupljine kalupa i jezgro premažu se rastvorom grafita ili drvenog uglja u vodi, postavi se jezgro, gornji deo kalupa stavi se na donji i kalupnice se stegnu vijcima ili se na gornji deo kalupa postave tegovi.

Na slici 4.8 prikazan je presek kalupa koji čine donji kalupnik (poz. 2) i gornji kalupnik (poz. 1). U gornjem kalupniku izrađen je ulivni sistem (poz. 5, 6, 7) i odušak (poz. 9). Šupljine u gornjem i donjem kalupu čine šupljinu odlivka. Za izradu šupljina u odlivku koriste se prethodno formirana jezgra (poz. 10).



Sl.4.8. Izrada kalupa u kalupnicima

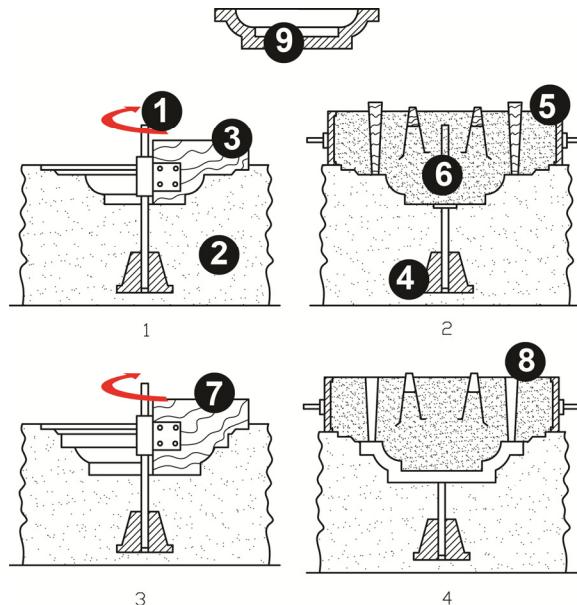
1-gornji kalupnik, 2-donji kalupnik, 3-gornji kalup, 4-donji kalup, 5-ulivna šolja, 6-vertikalni sprovodni kanal, 7-horizontalni sprovodni kanal, 8-šupljina odlivka u kalupu, 9-odušak, 10-jezgro

Izrada kalupa pomoću šablonu vrši se najčešće u podu livnice. Ovim postupkom šupljine u kalupu izrađuju se pomoću šablonu (ne koristi se prethodno izrađeni model). Šablon je daska ili ploča lima na kojoj su urezani donji i gornji profili odlivka. Šablon se postavlja na stativ (stub) oko koga se može okretati (šestariti). Šablonima se prave kalupi za izradu rotacionih odlivaka (točkova, zamajaca, remenica).

Izrada kalupa (slika 4.9) odvija se u četiri faze:

- Izrada negativa (sl. 4.9_1): u iskopanu rupu se postavlja stativ (poz. 1), naspe, sabije i nivoiše pesak (poz. 2); na stativ se stavi šablon (poz. 3) koji ima profil gornjeg dela odlivka (poz. 9) i okreće se dok se u pesku ne formira udubljenje koje odgovara obliku šablonu; potom se šablon skine i izvadi stativ.
- Izrada gornjeg dela kalupa (sl. 4.9_2): rupa oslonca stativa (poz. 4) se zatvori, na udubljenje u pesku postavi se „masni“ papir, a na ravnu površinu peska stavi se kalupnik (poz. 5) u koji se do vrha sabije kaluparska mešavina (poz. 6), potom se kalupnik sa kaluparskom mešavinom (gornji deo kalupa) podigne i ukloni sa negativom.

- Izrada donjeg dela kalupa (sl. 4.9_3): ponovo se stavi stativ (poz. 1), na njega se postavi šablon na kome je urezan profil donjeg dela odlivka (poz. 7) i okreće dok se ne formira donji oblik odlivka.
- Sklapanje kalupa (sl. 4.9_4): gornji deo kalupa (poz. 8) postavi se na pređašnje mesto koje je određeno klinovima i na njega se postave tegovi.



Sl.4.9. Izrada kalupa pomoću šablonu

1-stativ, 2-pesak, 3-šablon gornjeg dela odlivka, 4-oslonac stativa, 5-kalupnik, 6-kaluparska mešavina, 7-šablon donjeg dela odlivka, 8-gornji deo kalupa, 9-odlivak

Mašinska izrada kalupa se primenjuje u serijskoj proizvodnji kada se želi postići smanjenje vremena i troškova izrade, uz istovremeno dobijanje odlivaka suženih tolerancija izrade i boljih mehaničkih osobina. Mašinskim kalupovanjem postižu se viši pritisci sabijanja kaluparske mešavine, čime se smanjuje mogućnost nastanka grešaka usled dejstva metalostatičkog pritiska i potiska⁸. Kod mašinske

⁸ **Metalostatički pritisak** je sila koja jednako deluje na sve strane kalupa i teži da probije dno i bočne zidove kalupa ili da podigne gornji deo kalupa. **Metalostatički potisak** je sila koja deluje prema naviše (na gore). Pritisak teži da potkopa i razori bočne površine kalupa, deformiše i podigne jezgro kao i gornji deo kalupa. Greške koje nastaju delovanjem metalostatičkog pritiska i potiska, sprečavaju se dobrim sabijanjem kaluparske mešavine, armiranjem jezgra i stavljanjem tegova na gornji deo kalupa.

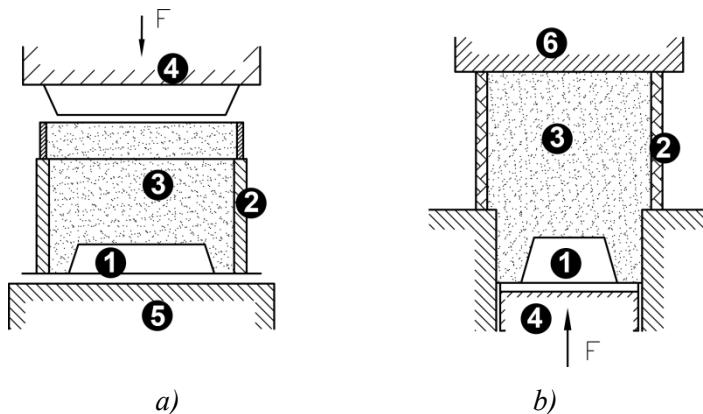
izrade kalupa, modeli se izrađuju od metala ili plastike i pričvršćeni su na modelnu ploču.

Mašine za izradu kalupa međusobno se razlikuju prema načinu sabijanja peska i načinu vađenja modela (modelne ploče).

Prema načinu kalupovanja, mašine mogu biti sa:

- presovanjem,
- treskanjem,
- nabacivanjem i
- kombinovane mašine (treskanjem + presovanjem ili vibriranjem + presovanjem).

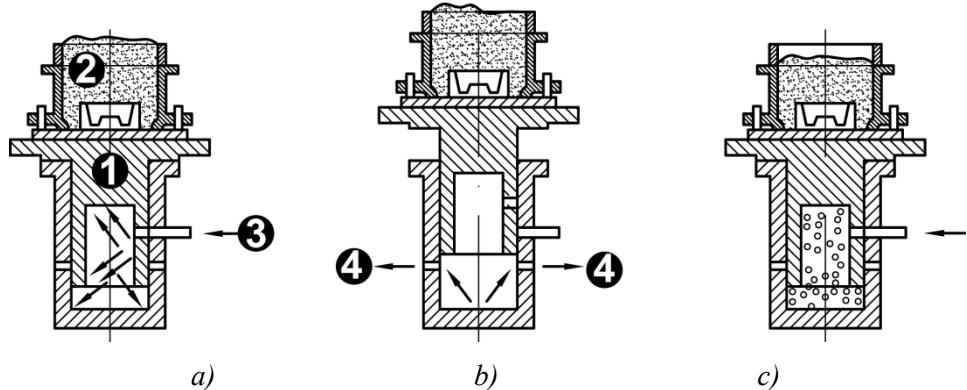
Mašine za presovanje su mašine koje rade sa pritiskom sabijanja od 2÷8 bara i koje se koriste za kalupovanje manjih kalupa. Sabijenost peska je najveća na gornjoj pritisnoj površini i na površini modela dok je na sredini modela nešto manja. Mašine za sabijanje peska presovanjem su hidraulične a presovanje peska se može obaviti odozgo, odozdo ili sa obe strane. Na slici 4.10 prikazana je principijelna šema rada mašine za kalupovanje presovanjem od gore (a) i od dole (b).



Sl. 4.10. Princip rada mašine za kalupovanje presovanjem
a-presovanje odozgo, b-presovanje odozdo

1-modelna ploča sa modelom, 2-kalupnik, 3-kaluparska mešavina, 4-klip potisnog cilindra, 5-radni sto, 6-podupirač

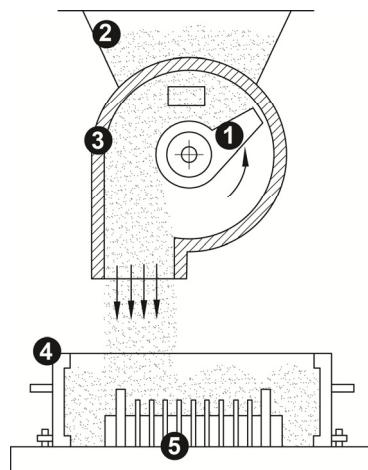
Mašine sa treskanjem su mašine kod kojih vertikalno pomerljivi radni sto (sl. 4.11a, poz. 1) sa kalupnikom (poz. 2) se podiže uz pomoć (uduvavanjem) komprimovanog vazduha (poz. 3) na visinu 25÷100 mm. Otvaranjem povratnog ventila za vazduh (sl. 4.11b, poz. 4), radni sto se naglo spušta pri čemu se kaluparska mešavina usled udara sabija (sl. 4.12c). Broj hodova (udara) je $150\text{-}300 \text{ min}^{-1}$.



Sl. 4.11. Princip mašine za kalupovanje treskanjem

1-vertikalno pomerljivi radni sto, 2-kalupnik, 3-uduvavanje komprimovanog vazduha, 4-povratni ventil za vazduh

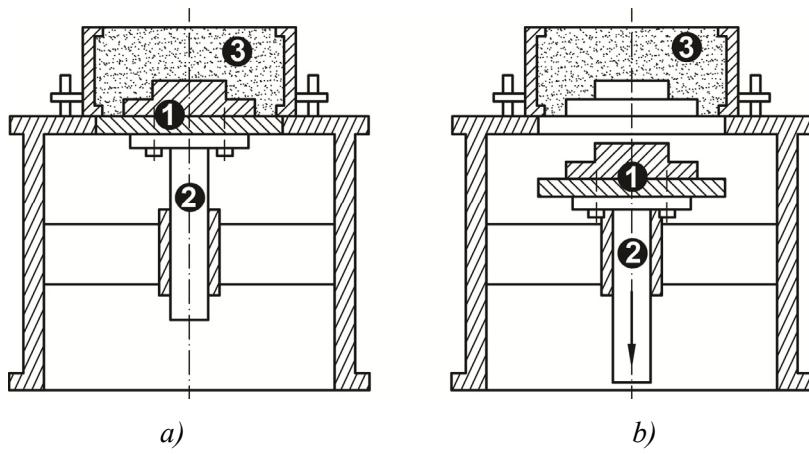
Mašina za nabacivanje peska (peskomati) ubacuju kaluparsku mešavinu u kalupnik pomoću brzo rotirajuće lopatice (sl. 4.12, poz. 1). Kaluparska mešavina se iz koša (poz. 2) uvodi u glavu peskomata (poz. 3) gde ja zahvataju brzo rotirajuće lopatice. Glava peskomata je pomerljiva iznad kalupnika (poz. 4), izbacuje kaluparsku mešavinu velikom brzinom na model (poz. 5) i tako se vrši istovremeno i punjenje i nabijanje peska.



Sl. 4.12. Izrada kalupa nabacivanjem peska

1-rotirajuća lopatica, 2-koš sa kaluparskom mešavinom, 3-glava peskomata, 4-kalupnik, 5-modelna ploča sa modelom

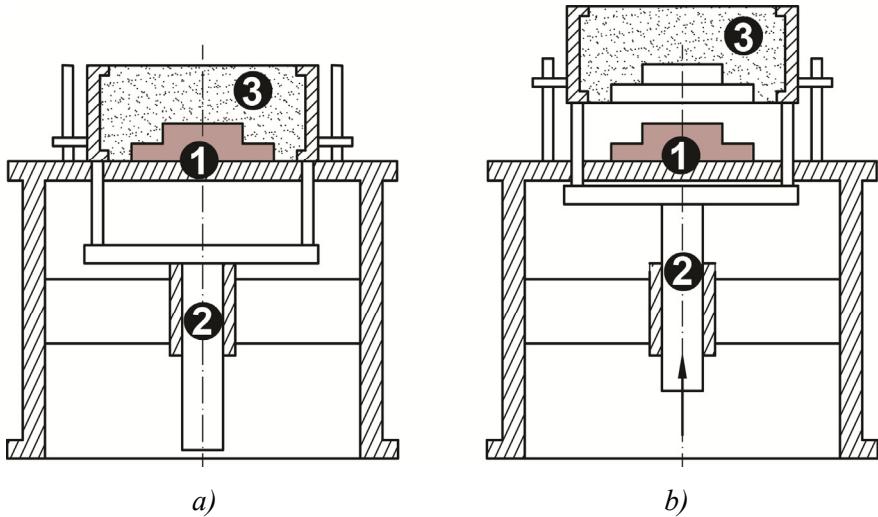
Vađenje modela ili modelne ploče na mašinama za izradu kalupa moguće je na tri načina: spuštanjem modelne ploče (slika 4.13), podizanjem kalupnika (slika 4.14) i okretanjem modelne ploče i kalupnika za 180° , a potom spuštanjem kalupnika.



Sl. 4.13. Vađenje modelne ploče spuštanjem

a-položaj modelne ploče u fazi kalupovanja, b-položaj modelne ploče nakon vađenja iz kalupa

1-modelna ploča sa modelom, 2-klip, 3-kalupnik ispunjen kaluparskom mešavinom



Sl. 4.14. Vađenje modelne ploče podizanjem kalupnika

a-položaj kalupnika u fazi kalupovanja, b-položaj kalupnika nakon skidanja sa kalupnika

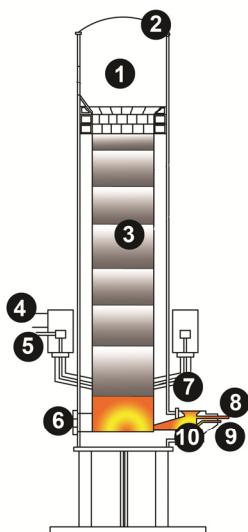
1-modelna ploča sa modelom, 2-kalupnik ispunjen kaluparskom mešavinom, 3-klip

e) Topljenje metala

Topljenje metala je postupak prevođenja iz čvrstog u tečno stanje. Tečni liv koji se uliva u kalupe priprema se u pećima za topljenje u kojima se metal zagreva na temperaturu iznad tačke topljenja. Postoji više vrsta peći namenjenih za topljenje materijala, a koja peć će se primeniti zavisi od materijala koji se topi, izvora energije koja se koristi za zagrevanje, vrste livačke proizvodnje, količine i dimenzije odlivaka, kontinuiranost proizvodnje itd.

Za topljenje sivog liva koriste se **kupolne peći**. Kupolna peć ima oblik vertikalne cevi izrađene od lima koja je sa unutrašnje strane obložena vatrostalnim materijalom. Topljenje sivog liva ostvaruje se sagorevanjem koksa⁹ koji sagoreva u direktnom dodiru sa materijalom koji se pretapa.

Na slici 4.15 prikazana je šema kupolne peći. Mešavina koksa, kreča i metala za topljenje uvodi se sa gornje strane kupolne peći (poz. 1) i gravitaciono se spušta. U dnu kupolne peći odvija se proces sagorevanja koksa potpomognuto vazduhom i kiseonikom koji se uduvavaju kroz mlaznice (poz. 4, 5, 7). Sagorevanjem koksa topi se metal i zajedno sa formiranom šljakom odliva se u sifon (poz. 10), gde se tečni metal (teža faza) gravitaciono odvaja i odvodi kroz otvor (poz. 8), a troska kao specifično lakša odvodi se kroz gornji otvor (poz. 8). U kupolnu peć se takođe uvodi izvesna količina topitelja (krečnjak), čija je namena da šljaku (trosku) koja se stvara od peska, pepela i stranih tela učini tečnom.



Sl. 4.15. Kupolna peć

1-otvor za šaržiranje, 2-poklopac, 3-šarža sa slojevima koksa, kreča i metalnih komponenti, 4-dovod vazduha, 5-uduvavanje kiseonika, 6-otvor za popravke, 7-duvnice, 8-šljaka (etroska), 9-tečni metal, 10-sifon za odvajanje šljake od tečnog metala

⁹ Koks je veštačko čvrsto visokokalorično gorivo. Koks se dobija od ostataka određene vrste bitumenskog uglja (kameni ugalj- lignit) koji se dobija postepenim zagrevanjem na visokim temperaturama, bez kontakta sa vazduhom. Zagrevanje se vrši do momenta sagorevanja i isparavanja svih nečistoća. Koks je tvrd, šupljikav i krt, raznih boja, od crne do metalno sive.

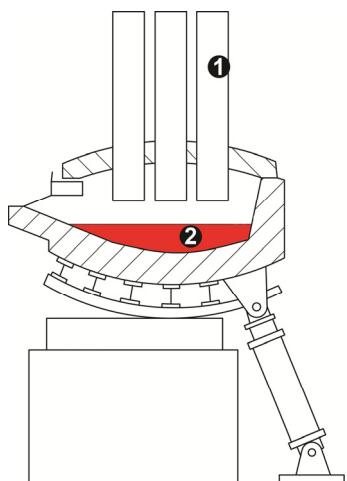
Topljenje čelika, bronce, mesinga i aluminijuma mora biti obavljeno bez prisustva vazduha (kako bi se spričila njihova oksidacija). Iz tih razloga ovi metali ne mogu da se tope u kupolnim pećima. Njihovo topljenje se izvodi u pećima u kojima se metal topi u vatrostalnim sudovima i loncima bez prisustva vazduha. Za zagrevanje ovih tzv. **lončastih peći** mogu se koristiti čvrsta (ugalj), tečna (mazut) i gasna (metan) goriva.

Za topljenje metala široku primenu imaju **elektro peći** koje pored toga što su jednostavne za korišćenje, omogućavaju raznovrsnu proizvodnju, konstantan kvalitet rastopljenog metala, više temperature topljenja i korekciju hemijskog sastava rastopa. Elektro peći mogu biti:

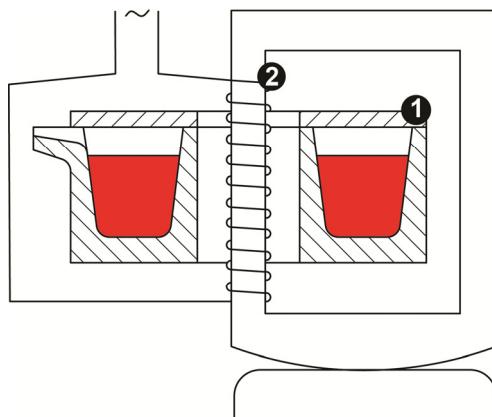
- elektrolučne ili
- indukcione (u manjem obimu se koriste i elektrootporne).

Kod *elektrolučnih peći* toplota potrebna za topljenje metala se ostvaruje uspostavljanjem električnog luka između dve ili tri elektrode (sl. 4.16, poz. 1), smeštene neposredno nad površinom rastopa metala (poz. 2), koji predstavlja drugu elektrodu.

Kod *indukcionih peći* koriste se magnetni fenomeni naizmenične struje. Indukciona peć (sl. 4.17) je sačinjena od limenog kućišta u kojem je smešten lonac prstenastog oblika sa rastopljenim metalom (poz. 1). Kod niskofrekventnih tipova peći struja iz mreže prolazi kroz primarno strujno kolo namotano oko jezgra (poz. 2). Jezgro je smešteno u centru prstenastog lonca. Sekundarno kolo čini metalni rastop koji se nalazi unutar lonca prstenastog oblika obavijajući magnetno jezgro.



Sl. 4.16. Eletrolučna peć
1-elektrode, 2-rastopljni metal



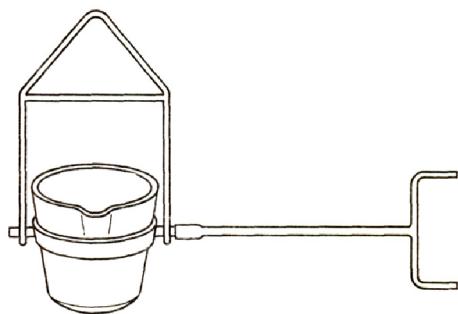
Sl. 4.17. Indukciona peć
1-prstenasti lonac sa rastopljenim metalom
(sekundarno strujno kolo), 2-primarno strujno kolo

f) Ulivanje metala u kalup

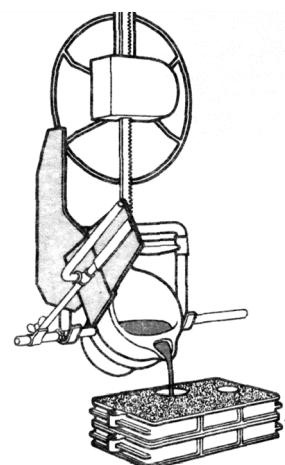
Tečni metal u kalup se uliva lagano tako da levak ulivnog sistema bude stalno ispunjen. Ova operacija mora biti obavljena pažljivo, kako bi se izbegle teške povrede radnika usled rasprskavanja rastopljenog metala. U zavisnosti od kapaciteta livnice, ulivanje se obavlja ručno ili mašinski. Za ručno livenje koristi se livački lonac izrađen od čeličnog lima koji je unutra obložen vatrostalnim materijalom (sl. 4.18). Na obodu livačkog lonca izrađen je ispust (rina) za izlivanje tečnog liva koji može imati i dodatnu pregradu za zadržavanje šljake.

U velikim livačkim pogonima, kako bi se umanjio zamor i obezbedila zaštita radnika na radu operacija ulivanja u kalupe se obavlja pomoću mehanizovanog uređaja.¹⁰

Na slici 4.19 prikazan je uređaj kojim se zamenjuje ručno nošenje, podizanje i naginjanje livačkog lonca.



Sl. 4.18. Livački lonac za ručno ulivanje



Sl. 4.19. Mehanizovan uređaj za ulivanje

g) Istresanje odlivka iz peska

Istresanje odlivka iz peska obavlja se nakon očvršćavanja i hlađenja odlivka. U mehanizovanim livnicama istresanje se obavlja na vibracionim istresnim rešetkama. Tokom istresanja odvaja se kaluparska mešavina od odlivka. Pri ovom postupku kaluparska mešavina se odvodi na preradu u pogon pripreme kalupne mešavine.

¹⁰ U industrijskim postrojenjima viseći transport kazana se kombinuje sa specijalnim šinskim kolicima koja se kreću po koloseku smeštenom uz liniju kalupnika.

h) Čišćenje odlivka

Čišćenje odlivaka obuhvata uklanjanje delova ulivnog sistema, jezgra, prilepljenih i zapečenih zrnaca peska i poravnavanje sastavaka (šavova) kalupa. Ovo je najteža i najštetnija operacija u proizvodnji odlivaka. Posebno je štetna metalna prašina koja nestaje tokom rastresanja kalupa. Delovi ulivnog sistema (ulivak, odušak, razvodni kanali i hranitelji) se odstranjuju odvajanjem ili odsecanjem pomoću sekača, testera, tocila i gasnih aparata za rezanje. Jezgra se uklanjuju ručnim i pneumatskim izbjigačima ili jakim mlazevima vode. Zrnca peska sa površine odlivka se odstranjuju mehanički i hemijski. Mehaničko čišćenje obavlja se čeličnim četkama, mlazevima čeličnih ili olovnih zrnaca (sačmom), mlazevima vode i mlazevima peska. Sitniji odlivci čiste se rotacijom u bubnjevima. Hemijsko čišćenje se izvodi potapanjem i zadržavanjem odlivaka u razblaženoj sonoj ili sumpornoj kiselini.

4.2.3. Livenje u metalnim kalupima

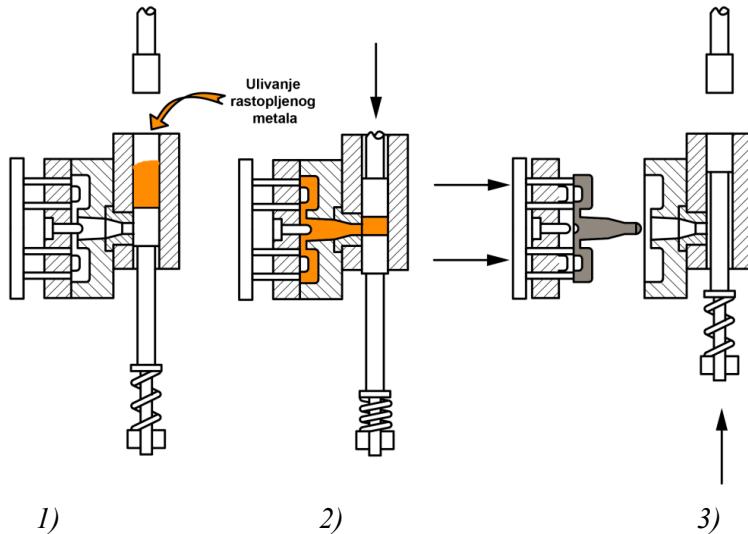
Metalni kalupi omogućavaju veliki broj livenja, visoku tačnost i visok kvalitet odlivka. Metalni kalupi (kokile) se izrađuju od čelika ili livenog gvožđa. Uglavnom se koriste za livenje obojenih metala, njihovih legura i plastičnih masa.

Livenje metala u metalne kalupe može se ostvariti:

- gravitaciono ili
- pod pritiskom.

Gravitaciono (obično) livenje obavlja se ručnim izlivanjem, prethodno rastopljenog metala u šupljinu kalupa. Ovakav način livenja primenjuje se u proizvodnji predmeta jednostavnijeg oblika gde se ne zahteva visoka tačnost izrade i gde se mogu primenjivati materijali koji u potpunosti ispunjavaju kalup.

Livenje pod pritiskom može se izvršiti ubrizgavanjem i utiskivanjem. Livenje ubrizgavanjem obavlja se tako što se rastopljena masa pod pritiskom (sl. 4.20) ubrizga u šupljinu kokile. Livenje ubrizgavanjem se primenjuje u proizvodnji sitnih odlivaka tankih zidova (delovi motora - blokovi, cilindarske glave, karburatori, pumpe za dovod i ubrizgavanje goriva) koji se odlikuju velikom tačnošću dimenzija i oblika. Materijali koji se koriste za livenje ubrizgavanjem su aluminijum, olovo, magnezijum, kalaj, cink i njihove legure.



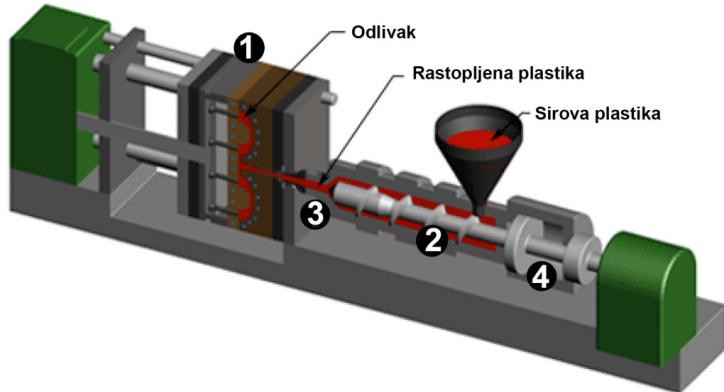
Sl. 4.20. Livenje pod pritiskom

1-ulivanje rastopljenog metala u cilindar klipnog mehanizma za ubrizgavanje, 2-ubrizgavanje, 3-vađenje odlivka

Pored metala, postupkom ubrizgavanja liju se i termoplastične mase¹¹ i to tzv. postupkom injekcionog ubrizgavanja (postupak se sastoji od zagrevanja plastične mase u cilindru klipa gde se nakon dostizanja željene temperature masa naglo ubrizgava pod visokim pritiskom).

Danas su u primeni i mašine za livenje termoplastičnih masa koje umesto klipnog sistema ubrizgavanja koriste puž za mešanje, predgrevanje i ubrizgavanje mase u šupljinu kalupa (sl. 4.21). Kalup se najpre zagreva (poz. 1), a zatim se rotiranjem puža (poz. 2) materijal meša, zagreva i transportuje prema kalupu. Kada materijal dostigne potrebnu temperaturu, puž se aksijalno pomera unazad kako bi oslobođio otvor brizgaljke (poz. 3), a zatim se pod jakim pritiskom klipa (poz. 4) aksijalno pomera i ubrizgava plastičnu masu u šupljinu kalupa (u ovom momentu puž ne rotira već deluje kao klip).

¹¹ Termoplastične mase su hemijska jedinjenja dobijena postupkom polimerizacije, koja se posredstvom topote mogu prevesti iz čvrstog u tečno stanje, a hlađenjem se mogu ponovo prevesti u pređašnje stanje. Prevođenjem termoplastičnih masa iz čvrstog u tečno stanje i obrnuto, ne odvijaju se hemijske već isključivo fizičke promene. U termoplastične mase spadaju polietilen, polipropilen, polistirol, poliamidi, polivinilhlorid (PVC), poliuretan...

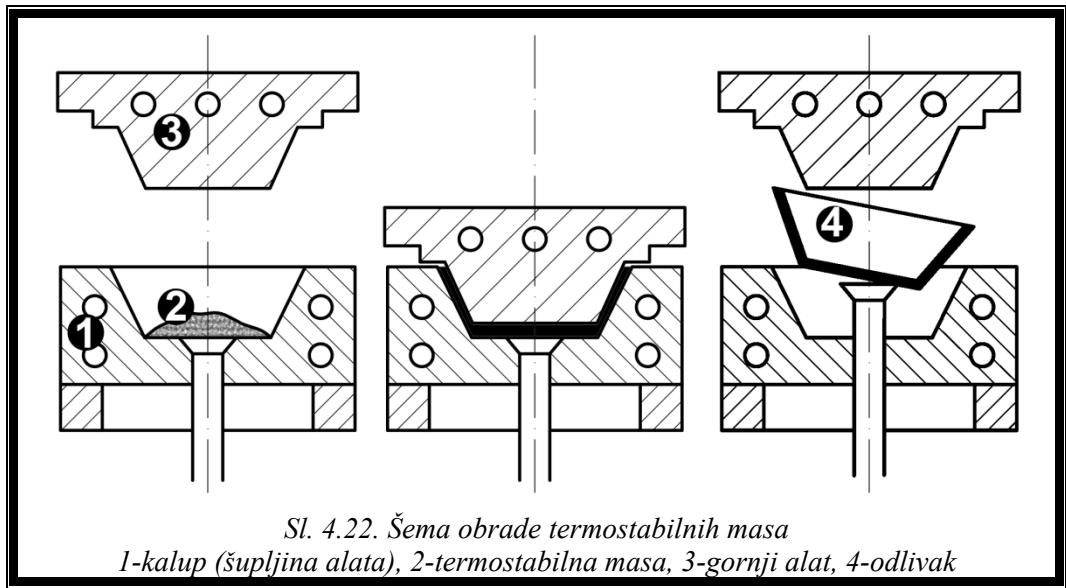


Sl. 4.21. Šema rada pužne mašine za livenje termoplastičnih masa pod pritiskom

1-kalup, 2-puž, 3-brizgaljka, 4-klip

Oblikovanje u kalupima termostabilnih masa

U mašinskoj industriji pored termoplastičnih masa, široku primenu imaju termostabilne mase (tzv. duroplasti) koje mogu da podnesu znatno višu temperaturu u odnosu na termoplastične mase. Termostabilni materijali su tvrdi i krti i imaju praktičnu primenu u kombinaciji sa odgovarajućim puniocima. Najpoznatiji predstavnik termostabilnih masa je bakelit (fenolformaldehidna smola u kombinaciji sa drvenim brašnom, mlevenim papirom, tekstilnim vlaknima, staklenom vunom i sl., kao puniocem). Prerada termostabilnih masa vrši se na taj način što se u šupljину alata (kalupa) (sl. 4.22, poz. 1) sipa materijal u praškastom obliku (poz. 2). Pritiskom gornjeg alata (poz. 3) dobija se odgovarajući oblik odlivka (poz. 4). Tokom presovanja, alat se zagreva do zadate temperature ($150-180^{\circ}\text{C}$). Pod dejstvom temperature i visokog pritiska (20-120 MPa), termostabilni materijali dobijaju odgovarajuću plastičnost i dobro popunjavaju šupljinu kalupa. Vreme presovanja zavisi od tipa mase, temperature zagrevanja i debljine zida (30-70 sekundi po mm debljine zida).

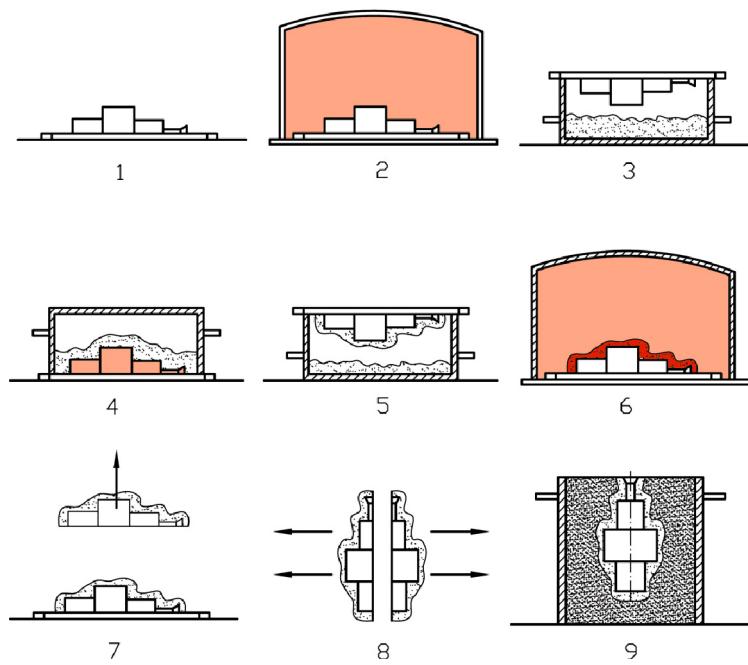


Sl. 4.22. Šema obrade termostabilnih masa
1-kalup (šupljina alata), 2-termostabilna masa, 3-gornji alat, 4-odlivak

4.2.4. Ostali postupci livenja

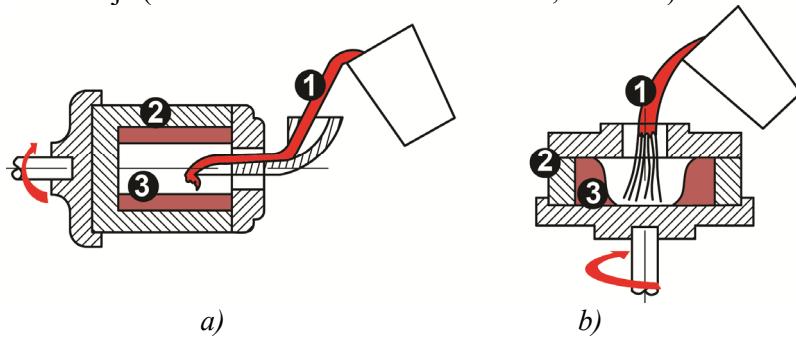
Livenje šupljih rebrastih odlivaka, kao što je blok motora i radijator, vrši se tzv. *Kroning postupkom* a za kalupljenje se koriste školjkasti kalupi. Kroning postupak se sastoji u izradi tankog sloja mešavine kvarcnog peska i smole koji se oblikuje po modelu koji nakon očvršćavanja stvara vatrostalnu školjku (kalup). Postupak je brz i ekonomičan, prikladan za crne i obojene metale.

Proces izrade kalupa Kroning postupkom obavlja se tako što se model (sl. 4.23_1) prethodno premazan parafinom ili silikonskom emulzijom zagreje do temperature od oko 200°C (sl. 4.23_2). Zagrejan model se postavlja iznad kalupnika delimično ispunjenog mešavinom kvarcnog peska i smole (sl. 4.23_3). Kalupnik se zakreće (sl. 4.23_4) a sadržaj kalupnika pada na prethodno zagrejan model obrazujući školjku debljine nekoliko milimetara (sl. 4.23_5). Zagrevanjem školjke u peći za žarenje (sl. 4.23_6) na temperaturi 400°C, školjka postaje tvrda, kruta i netopiva. Nakon odvajanja školjke od modela (7, 8) školjka se postavlja u kalupnik, koji se nakon toga ispunjava krupnozrnim peskom, (9) čime se olakšava izlaz gasova.



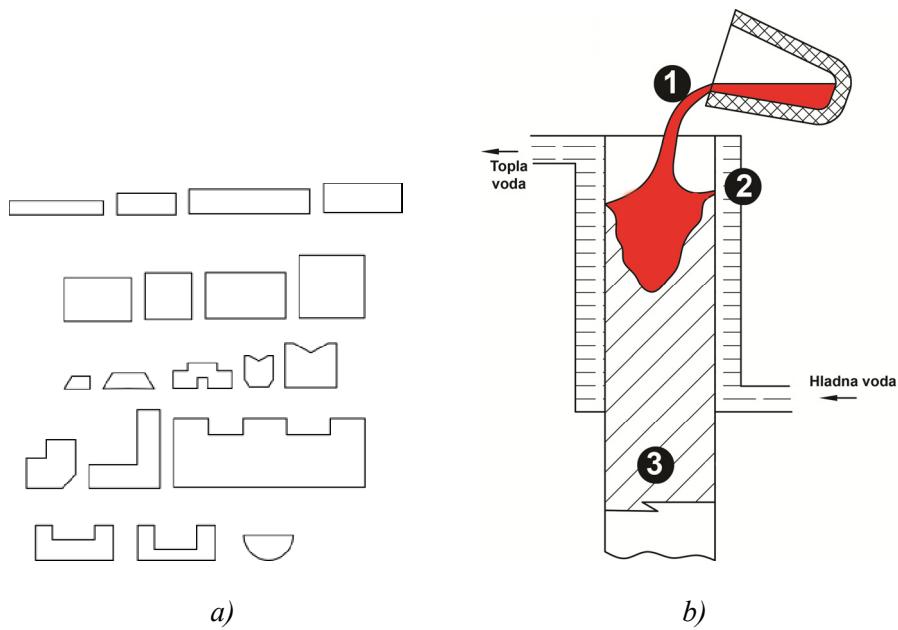
Sl. 4.23. Kroning postupak izrade kalupa

Centrifugalnim livenjem proizvode se košuljice cilindara, cevi i drugi rotacioni delovi od sivog liva, čelika, obojenih metala i njihovih legura. Odliveci dobijeni ovim postupkom nisu porozni, ne sadrže šljaku i znatno su čvršći od odlivaka proizvedenih gravitacionim livenjem. Kod centrifugalnog livenja kokila se u toku ulivanja i očvršćavanja liva okreće oko svoje ose. Usled rotacije javlja se centrifugalna sila, koja potiskuje liv u šupljine kokile. Prema položaju kokile u toku livenja razlikuju se horizontalno (kokila se obrće oko horizontalne ose, sl. 4.24a) i vertikalno (kokila se obrće oko vertikalne ose, sl. 4.24b).



Sl.4.24. Centrifugalno livenje
a-horizontalno, b-vertikalno
1-rastopljeni metal, 2-kokila, 3-odlivak

Neprekidno (kontinuirano) livenje primenjuje se pri proizvodnji cevastih, šipkastih i pločastih delova od čelika, sivog liva, obojenih metala i legura (sl. 4.25a). Postupak se izvodi tako što se rastopljena masa (sl. 4.25b, poz. 1) neprekidno i ravnomerno uliva u otvorenu kokilu (poz. 2) koja se intenzivno hlađi vodom. Prolazeći kroz kokilu, metal očvršćava i odlivak se u očvrslom stanju izvlači iz kokile (poz. 3). Kokila se kod ovog livenja naziva kristalizator. Ovaj postupak livenja omogućava da se u kratkim kokilama proizvodu dugački odlivci.



Sl. 4.25. Principijelna šema neprekidnog livenja
a- primer izradaka dobijenih postupkom neprekidnog livenja, b- postupak ulivanja
1-rastopljeni metal, 2-kalup, 3-izradak

4.3. OBRADA METALA PLASTIČNOM DEFORMACIJOM

4.3.1. Uvod

Obrada materijala plastičnom deformacijom obuhvata procese obrade zasnovane na sposobnosti metala da se pod dejstvom spoljne sile plastično deformiše. Prednost obrade plastičnom deformacijom u odnosu na druge postupke obrade metala (skidanje strugotine i livenje) je:

1. ušteda materijala (nema otpada u obliku strugotine),
2. visoka produktivnost obrade (jednokratnim, vrlo kratkim dejstvom sile ostvaruje se značajna promena oblika i dimenzija obratka),
3. moguća je automatizacija postupka,
4. poboljšavaju se mehaničke karakteristike gotovog proizvoda (veća zatezna čvrstoća, tvrdoća, žilavost i elastičnost).

Pored niza prednosti, obrada materijala plastičnom deformacijom ima nedostatke koji se ogledaju u smanjenju plastičnosti materijala tokom oblikovanja¹² i visokoj ceni alata za obradu, mašina i opreme.

Obrada materijala plastičnom deformacijom je široko rasprostranjena tehnologija koja je našla primenu u automobilskoj, motornoj, vojnoj industriji, industriji mašina i opreme u poljoprivredi, šumarstvu...

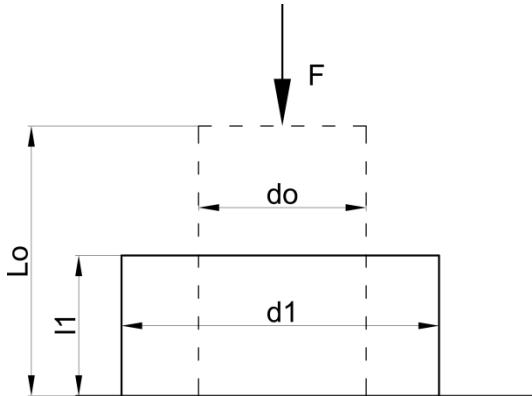
4.3.2. Osnovi obrade deformacijama

Plastičnost je pojam kojim se definiše sposobnost nekog materijala da pod uticajem spoljne sile menja svoj oblik (deformiše se)¹³. Naime, čvrsto telo izloženo dejstvu spoljnih sila usmerenih u pravcu njegove ose, menja svoju dužinu i površinu poprečnog preseka. Tokom istezanja, dužina tela se povećava a površina poprečnog preseka se smanjuje. S druge strane, tokom sabijanja, dužina se smanjuje a površina poprečnog preseka povećava. Plastično deformisanje obratka moguće je izvršiti samo do određene veličine, nakon čega dolazi do razaranja (pučanja) materijala. Plastičnost

¹² Smanjena plastičnost obratka tokom obrade zahteva međufazno zagrevanje obratka, kako bi se rekristalizacijom povratila plastičnost i time omogućio nastavak oblikovanja.

¹³ Deformacija čvrstih tela dešava se pod uticajem spoljašnjih ili unutrašnjih sila. Unutrašnje sile javljaju se usled promene temperature, kristalne strukture i sl., a spoljašnje sile nastale u procesu obrade ostvaruju se dejstvom mašine na obradak preko alata (potiskivača prese ili malja čekića)

materijala zavisi od njegovog hemijskog sastava¹⁴ i strukture, temperature obratka, stepena i brzine deformacije, naponskog stanja... Plastičnost materijala se iskazuje maksimalnom deformacijom pri kojoj nije nastalo razaranje metala. U slučaju sabijanja cilindričnog uzorka (sl. 4.26) plastičnost se može oceniti veličinom relativnog skraćenja (ε) i relativnog proširenja poprečnog preseka (ψ) a neposredno pre nastanka pukotine u materijalu koji se deformiše.



Sl. 4.26. Plastična deformacija

Odnos promene dužine obratka izloženog dejstvu sile i početne dužine naziva se **relativno skraćenje (izduženje)**:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o}$$

gde je:

ε – relativno skraćenje (izduženje),

Δl – apsolutna promena dužine usled dejstva spoljne sile (mm),

l_o – početna dužina obratka (mm).

¹⁴ Uopšteno važi pravilo da dobru plastičnost imaju olovo, aluminijum, platina, zlato, srebro i bakar. Nešto manju plastičnost imaju gvožđe, hrom, molibden, vanadijum, a magnezijum, kadmijum, cink i titanijum imaju lošu plastičnost. Čisti materijali dobro se obrađuju plastičnom deformacijom, međutim njihovim legiranjem povećava se deformacijski otpor. Plastičnost čelika opada sa povećanjem sadržaja ugljenika. Sivi liv nije podesan za obradu plastičnom deformacijom, jer nema plastičnih svojstava, zbog čega se predmeti od sivog liva prerađuju livenjem, uz naknadnu obradu skidanjem strugotine.

Množenjem vrednosti relativnog skraćenja sa 100 dobiju se procentualne vrednosti koje se prema Čižikovu, koriste kao kriterijum za određivanje plastičnosti:

$$\varepsilon = \frac{l_o - l_1}{l_o} \cdot 100 (\%)$$

gde je:

l_o – početna dužina (visina) obratka (mm),

l_1 – krajnja dužina (visina) obratka (mm).

Prema granici plastičnosti svi metali i legure mogu se podeliti u sledeće grupe:

- $\varepsilon = 80 - 100 \%$ - najplastičniji materijali,
- $\varepsilon = 60 - 80 \%$ - visoko plastični materijali,
- $\varepsilon = 40 - 60 \%$ - srednje plastični materijali,
- $\varepsilon = 20 - 40 \%$ - nisko plastični materijali i
- $\varepsilon = < 40 \%$ - krti materijali.

Uzimajući u obzir da ostvarene deformacije mogu biti elastične (povratne) i plastične (nepovratne) tada je ukupna apsolutna deformacija (Δl_u), nastala dejstvom spoljne sile, jednaka zbiru elastične i plastične deformacije:

$$\Delta l_u = \Delta l_{el} + \Delta l_{pl}$$

gde je:

Δl_{el} – apsolutna elastična deformacija obratka (mm),

Δl_{pl} – apsolutna plastična deformacija obratka (mm).

Stavljanjem apsolutne elastične i plastične deformacije u odnos sa početnom dužinom predmeta, dobijaju se izrazi za relativnu elastičnu (ε_{el}) i plastičnu (ε_{pl}) deformaciju:

$$\varepsilon_{el} = \frac{\Delta l_{el}}{l_o} \text{ i } \varepsilon_{pl} = \frac{\Delta l_{pl}}{l_o}$$

Takođe, ukupna relativna deformacija je:

$$\varepsilon_u = \frac{\Delta l_u}{l_o}$$

Relativno proširenje (suženje) poprečnog preseka predstavlja odnos promene površine poprečnog preseka obratka i početne površine poprečnog preseka i izražava se iz odnosa:

$$\psi = \frac{A_o - A_l}{A_o}$$

gde je:

A_o – površina poprečnog preseka obratka pre deformacije (mm^2)

$$A_o = \frac{d_o^2 \cdot \pi}{4}$$

A_l – površina poprečnog preseka obratka nakon deformacije i neposredno pre nastanka pukotine (mm^2)

$$A_l = \frac{d_l^2 \cdot \pi}{4}$$

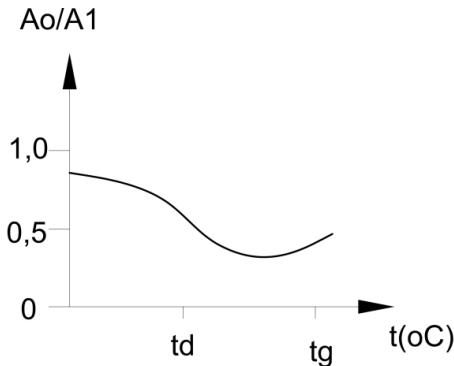
Ovaj parametar može da ima vrednost veću ($\psi > 0$ – pri istezanju) ili manju vrednost od nule ($\psi < 0$ – tokom sabijanja).

Plastičnost (P) se izražava odnosom:

$$P = \frac{A_o}{A_l}$$

Plastičnost ima vrednost od 0 do 1. Potpuno krti materijali imaju vrednost plastičnosti 1 ($A_l=A_o$), a idealno plastični materijali 0 ($A_l=\infty$).

Plastičnost nekog materijala zavisi od njegove temperature. Na slici 4.27 prikazana je promena plastičnosti materijala u funkciji promene temperature. Sa dijagrama se uočava da se u temperaturnom intervalu od t_d do t_g nalazi oblast visoke plastičnosti materijala, odnosno najpogodniji režim obrade plastičnim deformisanjem.



Sl.4.27. Plastičnost materijala u funkciji temperature

Osim temperature značajni uticaj na plastičnost imaju brzina deformacije. Naime, kod tople plastične deformacije istovremeno se odvijaju dva procesa suprotnih uticaja na otpor deformacije: otvrđnjavanje usled deformacije i omekšavanje usled rekristalizacije. U zavisnosti od odnosa ova dva procesa na određenoj temperaturi, menja se i otpor deformacije. Pri maloj brzini tople deformacije, rekristalizacija prati deformaciju (slučaj se javlja kod obrade presovanjem). Pri velikim brzinama deformacije, brzina rekristalizacije ne može da prati brzinu deformacije, pa je omekšavanje rekristalizacijom nepotpuno, zbog čega se otpor deformaciji povećava (slučaj se javlja kod obrade kovanjem).

4.3.3. Obrada metala kovanjem

Kovanjem se šipke, blumovi i drugi valjani proizvodi, deformacijom u toploem stanju, prerađuju u završno oblikovane metalne predmete ili polufabrikate. Delovi izrađeni kovanjem (otkivci) imaju bolju vlaknastu strukturu u odnosu na livene delove (odlivke) koji imaju zrnastu strukturu. Takođe, otkivci imaju veću gustinu, čvrstoću i otpornost prema koroziji. Obrada se vrši ručno ili mašinski, odgovarajućim alatima, koji dejstvom spoljne sile deformišu metalne materijale prethodno zagrejane na povišenoj temperaturi. Idealna temperatura prerade kovanjem je ona pri kojoj materijal dostiže maksimalni stepen plastičnosti (duktilnosti). Kovanje se može izvoditi:

- ručno i
- mašinsko.

Ručno kovanje se vrši snažnim udarcima čekića po zagrejanom predmetu. S obzirom na njegov zanatski karakter, ručno kovanje nalazi primenu samo za izradu pojedinačnih predmeta ili malih serija, prvenstveno ukrasnih i dekorativnih predmeta (kovano gvožđe). Ručno kovanje se poverava iskusnom kovaču, naviknutom na

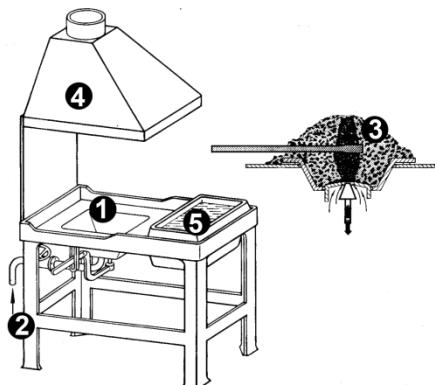
fizičke napore, koji dobro poznaje ponašanje metala i ima osećaj da proceni promene dužine, zapremine i temperature predmeta. Ručno kovanje nalazi primenu samo za predmete ograničenih dimenzija kod kojih se ne zahteva naročita tačnost izrade.

Mašinsko kovanje ima znatno širu primenu od ručnog kovanja. Mašinskim kovanjem moguće je obradivati predmete velikih gabaritnih dimenzija. Zahvaljujući većoj udarnoj sili, pri mašinskom kovanju se ostvaruje veći stepen deformacije, dok je vreme trajanja operacije kraće.

4.3.3.1. Zagrevanje materijala

Bez obzira na način kovanja, predmeti koji se na ovakav način izrađuju, moraju se najpre zagrevati do odgovarajuće temperature, koja zavisi od vrste materijala. Za potrebe ručnog kovanja koristi se kovačka vatra na ugalj. Predmeti koji se kuju mašinski zagrevaju se u industrijskim pećima.

Kovačka vatra predstavlja sredstvo za zagrevanje ograničenog broja predmeta, manjih dimenzija i za zanatsku proizvodnju. Kovačku vatrnu (sl. 4.28) čini korito od sivog liva ili vatrostalnog ozida (poz. 1) u koje se sa donje ili bočne strane uvodi mlaz vazduha za sagorevanje (poz. 2). Najpogodnije gorivo za zagrevanje obratka predstavlja kameni ugalj granulacije oraha. Predmet koji se zagreva postavlja se tako da bude okružen usijanim komadima uglja (poz. 3). Kovačka vatra se priključuje na centrifugalni ventilator koji uduvava vazduh za sagorevanje uglja, čime se podiže radna temperatura. Iznad kovačke vatre se postavlja sabirnik za odvođenje gasova (poz. 4). U modernim kovačnicama odvođenje gasova se vrši odozdo, jer se na taj način ograničava širenje gasova po radnoj prostoriji. Pored kovačke vatre smešten je sud (poz. 5) napunjen vodom za hlađenje alata.



Sl. 4.28. Kovačka vatra

1-korito, 2-dovod vazduha, 3- obradak okružen usijanim komadima uglja, 4-sabirnik za odvođenje gasova, 5-posuda sa vodom

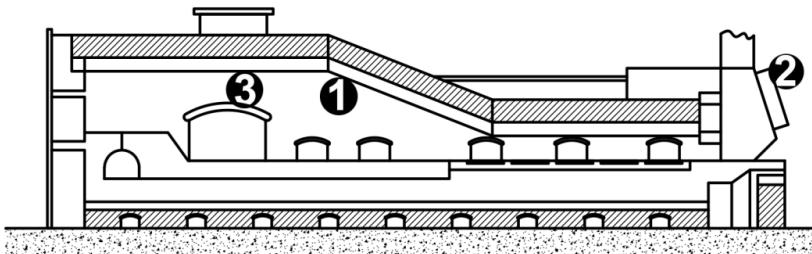
U industrijskim pogonima zagrevanje obratka tokom kovanja vrši se u plamenim, komornim, potisnim ili električnim pećima.

Plamene peći našle su široku primenu u kovačnicama. U ovakvim pećima zagrevanje predmeta se vrši plamenom ili toplotom gasova nastalih sagorevanjem tečnih goriva (mazuta) ili gasa.

Komorne peći koriste se u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji. Peći se izrađuju različitih dimenzija i mogu biti jednokomorne i višekomorne. Jednokomorne peći imaju jednu komoru čija temperatura odgovara temperaturi materijala koji se otkiva. Kod višekomornih peći svaka komora ima različitu temperaturu. Kada pripremak dostigne temperaturu jedne komore premešta se u sledeću sa višom temperaturom, pri čemu se sprečava pojava velikih termičkih napona i obezbeđuje odgovarajući režim zagrevanja materijala.

Električne peći po konstrukciji su vrlo slične plamenim pećima. Razlika u odnosu na plamene peći je u tome što umesto gorionika, električne peći imaju električne grejače, što omogućuje zagrevanje materijala do 1150°C . S obzirom na to da je u električnim pećima moguća fina regulacija temperature, pogodne su za zagrevanje pripremaka od legura obojenih metala kao i u slučajevima kada se zahteva visokokvalitetno zagrevanje.

Potisne peći se primenjuju u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. U peć se pripremci ubacuju neprekidno (sl. 4.29). Pripremci se postepeno pomeraju pomoću transportera od zone niže ka zoni više temperature. Brzina pomeranja pripremka zavisi od brzine njegovog zagrevanja.



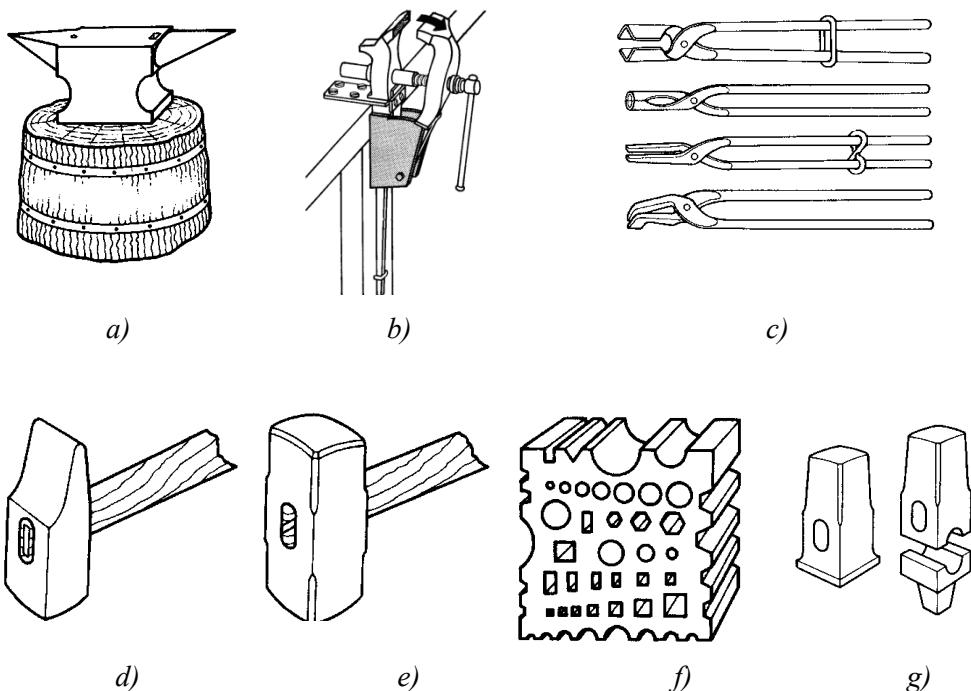
Sl. 4.29. Šema potisne peći

1-komora za zagrevanje, 2-otvor za ubacivanje pripremaka, 3-otvor za izuzimanje zagrejanih pripremaka

4.3.3.2. Ručno kovanje

Ručno kovanje je proces oblikovanja u toplom stanju koje se izvodi ručnim dejstvom čekića uz upotrebu specijalnih alata. Opremu za ručno kovanje čine sredstva namenjena oslanjanju, stezanju i deformaciji predmeta obrade.

Na slici 4.30 prikazan je različit alat i oprema namenjen ručnom kovanju.



Sl. 4.30. Alat i oprema namenjeni ručnom kovanju

a-nakovanj, b-kovačka stega, c-kovačka klešta, d-čekić, e-teški čekić (macola), f-kovačka ploča (profilna), g-oblikači

Nakovanj (sl. 4.30a) je kovački alat na koji se oslanja radni predmet, a zadatak mu je da omogući deformaciju predmeta i da apsorbuje udarce koje pripremaka prima od čekića. Nakovanj mora biti veoma težak (10 do 20 puta teži od predmeta koji se kuje). Nakovanj se izrađuje od mekog, niskougljeničnog čelika, sa cementiranim i kaljenom površinom. Nakovanj se sastoji od središnjeg prizmatičnog tela i dva čeona šiljka. Konični šiljak služi za kontinuirano savijanje predmeta, a šiljak oblika piramide služi za savijanje pod uglom. Na gornjoj površini nakovnja su izrađene dve rupe, jedna okrugla i jedna kvadratna koje služe za postavljanje usadnika i drugih namenskih alata. Nakovanj se obično postavlja na masivan panj koji ima zadatku da ublaži udarce i vibracije prouzrokovane udarcima čekića po predmetu i nakovnju.

Kovačka stega (sl. 4.30b) spada u navojne stuge. Ova stega ima sa svoje donje strane jedno produženo postolje koje služi za učvršćivanje za nogu stola, ili se, u svrhu boljeg ukrućenja, produžava u pod radionice. Za razliku od bravarskih stega, čeljusti

kovačke stege se ne otvaraju, tako da ostaju međusobno paralelne (kod kovačkih stega se ne zahteva visoka tačnost stezanja).

Kovačka klešta (sl. 4.30c) služe za pridržavanje predmeta prethodno zagrejanih na temperaturu kovanja. U upotrebi su klešta različitih oblika, zavisno od oblika predmeta koji se želi stegnuti. Kovačka klešta se odlikuju dugačkim ručkama, kako bi ruka radnika bila na dovoljnem odstojanju od izvora toplove (preko ručki se postavi stezni prsten, kako bi se olakšalo držanje predmeta tokom oblikovanja).

Čekić (sl. 4.30d) je alat kojim kovač oblikuje radni predmet. Od stolarskog čekića se razlikuje dužom i masivnijom drškom. Masa metalnog tela (glave) se kreće od 2 do 4 kg. Površina donjeg dela glave je blago ispušćena, čime se izbegava udaranje predmeta oštom ivicom.

Teški čekić (“macola”, sl. 4.30e) se koristi kada se običnim čekićem ne mogu ostvariti dovoljno jaki udarci. Masa metalnog tela (glave) se kreće od 10 do 12 kg (Teškim čekićima se ostvaruju snažni udarci, zamahom sa visine. Kovanje teškim čekićem izvodi se uz prisustvo drugog radnika koji čvrsto pridržava predmet.).

Kovačka ploča (sl. 4.30f) izrađuje se od čeličnog bloka na čijem obodu je izrađeno niz profilisanih oblika (polukružnih, polušestougaonih, trougaonih itd.), a u unutrašnjem delu niz rupa različitih oblika i mera. Otvoreni profili i rupe služe za oblikovanje predmeta koji su prethodno grubo obrađeni na nakovnju.

Oblikači (sl. 4.30g) su alati za kovačko oblikovanje predmeta. Sastoje se iz dva dela: gornjeg i donjeg oblikača. Gornji oblikač ima drvenu dršku za pridržavanje, dok donji oblikač ima usadnu stranu kvadratnog poprečnog preseka i služi za postavljanje u kvadratnu rupu nakovnja. Čekićem se udara po gornjem oblikaču, a udarci se prenose na nakovanju.

4.3.3.3. Mašinsko kovanje

Mašinsko kovanje je proces oblikovanja u topлом stanju koje se izvodi na odgovarajućim mašinama uz upotrebu specijalnih alata. Mašinsko kovanje može biti:

- slobodno kovanje i
- kovanje u kalupu.

Slobodno kovanje je kovanje pomoću univerzalnih alata. Osnovna karakteristika ovih alata je da radna površina alata ne mora u potpunosti da odgovara geometriji komada koji se kuje. U slučaju kovanja manjih predmeta, manipulaciju sa radnim komadom izvodi radnik a oblikovanje se izvodi sa više uzastopnih udaraca, sve dok temperatura kovanja ne padne ispod dozvoljene vrednosti. Za slobodno kovanje sitnijih predmeta, koriste se prese i čekići manje snage. Kod slobodnog

kovanja velikih delova, pomeranje radnog komada izvodi se pomoću specijalnog manipulatora, a kovanje se izvodi na velikim hidrauličnim presama.

Kod **kovanja u kalupima** obradak pod dejstvom udara malja mehaničkog čekića ili pod pritiskom pritiskivača prese ispunjava šupljinu izrađenu u kovačkom alatu (kalupu). Kovanje u kalupu obavlja se u takozvanim otvorenim i zatvorenim kalupima. Prema nameni kovanje u kalupima može biti pripremno i završno, a prema broju šupljina kalupi mogu imati jednu ili više šupljina. U odnosu na vrstu mašine na kojoj se obavlja kovanje, kalupi mogu biti za kovanje na mehaničkim čekićima, presama ili horizontalnim kovačkim mašinama. Prilikom konstruisanja alata (kalupa) za otkivanje, neophodno je izraditi nagibe i zaobljenja u šupljinama tako da je moguće izvaditi otkivak iz kalupa bez primene posebnih alata i uređaja (sl. 4.31). Kako bi se ostvarilo nesmetano vađenje otkivka iz kalupa neophodno je da sve površine šupljine koje su paralelne sa pravcem kretanja gornjeg alata budu izrađene pod nagibom (spoljašnje površine pod nagibom do $\alpha=7^\circ$ a unutrašnje do $\alpha_1=10^\circ$). Takođe, ivice predmeta moraju biti zaobljene, sa spoljašnjim radijusom zaobljenja $R=1-3,5$ mm i unutrašnjim zaobljenjem izračunatim prema obrascu:

$$R_1 = (2,5 \div 3,5) \cdot R + 0,5 \text{ mm}$$

gde je:

R – radijus spoljašnjeg zaobljenja otkivka (mm).

Prilikom projektovanja šupljine kalupa za kovanje, potrebno je uzeti u obzir vrednost temperaturnog širenja materijala pri zagrevanju, pri čemu je potrebno spoljašnje dimenzije uvećati za vrednost temperaturnog širenja:

$$L_1 = L \cdot k \text{ (mm)}$$

Nasuprot ovome, unutrašnje dimenzije je potrebno umanjiti:

$$d_1 = d \cdot (2 - k) \text{ (mm)}$$

gde je:

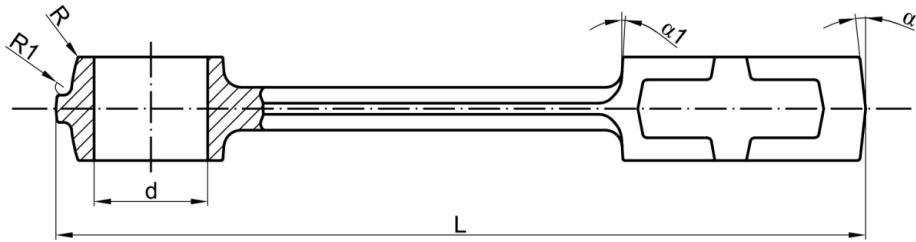
L – spoljašnja dimenzija otkivka u hladnom stanju (mm),

L_1 – spoljašnja dimenzija otkivka u topлом stanju (mm),

d – unutrašnja dimenzija otkivka u hladnom stanju (mm),

d_1 – unutrašnja dimenzija otkivka u topлом stanju (mm),

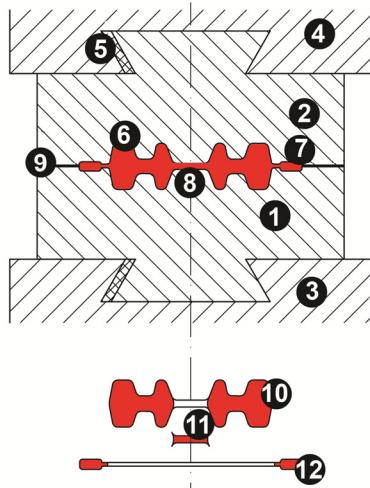
k – koeficijent temperaturnog širenja materijala.



Sl. 4.31. Zakošenja, zaobljenja i dimenzije otkivka

Pored nagiba, zaobljenja i temperaturnog širenja, prilikom projektovanja šupljine kalupa, posebnu pažnju je potrebno posvetiti određivanju podeone ravni kalupa, koju je potrebno tako postaviti da se oblikovanje obratka vrši sabijanjem a ne istiskivanjem materijala. Podeonu ravan je potrebno postaviti u područje većih dimenzija obratka.

Kovanje u otvorenom kalupu podrazumeva kovanje u kalupu kod kojeg osim tečenja materijala unutar kalupa, postoji mogućnost isticanja metala u poseban prostor izvan kalupa koji predstavlja venac otkivka. Na slici 4.32. prikazan je alat za kovanje u otvorenom kalupu. Alat se sastoji od donjeg (poz. 1) i gornjeg (poz. 2) dela kalupa koji su pričvršćeni za malj (poz. 4) i nakovanj (poz. 3) mehaničkog čekića. Slobodno tečenje materijala tokom procesa kovanja vrši se unutar šupljine kalupa koju čini šupljina koja po dimenzijama i obliku odgovara otkivku (poz. 6) i šupljine vence i središnjeg dela (unutrašnji srh¹⁵) koji se nakon otkivanja uklanjuju sa otkivka odsecanjem (poz. 11, 12)

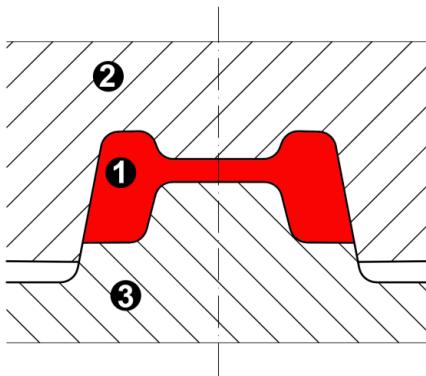


Sl.4.32. Kovanje u otvorenom kalupu

1-donji deo kalupa, 2-gornji deo kalupa, 3-nosač donjeg dela kalupa, 4-nosač gornjeg dela kalupa, 5-klin za učvršćivanje alata, 6-otkivak, 7-venac otkivka, 8-unutrašnji srh, 9-podeona ravan, 10-otkivak izvan kalupa nakon obrezivanja, 11, 12-otpadak

¹⁵ Srh je višak materijala koji se naknadno odvaja od otkivka

Specijalna vrsta kovanja u kalupu je *kovanje u zatvorenom kalupu*. Kod ovog tipa kovanja nema viška materijala dok zapremina gravure u potpunosti odgovara zapremini otkivka. Na slici 4.33 prikazan je kalup sa šupljinom u gornjem delu. Obradak (poz. 1) se postavlja između gornjeg (poz. 2) i donjeg dela kalupa (poz. 3). Kovanje u zatvorenom kalupu znatno se manje primenjuju u odnosu na otvorene kalupe.



Sl. 4.33. Kovanje u zatvorenom kalupu

1-otkivak, 2-gornji kalup, 3-donji kalup

Za mašinsko kovanje koriste se:

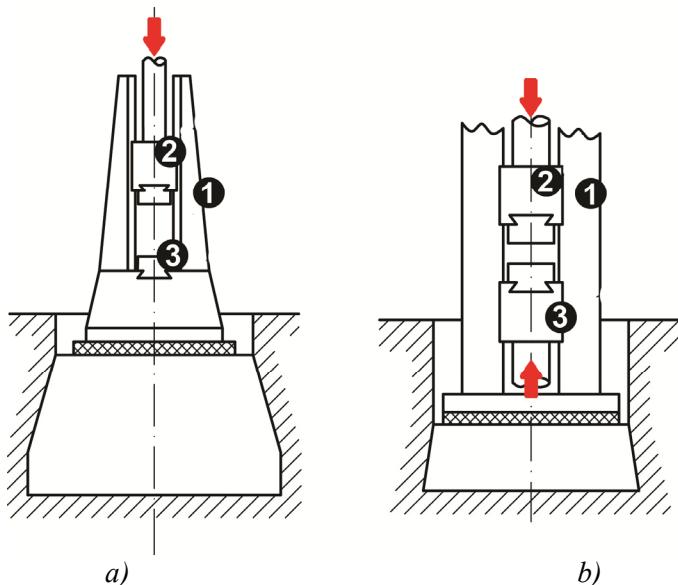
- mašinski čekići ili
- prese.

a) *Mašinski čekići*

Mašinski čekići su maštine dinamičkog dejstva, kod kojih se kinetička energija pokretne mase (malja) pretvara u rad potreban za izvođenje procesa deformisanja. Jačina udarca malja zavisi od njegove mase i brzine (Danas postoje čekići čija je masa malja do 120 t, a njihova brzina u trenutku udara je 3-8 m/s, kod nekih i do 20 m/s). Podela mašinskih čekića može da se vrši prema različitim kriterijumima. Prema osnovnim konstrukcionim karakteristikama čekići se dele na:

- čekići sa nakovnjem – jednostrukog dejstva(sl. 4.34a);
- čekići bez nakovnja – dvostrukog dejstva (protivudarni čekići, sl. 4.34b).

Kod čekića sa nakovnjem donji deo alata (nakovanj) je nepokretan tako da brzinu udara određuje brzina kretanja malja. Kod čekića bez nakovnja (protiv udarnog čekića) donji deo alata je takođe pokretan, tako da ukupnu brzinu udara određuje brzina kretanja malja i donjeg dela alata.



Sl. 4.34. Osnovne vrste čekića

a) čekić sa nakovnjem; b) čekić bez nakovnja
1-vodica, 2-čekić, 3-nakovanj, 4-protivudarni čekić

S obzirom na način ubrzavanja malja čekići se dele na:

- slobodno padajuće čekiće (više se ne proizvode) i
- čekići sa nadpritiskom (sa prinudnim ubrzavanjem malja).

Kod *slobodno padajućih čekića*, raspoloživa energija udara određuje se preko potencijalne energije malja:

$$W_{sp} = m_M \cdot g \cdot h$$

gde je:

m_M – masa malja (kg)

g – gravitaciono ubrzanje ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h – visina pada malja (m)

Kod čekića sa nadpritiskom, energija udara jednaka je kinetičkoj energiji malja:

$$W_{np} = \frac{m_M \cdot v_M^2}{2}$$

gde je:

m_M – masa malja (kg),

v_m – brzina malja u trenutku udara (m/s),

Kod protivudarnih čekića, energija udara jednaka je zbiru kinetičkih energija donjeg i gornjeg alata:

$$W_{pc} = \frac{m_M \cdot v_M^2}{2} + \frac{m_N \cdot v_N^2}{2}$$

gde je:

m_M – masa malja (kg),

v_m – brzina malja u trenutku udara (m/s),

m_N – masa donjeg alata (kg),

v_N – brzina donjeg alata u trenutku udara (m/s).

Čekići sa nadpritiskom postižu veće brzine malja u trenutku kovanja, što se ostvaruje dejstvom aktivne sile koju obezbeđuje, zavisno od pogonskog sistema čekića, parovazdušnog cilindra, hidrauličnog cilindara, opruga itd. Kod protivudarnih čekića, ostvaruje se još veća brzina udara. Ukupnu brzinu udara kod ovih čekića određuje brzina kretanja malja i donjeg dela alata.

S obzirom na vrstu pogonskog sistema čekići mogu biti:

- parovazdušni čekići,
- vazdušni čekići,
- hidraulični čekići i
- mehanički čekići (čekić sa remenom, čekić sa lancem, čekić sa daskom, polužni čekići).

Parovazdušni čekići koriste energiju pare ili vazduha (radni pritisak pare je od 0,7-0,9 bar, a vazduha oko 0,7 bar). Masa malja kod ovih čekića kreće se u granicama od 0,5 do 5 t. Parovazdušni čekići se izrađuju kao čekići sa ili bez nakovnja. Parovazdušni čekići koriste se kao čekići za slobodno kovanje, kovanje u kalupima i protivudarno kovanje i namenjeni su izradi predmeta od vrlo male mase do preko 25 t.

Vazdušni čekići su namenjeni izradi malih predmeta (sl. 4.35). Masa malja kod ovih čekića je najčešće od 0,1-3 t. Vazdušni čekići koriste se kao čekići za slobodno kovanje, ređe za kovanje u kalupima. Pogon vazdušnih čekića ostvaruje se dejstvom komprimovanog vazduha, koji se obezbeđuje iz kompresora koji je sastavni deo ovih mašina.



Sl. 4.35. *Vazdušni čekić AR50 (masa malja 50 kg, hod malja 230 mm, broj udara 220 min⁻¹)*

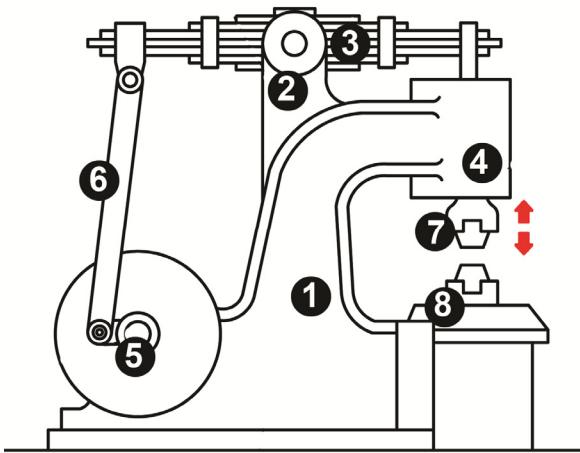
Hidraulični čekići su čekići za podizanje i ubrzavanje malja koriste hidrocilindre. Problem kod hidrauličnih čekića je nedovoljna brzina pražnjenja radnog cilindra s donje strane klipa tokom kretanja malja nadole.¹⁶ Ovi čekići koriste se za kovanje u kalupima. S obzirom na način dejstva mogu biti slobodno padajući, sa ili bez nakovnja.

Mehanički čekići spadaju u najstarije mašine za kovanje i pretežno pripadaju grupi slobodno padajućih čekića, sa izuzetkom čekića sa oprugom koji pripada čekićima dvostrukog dejstva (čekići bez nakovnja). Najznačajniji tipovi ovih čekića su čekić sa remenom, čekić sa lancem, čekić sa daskom, polužni čekić...

U malim kovačnicama (kakve su kovačnice remontnih centara poljoprivredne mehanizacije), najširu primenu su našli mehanički opružni čekići (sl. 4.36). Paket

¹⁶ Određena poboljšanja su postignuta primenom specijalnih ventila.

lisnatih opruga, jednim krajem povezan je sa krivajnom polugom (poz. 6), a drugim sa maljem (poz. 7) i predstavlja akumulator mehaničke energije čekića.



Sl. 4.36. Mehanički opružni čekić

1- telo čekića sa nakovnjem, 2 - oslonac opruge, 3 - opruga, 4- vodica malja, 5-ležaj krivajnog vratila, 6-krivajna poluga, 7-malj, 8-nakovanj

Pri okretanju krivajnog vratila (poz. 5) dolazi do povlačenja krivajne poluge (poz. 6) na dole, odnosno, pokretanja malja (poz. 7) na gore. U trenutku promene smera kretanja krivajne poluge tj. njenim kretanjem na gore, malj po inerciji nastavlja kretanje na gore i pri tome savija oprugu (poz. 3), koja akumulira mehaničku energiju i predaje je malju pri njegovom kretanju na dole.

Kretanje malja na dole uslovljeno je sledećim komponentama energije:

1. slobodnim padom, tj. dejstvom gravitacije;
2. dejstvom krivajnog mehanizma i
3. dejstvom opruge, koja je akumulirala energiju pri kretanju na gore.

Ukupna energija malja dobija se sabiranjem navedenih komponenti i predstavlja raspoloživu energiju čekića sa oprugom koja se koristi u procesu kovanja. Regulacija energije (snage) udarca reguliše se dužinom perioda uključenja krivajnog pogonskog mehanizma.

Čekići sa oprugom izrađuju se sa masom malja od 15 do 200 kg i raspolažu sa brojem hodova od 100 do 300 u minuti. Veliki broj udaraca malja u jedinici vremena omogućava da vreme kontakta malja i obratka traje kratko, što utiče na sporije hlađenje obratka tokom obrade, a time i uspešnu primenu (posebno pri izduživanju tankih otkivaka). Čekići sa oprugom koriste se za operacije slobodnog kovanja i iskivanja tankih predmeta, naročito za iskivanje raonika, motićica i drugih elemenata poljoprivredne mehanizacije. Veoma su laki za rad, imaju dug radni vek i veliku pouzdanost u radu.

b) Prese

Prese su mašine koje na materijal deluju silom koja lagano raste. Podelu presa prema vrsti pogonskog sistema moguće je izvršiti na:

- Prese sa mehaničkim prenosom i
- Prese sa hidrauličnim prenosom.

Prese sa mehaničkim prenosom koriste se pri oblikovanju manjih predmeta jer se kod njih stvara pritisak ograničenih vrednosti. Prese sa mehaničkim prenosom dele se na:

- Frikcione prese (Poseduju navojno vreteno koje je gornjom stranom spojeno za zamajac a donjom za malj. Zamajac prese dobija pogon od dva frikcionala točka.)
- Ekscentar prese (U postolju poseduje ekscentar vratilo za koje je preko klizne poluge spregnuta nosač malja.).

Hidraulične prese vrše sabijajuće dejstvo posredstvom tečnosti pod pritiskom (voda ili ulje). Hidrauličnim presama se mogu ostvariti izuzetno velike sile, pa nalaze primenu pri oblikovanju predmeta velikih dimenzija (slobodno ili u alatima).

4.3.4. Oblikovanje lima

Delovi od lima našli su široku primenu u automobilskoj, prehrambenoj, elektronskoj industriji, industriji poljoprivrednih mašina, industriji kućnih aparata itd. Postupci oblikovanja delova od lima mogu se podeliti u dve osnovne grupe:

- Postupci oblikovanja odvajanjem i
- Postupci oblikovanja plastičnom deformacijom.

4.3.4.1. Oblikovanje lima odvajanjem

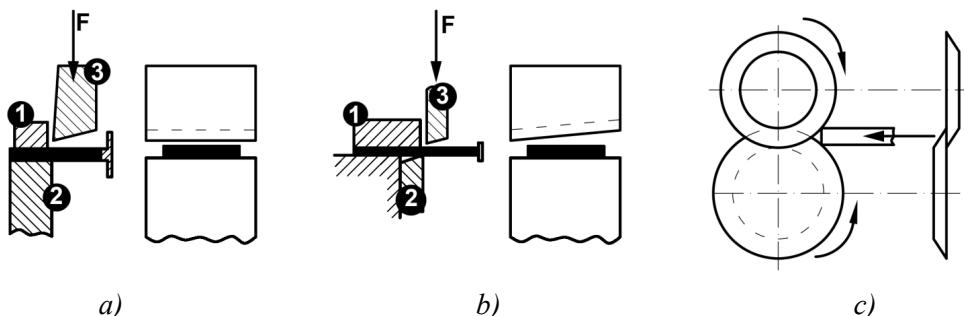
Obrada lima odvajanjem izvodi se postupkom smicanja jednog dela od drugog. U postupke oblikovanja lima odvajanjem spadaju sledeće operacije:

- odsecanje,
- prosecanje i
- probijanje.

Pored navedenih postupaka oblikovanja lima u proizvodnoj praksi se primenjuje obrada delimičnim prosecanjem, rasecanjem i opsecanjem.

a) Odsecanje

Odsecanjem se vrši sečenje tabli lima na trake ili traka na komadne pripremke koji predstavljaju polufabrikate namenjene daljem oblikovanju. Tokom procesa odsecanja dolazi do lokalne plastične deformacije. Odsecanje se izvodi mašinskim makazama, noževima (sl. 4.37) koji mogu biti pravi paralelni (a), pravi nagnuti (b) i kružni (c). Primenom makaza sa pravim paralelnim i pravim nagnutim noževima, obradak (tabla lima) se jednom stranom fiksira potiskivačem (poz. 1) uz nosač donjeg noža (poz. 2), dok se druga strana lima odseca sruštanjem gornjeg noža (poz. 3). Tokom odsecanja kružnim noževima, obradak (lim) se propušta između kružnih noževa koji se obrću u suprotnim smerovima, uvlače lim i odsecaju ga.



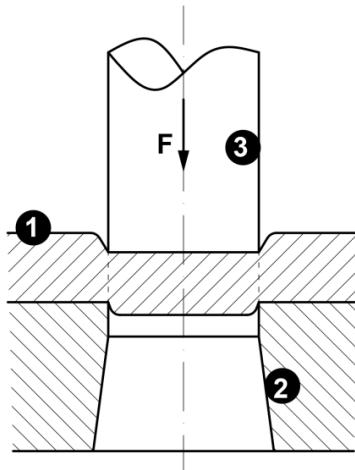
Sl. 4.37. Šematski prikaz odsecanja lima makazama

a-makaze sa pravim paralelnim noževima, b-sa pravim nagnutim noževima, c-sa kružnim noževima

b) Probijanje i prosecanje

Probijanje i prosecanje su operacije pri kojima se dobijaju delovi potpunim odvajanjem materijala po zatvorenoj unutrašnjoj (probijanje) i spoljašnjoj (prosecanje)

konturi. Deo koji propada kroz otvor u reznoj ploči prilikom prosecanja naziva se izradak, dok je ostatak trake otpadak. Tokom probijanja na izratku nastaju otvori. Deo koji propada kroz otvor rezne ploče je otpadak. Probijanje i prosecanje se vrši primenom odgovarajućih alata postavljenih na mehaničkim ili hidrauličnim presama. Visoka cena reznih alata namenjenih obradi probijanjem i prosecanjem čini ovu operaciju rentabilnom, jedino u velikoseriskoj i masovnoj proizvodnji. Obrada lima se vrši na taj način što se na obradak (sl. 4.38, poz. 1) postavljen na reznu ploču (poz. 2) deluje prosekačem ili probojcem (poz. 3) odgovarajućom silom F .



Sl. 4.38. Šematski prikaz probijanja i prosecanja
1-obradak, 2-rezna ploča, 3-prosekač ili probojac

Sila potrebna za probijanje ili prosecanje, zavisi od obima konture, debljine lima i otpora lima na smicanje.

Određuje se prema jednačini:

$$F = O \cdot s \cdot \tau_m \cdot k \text{ (N)}$$

gde je:

O – obim konture prosecanja ili probijanja (mm),

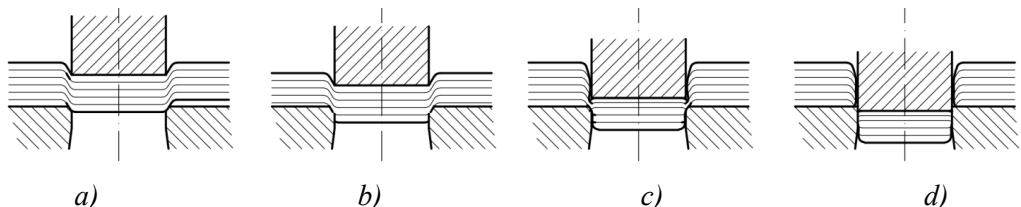
s – debљina lima (mm),

τ_m – otpor lima na smicanje (N/mm^2),

k – koeficijent koji uzima u obzir zatupljenost radnih delova alata, varijaciju debljine i jačine lima ($k \approx 1,25$).

Tokom probijanja ili prosecanja, dolazi do savijanja i istezanja vlakana (sl.

4.39a), utiskivanja materijala u otvor rezne ploče (b) kao i do smicanja (c) i izbacivanja probijenog dela (d).



Sl. 4.39. Faze probijanja i prosecanja

Alati za obradu lima probijanjem i prosecanjem mogu biti:

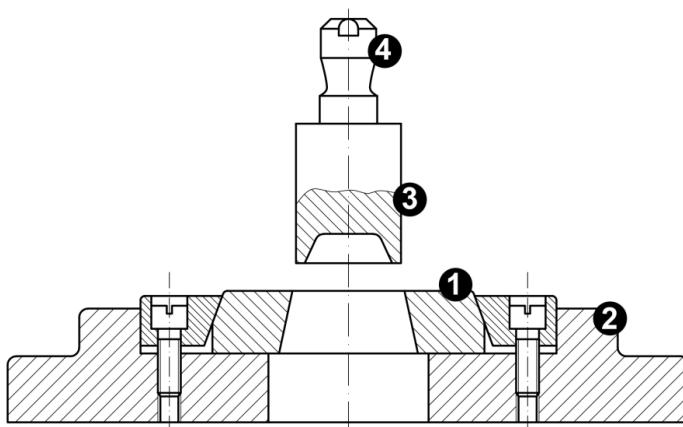
- jednooperacijski (namenjeni samo za prosecanje ili za probijanje) i
- kombinovani (za izvođenje obe operacije istovremeno).

Alati za probijanje i prosecanje takođe mogu biti:

- alati bez vođenja
- alati sa vođenjem (podela se vrši na alete sa pločom za vođenje i alete sa stubnim vođenjem).

Primenjeni tip alata zavisi od složenosti oblika koji se izrađuje, njegove tačnosti i obima proizvodnje.

Na slici 4.40 prikazan je *alat za prosecanje (probijanje) bez vođenja*. Materijal koji se obrađuje postavlja se na reznu ploču (poz. 1) koja je čvrsto vezana za osnovnu ploču (poz. 2). Prosecanje (probijanje) materijala vrši se dejstvom prosekača (poz. 3) koji je pomoću čepa (poz. 4) vezan za potiskivač prese.

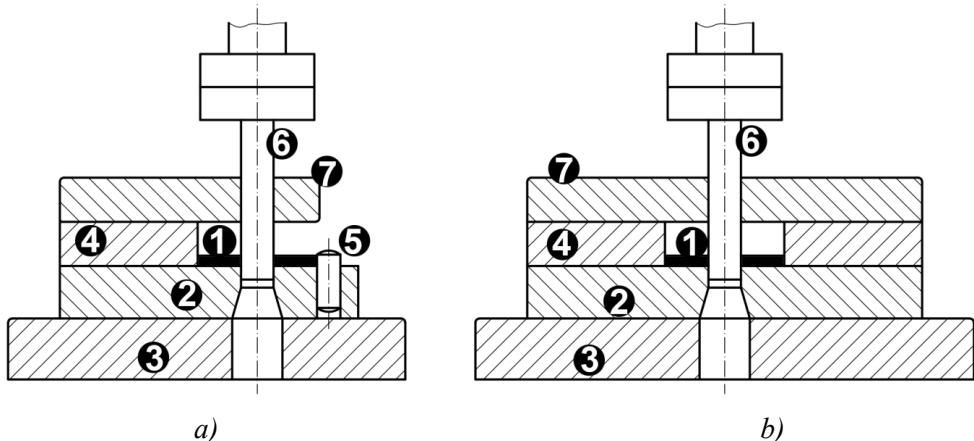


Sl. 4.40. Alat za prosecanje ili probijanje bez vođenja
1-rezna ploča, 2-osnovna ploča, 3-prosekač, 4-čep

Alati sa pločom za vođenje dobili su naziv po vodećoj ploči koja određuje tačan

međusobni položaj i vođenje prosekača ili probojca prema reznoj ploči. Alat sa pločom za vođenje može biti poluotvorenog i zatvorenog tipa (sl. 4.41).

Na slici 4.41a prikazan je alat za prosecanje (probijanje) sa pločom za vođenje poluotvorenog tipa. Kod ovog alata materijal obrade (poz. 1) se postavlja na reznu ploču (poz. 2) koja je čvrsto vezana za osnovnu ploču (poz. 3). Traka lima se vodi sa jednom letvom za vođenje (poz. 4) postavljenom sa jedne i graničnom čivijom (poz. 5) sa druge strane alata. Tačan međusobni položaj i vođenje prosekača ili probojca (poz. 6) prema reznoj ploči ostvaruje se primenom vodeće ploče (poz. 7). Kod ovih alata vodeća ploča obavlja funkciju skidača lima (svlači lim sa prosekača ili probojca tokom njegovog povratnog hoda). Kod alata za prosecanje (probijanje) sa pločom za vođenje zatvorenog tipa (4.41b) između vodeće ploče (poz. 7) i rezne ploče (poz. 2) nalaze se dve letve za tačno vođenje trake lima kroz alata.

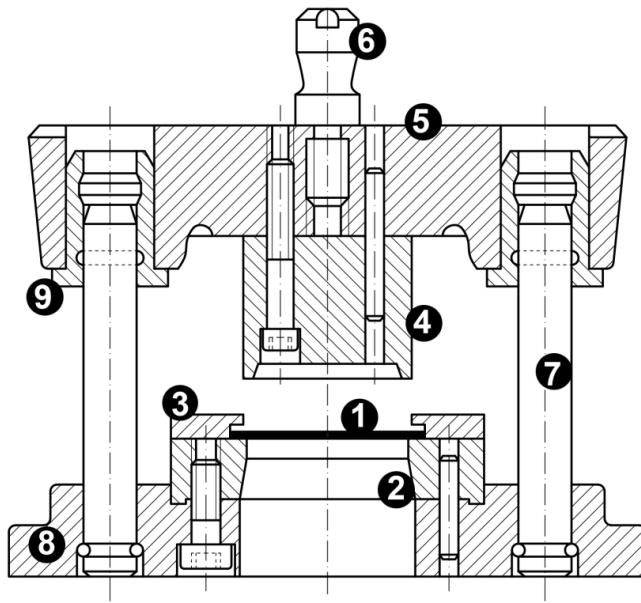


Sl. 4.41. Alat sa vodećom pločom
a-poluotvorenog tipa, b-zatvorenog tipa

1-obradak, 2-rezna ploča, 3-osnovna ploča alata, 4-letva za vođenje, 5-granična čivija, 6-prosekač ili probojac, 7-vodeća ploča

Alati sa stubnim vođenjem predstavljaju drugi tip alata sa vođenjem. Ove alate karakteriše velika tačnost vođenja probojca ili prosekača.

Na slici 4.42 prikazan je alat za prosecanjem sa stubnim vođenjem. Kod ovog alata obradak (poz. 1) se postavlja na reznu ploču (poz. 2). Pravilno vođenje obratka (lima) tokom obrade ostvaruje se pomoću dve letve za vođenje (poz. 3) koje ujedno obavljaju i funkciju svlakača lima. Prosekač (poz. 4) je pričvršćen za gornji deo alata (poz. 5) koji je preko čepa (poz. 6) vezan za potiskivač prese. Gornji deo alata vođen je stubnim vođicama (poz. 7) koje su upresovane na donji deo alata (poz. 8). U cilju postizanja veće tačnosti viđenja u gornji deo alata su upresovane čaure za vođenje (poz. 9).



Sl. 4.42. Alat za prosecanje sa stubnim vođenjem

1-obradak, 2-rezna ploča, 3-letva za vođenje, 4-prosekač, 5-gornji deo alata, 6-čep za prihvatanje alata, 7-stubna vođica, 8-donji deo alata, 9-čaura za vođenje

4.3.4.2. Oblikovanje lima plastičnom deformacijom

Oblikovanje lima plastičnom deformacijom predstavlja oblikovanje koje se ostvaruje lokalnim elastično-plastičnim deformisanjem materijala na mestu savijanja. Razlikuju se dve operacije oblikovanja lima plastičnom deformacijom:

- savijanjem lima i
- izvlačenjem lima (tzv. dubokog izvlačenja).

a) Savijanje lima

Savijanje lima predstavlja operaciju oblikovanja gde se lim izlaže savijajućim

opterećenjima koja prevazilaze granicu elastičnosti materijala pa ostvarena deformacija ima trajan karakter. Za savijanje se najčešće koriste ekscentarske, kolenaste, frikcione ili hidraulične prese¹⁷.

Savijanje lima može biti:

- ugaono i
- lučno.

Ugaono savijanje lima

Kod ugaonog savijanja, lim se savija pod uglom, s tim što je ivični prelaz u manjoj ili većoj meri zaobljen. Sviše mali poluprečnik savijanja (ivičnog prelaza) u odnosu na debljinu lima, može prouzrokovati nastanak naprslina u spoljnim slojevima materijala (na mestu savijanja).

Minimalni unutrašnji poluprečnik savijanja određuje se prema obrascu:

$$R_{\min} = s \cdot c$$

gde je:

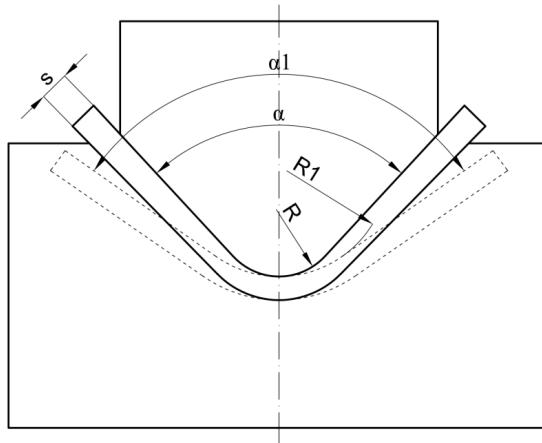
s – debljina lima (mm),

c – koeficijent koji zavisi od vrste materijala, ugla savijanja, položaja linija savijanja u odnosu na pravac valjanja, stanja ivica pripremka i sl. ($c=0,25-2,5$).

Obrada lima plastičnom deformacijom ostvaruje se lokalnim elastično-plastičnim deformisanjem materijala na mestu savijanja, usled čega se u savijenom delu javljaju naprezanja, koja teže da se obradak (lim), nakon prestanka dejstva sile koja ga savija u izvesnoj meri, vрати u prvobitni položaj (sl. 4.43). Razlika u uglu koji savijeni deo ima nakon prestanka dejstva sile (α_1) i ugla tokom savijanja (α), naziva se povratni ugao ili ugao elastičnosti ($\Delta\alpha$). Pored povećanja ugla savijanja, povećava se i poluprečnik savijanja (R). Veličina povratnog ugla pri savijanju, zavisi od mehaničkih karakteristika materijala, debljine lima, poluprečnika savijanja, oblika dela i vrste savijanja¹⁸.

¹⁷ Kolenaste prese su pogodne u slučajevima kada je potreban veći hod pritiskivača prese, a hidraulične prese u slučajevima kada je potrebna veća sila savijanja.

¹⁸ Povratni ugao savijanja je veći kod materijala sa većom granicom razvlačenja, kod većeg odnosa poluprečnika savijanja i debljine lima (R/s), kao i kod tanjih limova.



Sl. 4.43. Povratni ugao pri savijanju

Pre početka savijanja, neophodno je tablu lima iseći na dimenzije koje će omogućiti da se nakon savijanja ostvare željene dimenzije obratka. Najpre je neophodno izračunati razvijene dimenzije savijenog lima. Razvijena dužina nekog savijenog lima se izračunava na osnovu dužine neutralnih vlakana lima. Naime, poznato je da su pri savijanju vlakna po spoljašnjem poluprečniku izložena istezanju, a po unutrašnjem poluprečniku, pritisku. Pri savijanju lima pod uglom, položaj neutralnih vlakana se ne poklapa uvek sa sredinom, već je pomeren prema centru radijusa savijanja, zavisno od veličine radijusa i debljine lima. Približna vrednost radijusa je:

$$\rho = R + s \cdot k \text{ (mm)}$$

gde je:

R - unutrašnji poluprečnik savijanja (mm),

s - debljina lima (mm),

k - popravni koeficijent koji zavisi od odnosa R/s.

Primer određivanja dužine savijenog dela u razvijenom stanju

Prilikom određivanja dužine savijenog dela u razvijenom stanju, potrebno je deo razdeliti na pravolinijske i krivolinijske elemente, odrediti dužinu neutralnog sloja svakog elementa i sabrati sve elementarne dužine. Deljenje pravolinijskog od krivolinijskog elementa vrši se tako što se povlači normala na pravolinijski element kroz centar unutrašnjeg poluprečnika.

Potrebna dužina lima za izradu dela u obliku U profila (sl. 4.44) određuje se po obrascu:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R \cdot s \cdot k) \right) \text{ mm},$$

gde je:

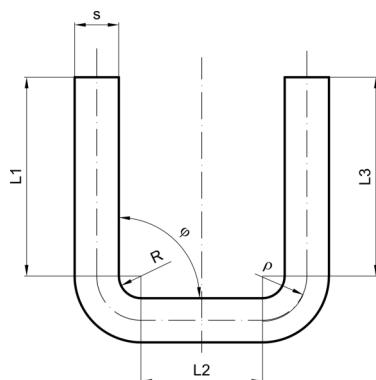
L_1, L_2, L_3 – dužina pravolinijskih elemenata (mm),

φ – ugao krivolinijskog elementa u stepenima (na slici 4.46 iznosi 90°)

R – unutrašnji poluprečnik savijanja (mm),

s – debljina lima (mm),

k – popravni koeficijent.



Sl. 4.44. Određivanje dužine pripremka

Ugaono savijanje lima može se izvesti na tri načina:

- savijanjem bez matrice,
- savijanjem sa matricom i
- profilnim savijanjem.

Savijanje bez matrica se obavlja bez donjeg alata (matrice), postavljanjem lima

na dva pravilno udaljena oslonca, pri čemu se ostvaruje radijus savijanja koji je znatno veći od debljine lima i ovim postupkom oblikovanja ne može se ostvariti tačan ugao savijanja.

Prilikom *savijanja sa matricom* (sl. 4.45) lim (poz. 1) se oblikuje tako što gornji oblikac (poz. 2) vrši pritisak na lim do dna matrice (poz. 3), ostvarujući potpuno naleganje. Matrica ima oblik V, a vrednost prelaznog radijusa u dnu je izračunata na povratno elastično dejstvo čime se postiže tačnost i ujednačenost savijanja. Sila savijanja srazmerna je granici popuštanja i zavisi od mehaničkih karakteristika materijala (tvrdće, zatezne čvrstoće i izduženja), debljine lima, poluprečnika savijanja, konstruktivne karakteristike oblikača i vrste savijanja.

Potrebna sila savijanja se izračunava prema relaciji:

$$F = \frac{2 \cdot M}{R_g + 0,5 \cdot s} \cdot ctg \frac{180 - \alpha}{2}$$

gde je:

R_g – poluprečnik zaobljenja na gornjem oblikaču (mm),

s – debljina lima (mm),

α – ugao savijanja,

M – moment slobodnog savijanja (Nm).

Moment slobodnog savijanja, računa se prema formuli:

$$M = n \cdot \sigma_m \cdot \frac{b \cdot s^2}{4}$$

gde je:

n – popravni koeficijent očvršćavanja ($n=1,6-1,8$),¹⁹

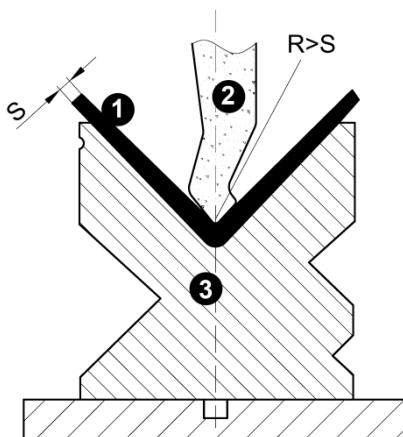
σ_m – zatezna čvrstoća materijala (N/mm^2),

b – širina dela (mm),

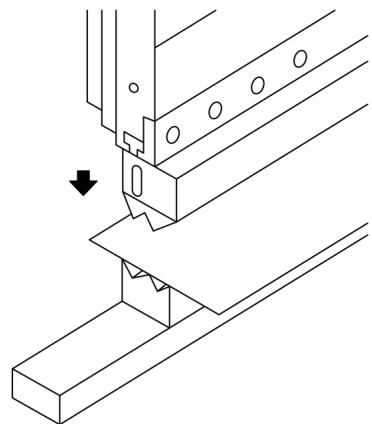
s – debljina lima (mm).

¹⁹ Veće vrednosti popravnog koeficijenta očvršćavanja usvajaju se za mekše materijale.

Za potrebe *profilnog savijanja* oblici gornjeg i donjeg alata moraju biti međusobno usaglašeni (sl. 4.46). Postupak omogućuje da unutrašnji radijusi savijanja budu manji od debljine lima kao i mogućnost postizanja zadovoljavajuće ugaone tačnosti. Međutim, da bi se to ostvarilo potrebne su velike sile deformacije koje su za 7-10 puta veće od sila savijanja kod postupka bez matrice. Ovakav način savijanja lima zahteva precizne alate i snažne mašine.



Sl.4.45. Savijanje sa matricom
1-Obradak (lim), 2-gornji oblikovač, 3-matrica



Sl.4.46. Profilno savijanje

Lučno savijanje lima

Lučno savijanje limova je operacija kojom se limu potpuno ili delimično daje cilindričan ili koničan oblik. Lučno oblikovanje lima obavlja se dejstvom savijajućih sila, čiji intenzitet mora biti dovoljno velik da prouzrokuje trajnu deformaciju lima po željenom radijusu krivine.

Lučno savijanje lima moguće je izvesti dejstvom:

- bočno savijajućih sila i
- središnje savijajućih sila.

Lučno savijanje lima može da se izvede:

- ručno ili
- mašinski.

Ručno savijanje lima realizuje se oslanjanjem lima na metalni valjak i

opterećenjem slobodnih krajeva lima, pri čemu se javljaju dve sile savijanja i jedna sila reakcije. Ukoliko se operacija savijanja obavlja čekićem sila savijanja se saopštava udarcima čekića, a sile reakcije (kojih u ovom slučaju ima dve) potiču od bočnih oslonaca na kojima leži lim.

Mašinsko savijanje lima se obavlja pomoću specijalnih mašina, tzv. valjaoničkih stanova, koji se mogu pokretati ručno ili pomoću motora. Prilikom mašinskog savijanja, savijajuće sile saopštavaju dva donja pomerljiva valjka, a silu reakcije prouzrokuje gornji nepomerljivi valjak.

Komad lima koji se želi saviti pod određenim radijusom, mora prethodno biti tačno izračunat i ocrtan, kako bi se posle obavljenog savijanja ostvarile unapred zahtevane mere. Proračun razvijene dužine lima za savijanje se uvek vrši u odnosu na neku baznu ravan, koja tokom savijanja nije izložena izduženju ili skraćenju. Pri mašinskom savijanju, s obzirom da je radijus savijanja znatno veći od debljine lima, kao bazna ravan za proračun razvijene dužine lima uzima se neutralna ravan koja se poklapa sa sredinom debljine lima. Razvijena dužina lima se izračunava po obrascu:

$$L = \pi \cdot (D_1 + s) = \pi \cdot (D_2 - s) \text{ (mm)}$$

gde je:

D_1 – unutrašnji prečnik savijenog cilindra (mm)

D_2 – spoljašnji prečnik savijenog cilindra (mm)

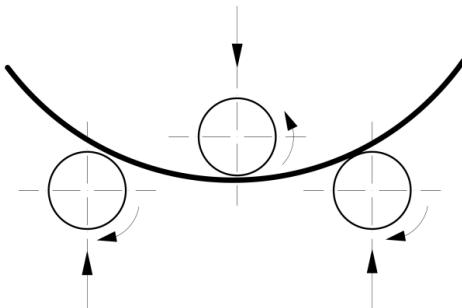
s – debljina lima (mm)

Pre sečenja i savijanja neophodno je proveriti da li razvijena dužina lima odgovara izračunatim merama. Ukoliko je razvijena dužina suviše velika, ivice lima će se sastaviti pre nego što se ostvari željeni radijus savijanja, a ukoliko je ona kraća, ivice lima pri zadatom radijusu neće moći da se sastave. Na površini lima ne smeju biti prisutne prskotine, ogrebotine ili presavijena mesta. Naime, dejstvom sile savijanja, površinska oštećenja lima mogu prouzrokovati pucanje materijala (naročito ako se oštećenja nalaze na spoljašnjoj površini cilindra). Kada je savijanje lima obavljeno pravilno, tada se na njegovoj površini ne vide bilo kakve promene. Tada se njegove slobodne ivice međusobno pravilno dodiruju.

Ručno savijanje lima pod lukom, primenjuje se veoma retko i to u slučajevima kada se oblikuju tanji limovi koji se prerađuju u predmete malih dimenzija i ograničenog prečnika. Po pravilu, ručno se savijaju limovi debljine do 4 mm i to za izradu cilindričnih omotača prečnika do 500 mm i dužine do 1 m.

Za savijanje limova pod lukom, koriste se namenske mašine, na kojima se

limovi savijaju lučno, odnosno kružno. Lim koji se savija, propušta se kroz sistem valjaka koji je sačinjen od tri valjka čije su ose međusobno paralelne i smeštene na temenima ravnokrakog trougla (sl. 4.47).



Sl. 4.47. Mašinsko lučno savijanje

Lim se oslanja na dva donja valjka na koje ga potiskuje gornji valjak. Ako se donji par valjaka pokreće u istom smeru, a gornji valjak je slobodan, ili ako se gornji valjak obrće a donji se obrće slobodno, limu se daje translаторно kretanje. Ukoliko se pri tome donji valjci pomeraju vertikalno naviše a gornji valjak translаторno ne pomera, lim se izlaže stalnom savijanju po dodirnoj izvodnici valjka. Isti rezultat se postiže translatornim spuštanjem gornjeg valjka, uz nepromenjen položaj para donjih valjaka.

Kada se tri valjka dovedu u odgovarajući međusobni položaj, a zatim pokrenu u odgovarajućem smeru obrtanja, lim se primorava da prođe kroz njih, pri čemu se on lučno savija. U tom trenutku se postepeno smanjuje rastojanje između gornjeg i donjih valjaka. Kada lim u potpunosti zakrene u jednu stranu (usled translatorynog kretanja) vrši se promena smera obrtanja valjaka. Kombinujući tako na odgovarajući način horizontalno translatoryno kretanje lima i vertikalno pomeranje valjaka uz određeni broj uzastopnih prolaza, lim se postepeno sve više lučno savija da bi na kraju dobio željeni cilindrični oblik.

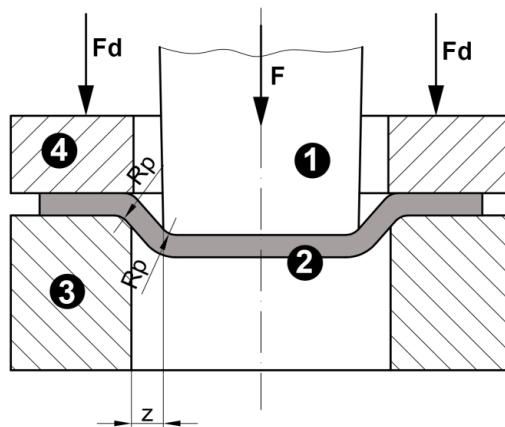
b) Izvlačenje lima

Izvlačenje je postupak obrade lima kod kog se izrađuju različiti šuplji delovi sa zatvorenom konturom i dnom, koji mogu biti rotacioni (cilindrični ili konični sudovi), nerotacioni (oblik kutije) i složenog oblika (npr. delovi karoserije vozila). Polazni pripremci su u obliku ravnog komada lima. Ovim postupkom se mogu obrađivati limovi debljine od 0,02 do 50 mm debljine, sa malim odstupanjem, finom i glatkom površinom.

U upotrebi su različiti tipovi alata za izvlačenje koji se mogu podeliti:

- Prema obliku proizvoda (alati za izvlačenje rotacionih ili nerotacionih delova, alati za izvlačenje sitnih delova iz trake, alati za reljefno izvlačenje²⁰ itd.),
- Prema radnoj temperaturi (alati za izvlačenje u topлом ili hladnom stanju),
- Prema načinu ostvarivanja izvlačenja (alati za izvlačenje pomoću izvlakača i prstena za izvlačenje, alati za izvlačenje pod pritiskom tečnosti, itd.),
- Prema vrsti deformacije (alati za izvlačenje sa ili bez stinjanja debljine zida).

Na slici 4.48 prikazan je šematski postupak izvlačenja cilindričnog suda prečnika (d) i visine (h). Za izradu suda koristi se pripremak prečnika (D) i debljine lima (s). Na obradak se deluje izvlakačem (poz. 1) koji izvlači obradak (poz. 2) kroz prsten za izvlačenje (poz. 3). Da bi se spričilo naboranje obratka tokom izvlačenja, lim se najčešće pritiska (pridržava) sa držačem lima (poz. 4).



Sl. 4.48. Šematski prikaz postupka izvlačenja

1-izvlakač, 2-obradak, 3-prsten za izvlačenje, 4-držač lima

Između izvlakača i otvora prstena za izvlačenje mora postojati zazor veći od debljine lima, kako ne bi dolazio do kidanja lima. Potreban zazor između izvlakača i otvora prstena za izvlačenje, kod izrade obratka rotacionog oblika, izračunava se prema obrascu:

$$z = s + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} \text{ (mm)}$$

gde je:

²⁰ Reljefno izvlačenje izvodi se sa ciljem povećanja krutosti lima ili iz estetskih razloga.

s – debljina lima (mm),

k – koeficijent koji zavisi od vrste materijala (za čelični lim k=0,07, aluminijum k=0,02, za ostale lake i obojene metale k=0,04).

Takođe, ivice izvlakača i prstena za izvlačenje moraju biti zaobljene (sl. 4.48), a poluprečnici zaobljenja izračunavaju se prema obrascu:

$$R_p = 0,8 \cdot \sqrt{(D-d) \cdot s} \text{ (mm)}$$

gde je:

D – prečnik pripremka (mm),

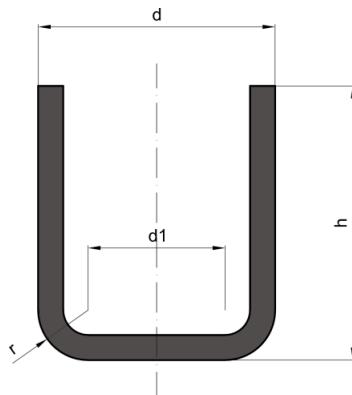
d – unutrašnji prečnik dela nakon izvlačenja (mm),

s – debljina lima (mm).

Prečnik pripremka (D) potreban za izradu cilindrične kutije prečnika (d) i visine (h) izračunava se prema formuli:

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot d_1 + 4 \cdot d \cdot h + 8 \cdot r^2} \text{ (mm)}$$

Karakteristične vrednosti iz prethodnog obrasca date su na slici 4.49.



Sl. 4.49. Dimenzije cilindričnog suda potrebne za izračunavanje prečnika pripremka

Sila potrebna za izvlačenje lima može se približno izračunati iz izraza:

$$F = \pi \cdot d \cdot R_m \cdot k \text{ (N)}$$

gde je:

d – prečnik izvučenog dela (mm),

R_m – zatezna čvrstoća lima (N/mm^2),

k – popravni koeficijent (vrednosti se kreću u granicama 0,4-0,9 i zavise od koeficijenta stinjanja pri izvlačenju).

Sila držača lima u velikoj meri utiče na proces izvlačenja. Naime, nedovoljan pritisak izaziva naboranje lima tokom izvlačenja, dok suviše visok pritisak dovodi do prevelikog razvlačenja materijala i pucanja lima.

Sila držača lima izračunava se iz obrasca:

$$F_d = A \cdot p \text{ (N)}$$

gde je:

A - površina pripremka ispod držača lima (mm^2),

p – specifični pritisak između lima i držača (kreće se u granicama 1-2 N/mm^2).

5. | TEHNOLOGIJA SPAJANJA METALA

5.1. UVOD

Delovi koji sačinjavaju jedan sklop posle pojedinačne izrade koja se obavlja rezanjem, sečenjem ili deformacijom, najčešće se spajaju tako da formiraju jedinstvenu funkcionalnu celinu. Spojevi se razlikuju prvenstveno po svojoj nameni, odnosno funkciji, pa se mogu podeliti u sledeće kategorije:

- rastavljivi,
- zglavkasti,
- privremeni i
- trajni.

Kod rastavljivih sklopova samo ime kaže da se delovi sklopa mogu lako rastaviti bez njihovog razaranja (npr. vijci, navojni elementi cevi, klinovi i sl.). Kod zglavkastih spojeva omogućena je izvesna sloboda kretanja sastavnih elemenata sklopa (npr. šarka). Zadatak privremenih spojeva jeste da izvrše privremeno spajanje u položaju potrebnom za definitivno spajanje. Privremeni spojevi su najčešće priprema za trajno spajanje. Ovakva spajanja se najčešće ostvaruju vijcima ili tačkastim zavarivanjem. Trajni spojevi (nerazdvojiva veza) koriste se u slučajevima kada se želi da sastavni delovi ostanu u trajnoj međusobnoj vezi. Za ovakve spojeve je karakteristično da rastavljanje delova sklopa nije moguće ostvariti bez razaranja nekog od njih (npr. zavarivanje, zakivanje, pertlovanje i sl.).

5.2. ZAVARIVANJE

Zavarivanje je jedan od najznačajnijih tehničkih procesa spajanja materijala. Ova tehnologija je našla široku primenu u mašinogradnji, procesnoj industriji, brodogradnji, građevinarstvu, automobilskoj industriji i sl, kao i pri reparaciji oštećenih delova mašina. Za razliku od spajanja zakivcima i zavrtnjevima, kod zavarivanja se sile sa jednog dela na drugi ne prenose diskontinuirano (od jednog zakivka ili zavrtnja do drugog), već preko kontinuiranog spoja metala, pri čemu se veza ne može demontirati bez razaranja. Prednosti zavarivanja u odnosu na druge postupke spajanja su: niski troškovi potrošnog materijala, potreban je mali broj izvršilaca, profilisani i valjani predmeti se spajaju na jednostavan način, kratko vreme izrade (srazmerno mali troškovi radne snage), zavarivanjem se ostvaruju zaptiveni spojevi bez primene zaptivnog i pomoćnog materijala, uspešno se obavlja na bilo kom mestu...

5.2.1. Fizičke osnove zavarivanja

Metali se u čvrstom stanju sastoje od atoma, čiji je raspored pravilan i koji su međusobno povezani odgovarajućim međatomskim vezama. Vrsta međatomskih veza određuje fizička, hemijska i mehanička svojstva metala. Teoretski, spajanje dva atoma različitih materijala, moguće je ostvariti približavanjem atoma na rastojanje jednako (ili kraće) od rastojanja atoma unutar kristalne rešetke. Međutim, u stvarnosti je ovo nemoguće postići. Za spajanje dva materijala, potrebno je dodati spoljnju energiju (mehaničku ili toplotnu). Spajanje materijala u neraskidivu vezu može se ostvariti:

- primenom velikih pritisaka bez zagrevanja materijala,
- zagrevanjem materijala i delovanjem na njega umerenim pritiscima i
- zagrevanjem materijala na mestu spoja do temperature topljenja (bez primene pritiska).

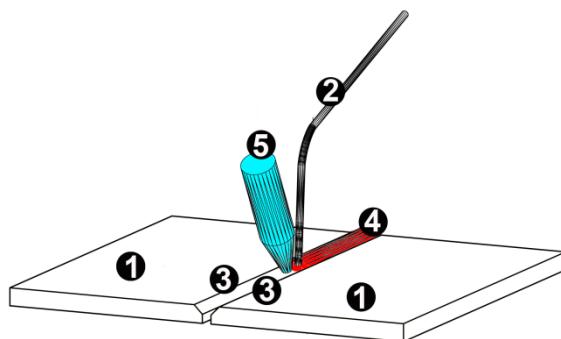
Da bi se dva materijala spojila u hladnom stanju, neophodno je na njih delovati velikim pritiskom, usled čega dolazi do lokalne plastične deformacije materijala i njihovog spajanja. Ukoliko se zблиžavanje atoma različitih materijala, realizuje uz prethodno zagrevanje, dolazi do lokane plastične deformacije materijala, difuzije atoma i spajanja (ovo se primenjuje kod kovačkog i elektrotopornog zavarivanja). Nakon difuzije atoma iz kristalne rešetke jednog metala u kristalnu rešetku drugog metala i rekristalizacije usled povišenih temperatura, svojstva metala na mestu spajanja biće slična svojstvima metala u tačkama izvan područja spoja. Kod ove vrste spajanja potrebna je znatno manja sila delovanja u odnosu na spajanje u hladnom stanju. Međutim, obrazovanje spoja moguće je ostvariti i bez primene spoljne sile. Naime, za obrazovanje neraskidive veze, dovoljno je obrazovati zajednički rastop¹ dva materijala. Nakon hlađenja i kristalizacije rastopa, ostvaruje se maksimalna čvrstoća spojenih delova.

5.2.2. Elementi zavarenih spojeva

Na slici 5.1. prikazani su osnovni elementi zavarenog spoja, koga čine:

- osnovni metal,
- dodatni metal,
- ivice predmeta i
- izvor toplote.

¹ Rastop - tečno stanje materije koja je inače čvrsta na sobnoj temperaturi.



Sl. 5.1. Elementi zavarenog spoja

1-Osnovni materijal, 2-Dodatni materijal, 3-Ivice predmeta, 4-Zavar, 5-Izvor toplote

Osnovni metal (sl. 5.1, poz. 1) je metal od kojeg su izrađeni predmeti namenjeni spajajući zavarivanjem. Najčešći metali koji se pojavljuju u zavarivačkoj praksi su: čelik, aluminijum i njegove legure, bakar i njegove legure, mangan, nikl, hrom, molibden, vanadijum, volfram, kobalt, titan i magnezijum. Pored metala u zavarivačkoj praksi, pojavljuju se i nemetali kao stalni pratioci metala ili kao njihov legirajući element: ugljenik, silicijum, sumpor, fosfor, vodonik, kiseonik i azot.

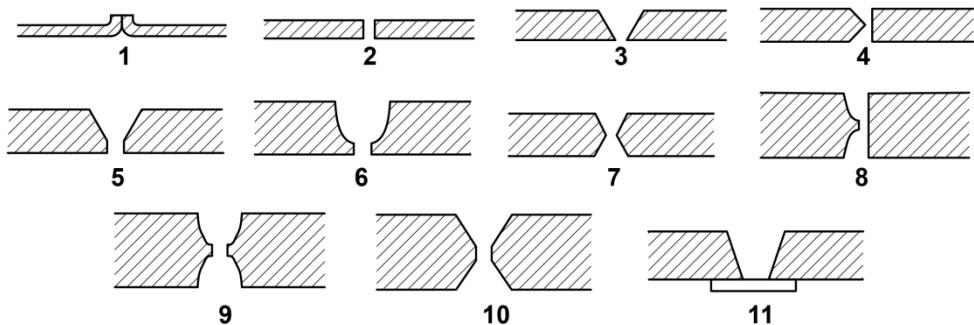
Dodatni materijal je metal koji se topi između predmeta za spajanje (sl. 5.1, poz. 2). Dodatni materijal najčešće se izrađuje u obliku metalne šipke². Dodatni materijal treba da je približno istog sastava kao i osnovni materijal.

Ivice predmeta (sl. 5.1, poz. 3) su površine predmeta duž kojih se vrši zavarivanje. Ivice predmeta formiraju žljeb u koga se vrši polaganje dodatnog materijala. Ivice moraju biti pripremljene i profilisane tako da se obezbedi optimalna penetracija metala za dodavanje, čime je omogućeno dobro spajanje predmeta. Izbor oblika ivice predmeta zavisi od postupka zavarivanja, vrste spoja, položaja zavarivanja, prirode osnovnog materijala i debljine osnovnog materijala. Razlikuju se jednostrani i dvostrani žlebovi. Na slici 5.2 prikazani su različiti oblici ivičnih površina. **Rubni spoj** (sl. 5.2_1) primenjuje se kod gasnog zavarivanja tankih limova (debljine do 1,5 mm). **Čeoni spoj** (2) karakterišu ravno pripremljene ivice materijala koji se spaja. Ovaj spoj se primenjuje pri zavarivanju limova debljine manje od 5 mm (razmak između limova iznosi 0-2 mm). Čeoni spoj se primenjuje samo kod statički opterećenih elemenata. Kada je zavareni element izložen promenljivom ili udarnom opterećenju, tada je kod čeonog spoja neophodni izbrusiti koren šava i ponovo ga

² Tanki limovi mogu biti zavareni i bez primene materijala za dodavanje. Zavarivanje se ostvaruje međusobnim stapanjem osnovnih materijala. Kod ovog načina zavarivanja potrebno je da ivice budu pripremljene na odgovarajući način (sl. 5.2_1).

zavariti. Priprema ivičnog spoja u **V oblik** (3) primenjuje se tokom zavarivanja materijala debljine 4-15 mm. Ugao otvora V žleba jo 60° , razmak između delova koji se zavaruju u korenom delu je 0-4 mm, a zatupljenje korenog dela ivice predmeta je 0-3 mm. Zavarivanje obradaka debljine od 15 do 30 mm obavlja se uz prethodnu pripremu ivičnih površina u obliku slova **X** (7) i **Y** (5)³, dok se za debljine obradaka veće od 30-60 mm primenjuje **U oblik** (6) ivičnih površina⁴. Ugao otvora **X** žleba jo 60° , razmak između delova koji se zavaruju u korenom delu je 0-4 mm, a zatupljenje korenog dela ivice predmeta je 1-3 mm. Za zavarivanje delova debljine veće od 30 mm primenjuju se dvostrani **U** i dvostrani **Y** oblik ivičnih površina (9,10). Ugao žleba **U** oblika je 10° , razmak između delova koji se zavaruju u korenom delu je 0-4 mm, a zatupljenje korenog dela ivice predmeta je 1-3 mm. Pri izvođenju krstastih ili **T** zvara žljeb se priprema u obliku slova **K** (za debljine do 15 mm, sl. 5.2_4) i dvostruki **J** (za debljine do preko 15 mm, sl. 5.2_8).

Kada je suprotna strana zavara nepristupačna za zavarivanje, a postoji opasnost od nedovoljnog ili neujednačenog provara u korenu šava, sa suprotne strane vara se postavlja podložna traka (sl. 5.2_11). Podložna traka može biti izrađena od istog metalra kao i osnovni materijal (tada traka ostaje privarena uz šav) ili od drugog metalra (najčešće bakra). Prednosti koje se postižu korišćenjem podložne trake su zavarivanje samo sa pristupačne strane i povećana produktivnost.



Sl. 5.2. Uobičajeni geometrijski oblici pripreme ivičnih površina

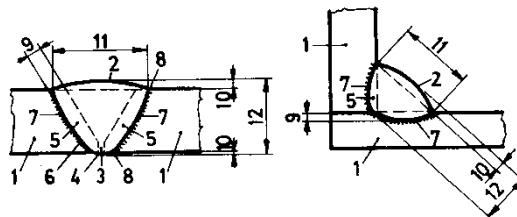
1-rubni spoj, 2-čeoni spoj, 3-V-spoj, 4-K-spoj, 5-Y-spoj, 6-U-spoj, 7-X-spoj, 8-dvostruki J spoj, 9-dvostrani U spoj, 10-dvostrani Y spoj, 11-V spoj sa podlogom

Zavar (sl. 5.1, poz. 4) je sačinjen isključivo od metala, osnovnog i dodatnog,

³ Oblik žleba X se primenjuje u slučajevima kada se zavarivanje može izvršiti sa obe strane obratka, a Y ukoliko se zavarivanje realizuje samo sa jedne strane (druga strana je nedostupna za zavarivanje).

⁴ Izrada U žleba je teža u odnosu na X žljeb. Međutim, ovaj oblik žleba omogućuje značajnu uštedu metala za dodavanje.

koji je pri zavarivanju nastao očvršćavanjem iz zajedničkog tečnog rastopa. Na slici 5.3 dati su osnovni elementi i dimenzije sučeonog i ugaonog zavara. Zavar čini lice, naličje i koren šava, uvar i linija rastopa.



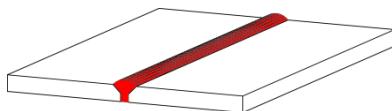
Sl. 5.3. Elementi zavara

1-osnovni materijal, 2-lice šava, 3-naličje šava, 4-koren šava, 5-uvar, 6-granica uvara, 7-zona pod uticajem toplotne, 8-linija rastapanja, 9-dubina uvara, 10-nadvišenje šava (lica ili korena), 11-širina šava, 12-debljina šava, 13-debljina navara

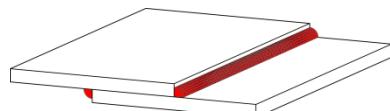
Izvor toplote (sl. 5.1, poz. 5) obezbeđuje toplotu potrebnu za zagrevanje i topljenje osnovnog i dodatnog metala.

U zavisnosti od međusobnog položaja osnovnih materijala, spojevi mogu biti:

- **Sučeoni spojevi** – Spoj se ostvaruje postavljanjem oba predmeta koji se zavaruju u istu ravan, sa sučeljenim ivicama (sl. 5.4),
- **Preklopni spojevi** – Spoj se ostvaruje međusobnim preklapanjem površina predmeta koji se zavaruju, zavarivanje se vrši sa obe strane preklopног spoja (sl. 5.5),

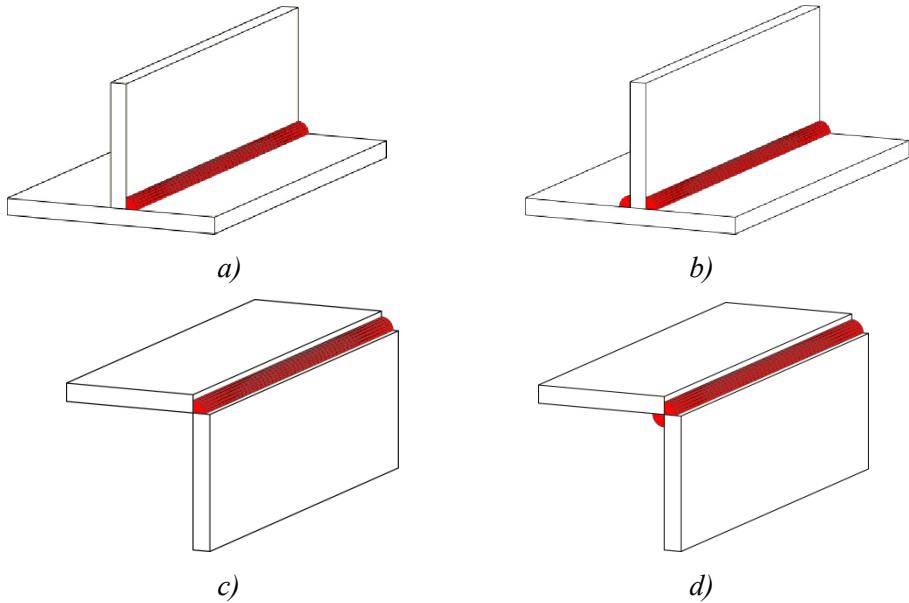


Sl. 5.4. Sučeoni spojevi



Sl. 5.5. Preklopni spoj (direktni preklopni spoj sa čeonim ugaonim šavovima)

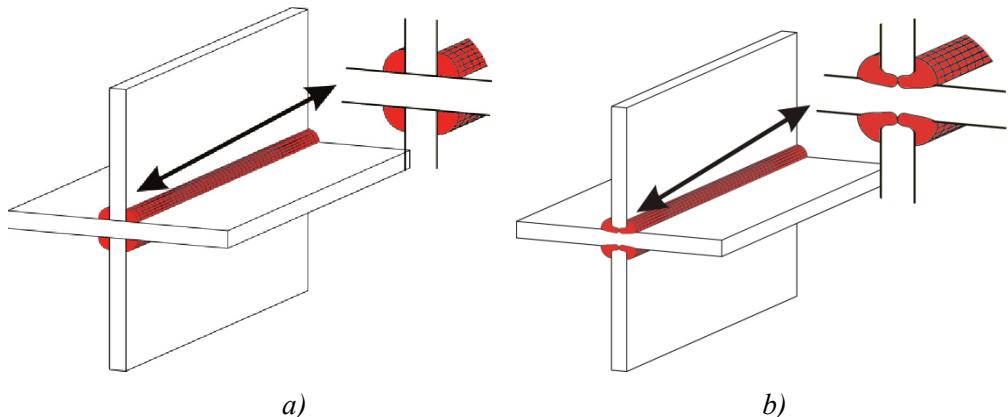
• **Ugaoni spoj** – Spoj se ostvaruje u slučajevima kada delovi koji se zavaruju zaklapaju međusobni ugao. Ugao između delova koji se zavaruju je najčešće prav, ali može biti i proizvoljan. Ostvareni spojevi mogu biti takvi da su šavovi u unutrašnjem (sl. 5.6 a, b), spoljašnjem uglu (sl. 5.6 c) i na unutrašnjem i na spoljašnjem uglu (sl. 5.6d).



Sl. 5.6. Ugaoni spoj

a - šav u jednom ugлу, b - šav u oba ugla, c - šav na spoljašnjem uglu d - šav na spoljašnjem i unutrašnjem uglu

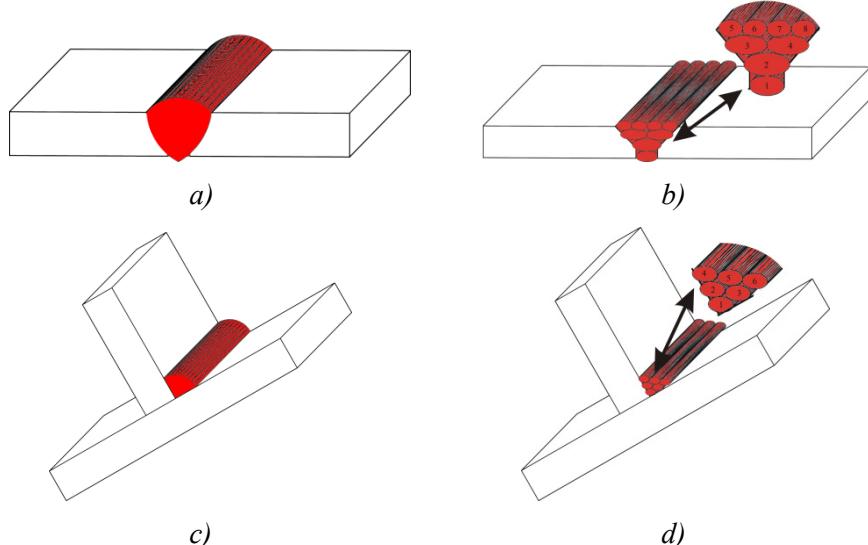
• **Krstasti spojevi** - nastaju u slučajevima kada delovi koji se spajaju čine oblik krsta (sl. 5.7.). Ovi spojevi mogu biti realizovani primenom ugaonog šava (sl. 5.7a) ili K-šavovima. Ugaoni šav može se realizovati bez posebne pripreme ivice.



Sl. 5.7. Krstasti spoj

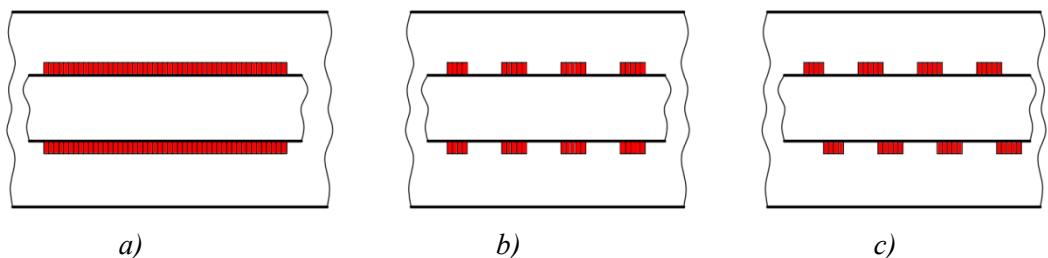
a - zavaren ugaonim šavovima, b - zavaren K šavovima

Jedan šav može biti izveden jednim zavarom (sl. 5.8 a, c), dok žljeb može biti ispunjen i sa više zvara (sl. 5.8 b, d). Debljina jednog sloja iznosi između 3-4 mm za osnovni materijal debljine do 15 mm, dok za materijale debljine veće od 15 mm debljina sloja iznosi 5-6 mm. Najteže je izvesti prvi, korenji zavar. Debljina prvog zavara treba da bude dovoljno velika da se odupre silama koje nastaju usled skupljanja pri očvršćavanju kako ne bi došlo do prskanja zavara.



Sl. 5.8. Šav i zavar

Prema kontinuitetu i međusobnom položaju zavarenih mesta, šavovi mogu biti neprekidni (sl. 5.9_a), uporedno isprekidani (b) i naizmenično isprekidani (c). Neprekidan šav obuhvata celu dužinu spajanja. Koristi se često kao zaptivni šav.



Sl. 5.9. Vreste šavova prema kontinuitetu izvođenja
a-neprekidni šav, b-uporedo isprekidani šav, c-naizmenično isprekidani šav

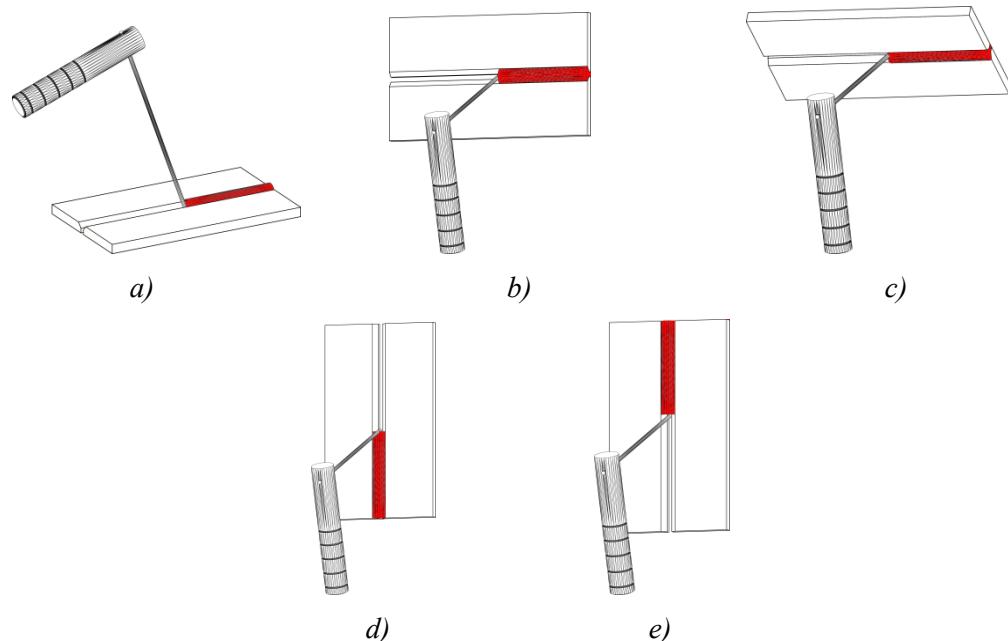
5.2.3. Položaj zavarivanja

Zavarivanje se može izvoditi u različitim položajima: horizontalnom, horizontalno vertikalnom (zidnom), vertikalnom i nadglavnom položaju (sl. 5.10).

Zavarivanje u horizontalnom položaju (sl. 5.10 a) predstavlja najjednostavniji vid zavarivanja. Rastopljeni materijal, pod dejstvom zemljine teže, krećući se u šav odozgo nadole.

Zavarivanje u vertikalnom položaju (sl. 5.10 b, d, e) predstavlja komplikovaniji vid zavarivanja jer istopljeni metal nastoji da istekne iz zone zavarivanja delovanjem sile zemljine teže. Može se vršiti na dva načina: odozdo nagore (sl. 5.10 d) i odozgo nadole (sl. 5.10 e).

Nadglavno zavarivanje (sl. 5.10 c) je najkomplikovanije za izvođenje, jer istopljeni metal teži da iscuri iz kratera. Zadržavanje kapi metala na vrhu elektrode i u krateru pri nadglavnom zavarivanju, moguće je samo veoma kratkim lukom.



Sl. 5.10. Položaji zavarivanja

a - horizontalni, b - zidni, c - nadglavni, d - vertikalni - odozdo nagore, e - vertikalni - odozgo nadole

5.2.4. Podela postupaka zavarivanja

Postoji više podela postupaka zavarivanja, međutim najprihvativija je podela u zavisnosti od energije koja se koristi pri zavarivanju. Razlikuje se:

- A - zavarivanje topljenjem - primenom toplotne energije,
- B - zavarivanje pritiskom - primenom mehaničke energije.

U zavarivanje topljenjem, spadaju postupci kod kojih zagrevanje igra važnu ulogu. Osnovni postupci kod zavarivanja topljenjem su:

- gasno zavarivanje - (Odlikuje se visokotemperaturnim plamenovima koji se obrazuju pri sagorevanju ugljovodonika sa kiseonikom. Među postupcima gasnog zavarivanja najvažnije mesto zauzima oksiacetilensko zavarivanje, koje se u radioničkoj praksi naziva „*autogeno zavarivanje*“),

- aluminotermijsko ili silikotermijsko zavarivanje - (Postupak se zasniva na zagrevanju materijala egzoternim reakcijama redukcije oksida.),

- elektrolučno zavarivanje - (Zagrevanje materijala vrši se dejstvom električne energije). Elektrolučno zavarivanje se deli na zavarivanje:

- obloženim elektrodama (REL postupak),
- u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa (TIG) i (MIG),
- u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa (MAG),
- pod zaštitom praška (EPP),
- zavarivanje plazmom,
- zavarivanje laserom i
- zavarivanje elektronskim snopom.

U zavarivanje pod pritiskom spadaju postupci kod kojih način zagrevanja nema posebnu važnost. Kod ove vrste zavarivanja, uneta toplota se troši delimično ili potpuno na zagrevanje materijala, a samo zavarivanje se obavlja pod dejstvom pritiska. U ove postupke zavarivanja spadaju:

- kovačko zavarivanje,
- elektrootporno zavarivanje:
 - preklopno - tačkasto, bradavičasto, šavno
 - sučeono - varničenjem i zbijanjem
- zavarivanje trenjem,

- zavarivanje na hladno,
- difuziono zavarivanje,
- zavarivanje ultrazvukom i
- zavarivanje eksplozijom.

Svaki od ovih postupaka zavarivanja ima svoje prednosti, kao i utvrđeno polje primene u kojem postiže najpovoljnije tehničke uslove u pogledu kvaliteta zavarenog spoja, odnosno najpovoljnije ekonomске uslove.

5.2.5. Gasno zavarivanje

Gasno zavarivanje je jedno od najstarijih vrsta zavarivanja i počelo se primenjivati početkom 19-og veka. Predstavlja postupak spajanja metala kod koga se topljenje materijala vrši uz pomoć gasnog plamena. Spoj se ostvaruje topljenjem osnovnog ili osnovnog i dodatnog materijala i njihovim zajedničkim očvršćavanjem. Gasno zavarivanje se primenjuje za zavarivanje čeličnih limova debljine do 5 mm. Zavarivanje delova većih debljina je moguće, međutim, zbog dugog perioda zagrevanja, nije ekonomski prihvatljivo. Pored čelika, gasno zavarivanje se primenjuje pri spajanju obojenih metala, livenog gvožđa, kao i pri izvođenju tvrdog lemljenja i navarivanja u remontu delova mašina. Pri gasnom zavarivanju, najčešće se koriste rubni, čconi, V i X žlebovi.

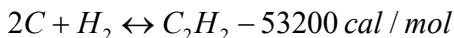
5.2.5.1. Gasni plamen

Toplota potrebna za topljenje osnovnog metala i metala za dodavanje se dobija sagorevanjem odgovarajućeg gasa u struji kiseonika. Gorivi gasovi se uvode u aparat za gasno zavarivanje, odakle izlaze pomešani sa kiseonikom u odgovarajućoj proporciji, sagorevajući plamenom koji dostiže visoke temperature. Temperature sagorevanja različitih materijala date su u tabeli 5.1.

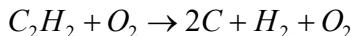
Tab. 5.1. Temperature sagorevanja različitih gasova

Gorivo	Plamen	Temp.
Vodonik	vodonik-kiseonik	2500°C
Metan	metan-kiseonik	2750°C
Propan	propan-kiseonik	2750°C
Butan	butan-kiseonik	2850°C
Acetilen	acetilen-kiseonik	3200°C

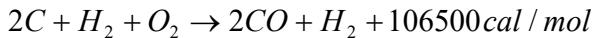
Sagorevanje predstavlja hemijsku reakciju oksidacije pri kojoj proizvodi ove reakcije postižu visoku temperaturu uz obrazovanje plamena. Kiseonik se koristi u cilju potpomaganja sagorevanja gorivog gasa. Za sagorevanje se koriste različiti gorivi gasovi: vodonik, metan, propan, butan i acetilen. S obzirom na to da acetilen obezbeđuje najvišu temperaturu sagorevanja (3200°C), najčešće se koristi za zavarivanje. Acetilen je na normalnoj temperaturi i atmosferskom pritisku bezbojan gas, slabog eteričnog mirisa. Svaki molekul acetilena sadrži dva atoma ugljenika i dva atoma vodonika. Atomi vodonika su povezani trovalentnom vezom što acetilenu daje veliku energiju ($\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$). Pored visoke temperature sagorevanja, prednost acetilena je i to što sastav njegovog plamena ima značajnu sposobnost redukcije. Povoljne osobine acetilena kao gasa za sagorevanje pripisuju se sa jedne strane povišenom sadržaju ugljenika u molekulu C_2H_2 (acetilen sadrži 92,3 tež.% ugljenika i 7,7 tež.% vodonika) a sa druge strane endotermnom karakteru reakcije obrazovanja acetilena:



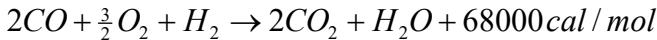
Normalan plamen nastao sagorevanjem acetilena u struji kiseonika sadrži tri karakteristične zone (sl. 5.11). Zona jedan je jezgro plamena i karakteriše ga svetli konus. U ovoj zoni, pod uticajem zagrevanja, vrši se raspodjeljivanje acetilena prema jednačini:



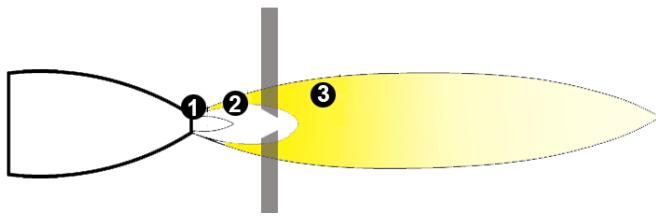
U zoni dva se vrši primarno sagorevanje acetilena u smeši sa kiseonikom koji dolazi u gorionik iz boce. Maksimalna temperatura sagorevanja gase je na kraju ove zone i iznosi oko 3200°C . Ova zona se naziva zona zavarivanja i karakteriše je plavičasta boja. Kod dobro naregulisanog plamena, dužina zone iznosi 3-5 mm. Primarno sagorevanje acetilena u ovoj zoni odvija se prema sledećoj reakciji:



Primarno sagorevanje dovodi do formiranja redukujuće zone (zona 3) u kojoj su skocentrисани proizvodi sagorevanja ($\text{CO}=61\%$, $\text{H}_2=22\%$ i $\text{H}=17\%$). Zona 3 okružuje i produžuje predhodne zone i odlikuje se prljavo belom bojom. U ovoj zoni se odvija sekundarno sagorevanje uz pomoć okolnog vazduha, prema relaciji:



Značaj redukujuće zone se ogleda u tome što sprečava ubrzano hlađenje materijala (temperatura 1200°C), pa iz tog razloga se koristi za predgrevanje predmeta.



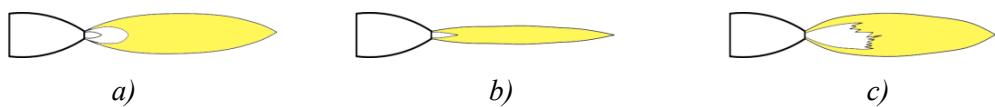
Sl. 5.11. Zone plamena

1-jezgro plamena, 2-zona primarnog sagorevanja, 3-redukujuća zona

Karakter plamena nastao sagorevanjem acetilena u struji kiseonika, zavisi od odnosa (a) između zapremine kiseonika i acetilena u gorioniku:

$$a = \frac{O_2}{C_2H_2}$$

Na slici 5.12 prikazan je različit oblik plamena u zavisnosti od odnosa zapremine kiseonika i acetilena tokom sagorevanja. Normalan plamen (sl. 5.12_a) dobija se pri odnosu zapremine kiseonika i acetilena u granicama 1,1 do 1,2. Kada je $a > 1,2$ plamen je oksidni (sa viškom kiseonika, prikazano na sl. 5.12_b). Ovaj plamen karakteriše kratko jezgro i omotač plamena, što je rezultat viška kiseonika. Karakteristično za ovaj plamen je nešto viša temperatura sagorevanja u odnosu na normalan i redukujući plamen (do 3300°C). Slabo oksidišući plamen primenjuje se kod zavarivanja livenog gvožđa, mesinga, bronce ili pri obradi stakla. Kada je $a < 1,1$ tada je plamen redukujući (sa viškom acetilena, prikazano na sl. 5.12_c) i karakteriše ga izduženo i nepravilno jezgro koje se spaja sa plaštrom plamena. Ovaj plamen vrši redukciju oksida i povećava sadržaj ugljenika u rastopu.⁵



Sl. 5.12. Tipovi plamena

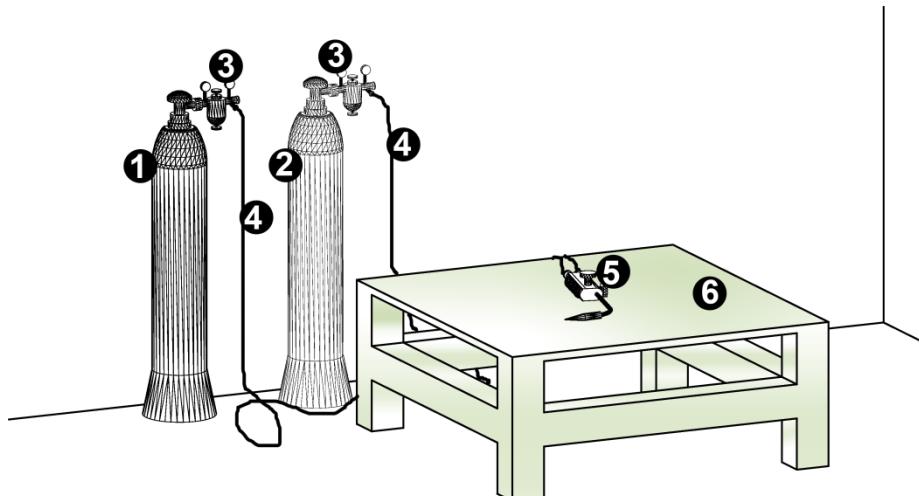
a-normalni plamen, b-oksidujući plamen, c-redukujući plamen

⁵ Redukujući plamen primenjuje se prilikom zavarivanja bakra. Naime, dobra električna provodljivost bakra posledica je niskog sadržaja kiseonika. Ukoliko se nepažnjom varioča uvede velika količina kiseonika u rastop bakra (primenom oksidišućeg plamena), može se značajno umanjiti električna provodljivost.

5.2.5.2. Oprema za gasno zavarivanje

Oprema za gasno zavarivanje sastoji se iz (sl. 5.13):

- izvora gasova (kiseonik, poz. 1 + gorivi gas, acetilen, poz. 2)
- redukcionog ventila (poz. 3),
- creva za provođenje gasova (poz. 4),
- gorionika za zavarivanje (poz. 5),
- nepovratnog ventila (osigurač),
- radnog stola (po potrebi, poz. 6) i
- osnovnog i dodatnog materijala - žice.



Sl. 5.13. Oprema za gasno zavarivanje

1-boca za kiseonik, 2-boca za acetilen, 3-redukcionи ventil, 4-creva za sprovođenje gasova, 5-gorionik, 6-radni sto

Izvori gasova su čelične boce (za manju upotrebu) ili sistem centralnog razvoda koji je doveden do samog radnog mesta. Kod čeličnih boca, gas je komprimovan pod određenim pritiskom, u gasovitom ili tečnom stanju (acetilen pod pritiskom od 1,8 MPa rastvoren u acetonu (disugas), kiseonik pod pritiskom od 15,2 MPa u gasovitom stanju).

Na svakoj boci su utisnute sledeće oznake:

A. Opšte oznake:

- ime i oznaka proizvođača;

- redni broj boce;
- godina proizvodnje boce;
- zapremina boce u litrama;
- probni pritisak u barima;
- datum poslednjeg izvršenog ispitivanja;
- žig organa koji je izvršio ispitivanje i
- žig termičke obrade koji se upisuje iz radnog broja boce.

B. Posebne oznake

Na bocama za sabijene gasove:

- najveći dozvoljeni pritisak u barima.

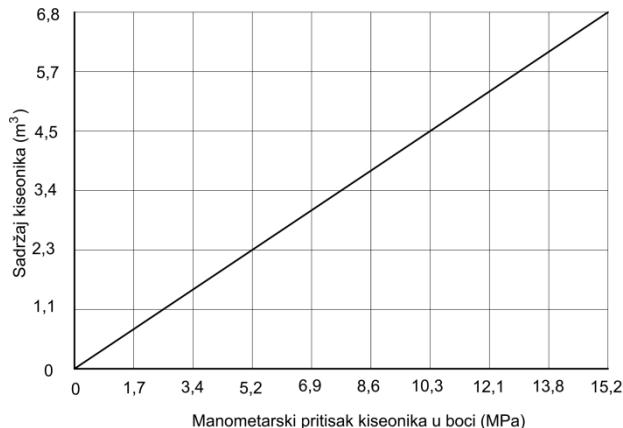
Na bocama za tečne gasove:

- najveće dozvoljene težine punjenja u kg.

Na bocama za rastvoreni acetilen:

- najveći dozvoljeni pritisak u barima;
- ime radne organizacije koja je punila poroznu masu;
- naziv i vrsta porozne mase i
- žig inspektora parnih kotlova (posle punjenja poroznom masom i acetonom).

Boce za kiseonik su izrađene od čelika dubokim izvlačenjem. Najčešće korišćene boce su zapremine oko 40 l i u svaku može da se sabije oko $6,9 \text{ m}^3$ kiseonika (na temperaturi okoline 21°C i pri pritisku u boci od 15,2 MPa u boci se nalazi 9 kg kiseonika). Na slici 5.14. prikazana je promena sadržaja kiseonika u boci pri promeni manometarskog pritiska izmerenog na redupcionom ventilu (vrednosti se odnose na temperaturu okolnog vazduha od 21°C).

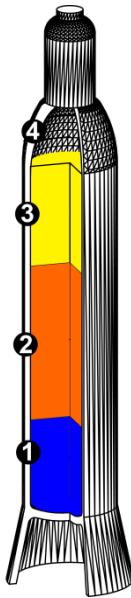


Sl. 5.14. Promena sadržaja kiseonika u funkciji promene manometarskog pritiska u boci (temperatura 21°C)

Masa standardne boce za kiseonik (sa ventilom i zaštitnom kapom) iznosi od 47 do 63 kg (zavisno od vrste čelika od koje je boca izrađena). Boce za kiseonik se obeležavaju plavom bojom. Sferna površina i kapa boce su takođe plave.

Acetilen, zbog svoje trovalentne veze između atoma ugljenika je vrlo nestabilan. Najveći dozvoljeni pritisak sabijanja acetilena je 103 kPa. Kako bi se povećao dozvoljeni pritisak sabijanja *boce za acetilen* su ispunjene specijalnom poroznom masom i acetonom (sl. 5.15). Za poroznu masu (poz. 1) koristi se drveni čumur ili mešavina uglja, infuzorska zemlja, azbestna vlakna ili drugi laki i porozni materijali. Porozna masa zauzima oko 21 % zapremine boce, dok aceton (rastvarač, poz. 2) zauzima oko 38,5% zapremine boce (standardno korišćene boce su zapremine 40 litara). Acetilen u boci ispunjenoj poroznom masom i acetonom, stabilan je na pritisku 1,8 MPa.⁶ Bocu za acetilen potrebno je zamjeniti (dopuniti) kada pritisak u boci opadne ispod 69 kPa. Količina acetilena u boci zavisi od sadržaja acetona. Kada se acetilen upumpava u bocu, jedna litra acetona rastvara 20 litara acetilena pri svakom porastu pritiska od 101,3 kPa (u boci zapremine 40 litara stane oko 6 m^3 ili 6,5 kg acetilena). Boce se obeležavaju belom obojenom trakom na 2/3 visine i natpisom - acetilen.

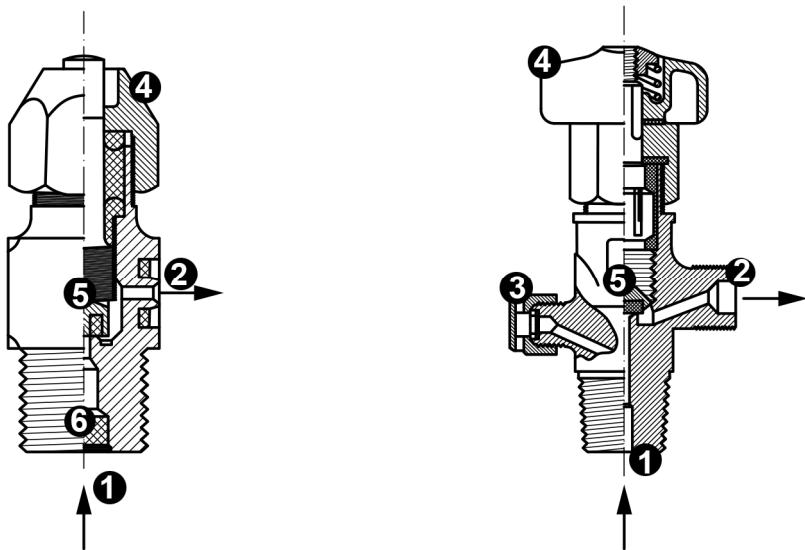
⁶ Acetilen je u boci rastvoren u acetonu. Kada se otvorí ventil na boci sa acetilenom, mehurići acetilena se oslobađaju iz acetona slično oslobađanju ugljen dioksida iz gaziranih napitaka.



Sl. 5.15. Boca sa acetilenom

1 – porozna masa (21 %); 2 – aceton (38,5 %); 3 – rastvorenii acetilen (25 %); 4 – slobodan prostor (15,5 %)

Sa gornje strane boce za smeštaj gasova nalazi se ventil. Zadatak ventila je da otvori i zatvori prolaz gasa iz boce. Na slici 5.16 prikazani su ventili koji se ugrađuju na boce za smeštaj acetilena (a) i kiseonika (b). Ventili na bocama su različitog konstruktivnog rešenja, pre svega iz bezbednosnih razloga (kako bi se eliminisala bilo kakva mogućnost zamene boce ili opreme koja se na nju montira). Takođe, ventili koji se ugrađuju na boce za smeštaj gorivih gasova (acetilen) imaju levi navoj, a ventili koji se ugrađuju na boce za kiseonik desni navoj. Ventil boce za kiseonik se izrađuje od mesinga. Otvara se okretanjem točkića (poz. 4) kojim se rotacija prenosi na navojno vreteno i navojni čep sa zaptivkom (poz. 5). Ventil boce za kiseonik mora biti potpuno čist, bez ulja, maziva ili nekog drugog gorivog materijala, jer i najmanja količina maziva unutar ventila za kiseonik može prouzrokovati požar i eksploziju (gorivi materijali su pet puta zapaljiviji u kiseoniku nego na vazduhu). Kada se boca ne koristi, ventil treba da je čvrsto zatvoren i zaštićen kapom ventila (kapa ventila je poklopac na boci koji štiti ventil od oštećenja).



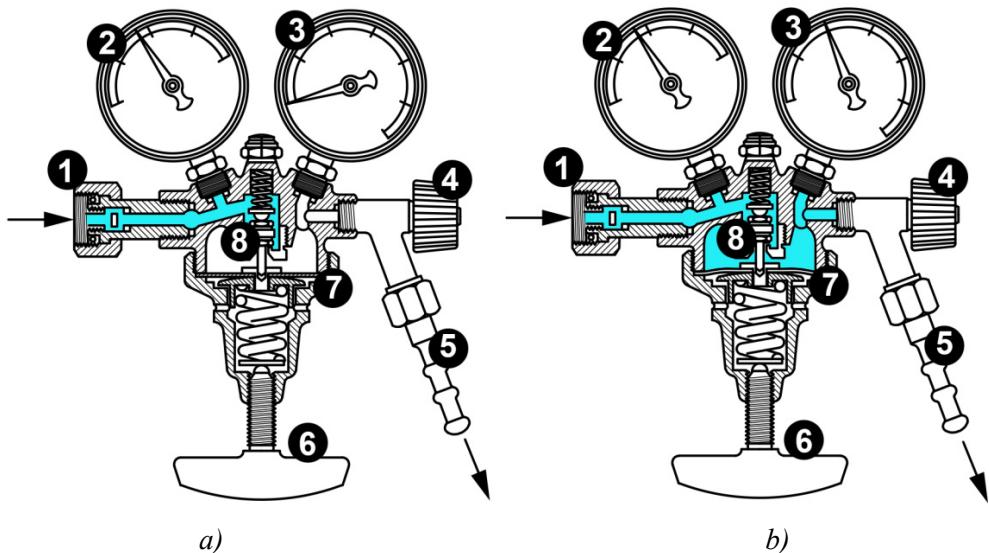
Sl. 5.16. Ventil boce za acetilen (a) i kiseonik (b)

1-ulaz gasa u ventil iz boce, 2-izlaz gasa ka redukcionom ventilu, 3-sigurnosni ventil,
4-točkić ventila, 5-navojni čep, 6-filter

Redukcioni ventil pritiska (sl. 5.17) ima zadatak da gasove pod visokim pritiskom iz boce (poz. 1) redukuju na niže (poz. 5), radne pritiske, kao i da održi odgovarajući protok gasa, odnosno, ujednačeni radni pritisak i protok gasa bez obzira na to što u boci opada pritisak usled potrošnje gasa. Ujednačeni radni pritisak je bitan kako bi plamen tokom zavarivanja bio stabilan.

Redukcioni ventil pritiska se sastoji od dve komore, komore visokog i komore niskog pritiska. Pritisak u komorama se meri sa dva manometra. Prvi manometar (bliži boci za gas, poz. 2) pokazuje pritisak gase u boci (kada je ventil boce otvoren), a drugi izlazni (radni) pritisak (poz. 3). Regulacija izlaznog pritiska vrši se preko regulacionog ventila (poz. 6) koji potiskuje membranu (poz. 7) i zaptivni čep (poz. 8). Kada je ventil za regulaciju pritiska (poz. 6) potpuno odvrnut (sl. 5.17_a), tada se membrana (poz. 7) nalazi u donjem položaju i zaptivni čep (poz. 8) naleže na sedište kućišta redukcionog ventila pritiska i na taj način spričava protok gasa iz komore visokog u komoru niskog pritiska. Kada se ventil za regulaciju pritiska (poz. 6, sl. 5.17_b) zakreće (zavrće), sabija se opruga koja potiskuje membranu (poz. 7). Membrana potiskuje zaptivni čep (poz. 8), koji se odiže sa sedišta omogućavajući protok gase u komoru niskog pritiska. Gas ispunjava komoru niskog pritiska (dostignuti pritisak se očitava na manometru poz. 3), do momenta savladavanja pritiska opruge ispod membrane, čime je omogućeno vraćanje zaptivnog čepa na sedište ventila. Kada se otvorи ventil (poz. 4) pritisak u komori niskog pritiska opada što uzrokuje ponovno otvaranje zaptivnog čepa i propuštanje nove količine gase. Redukcioni ventil se naizmenično otvara i

zatvara u zavisnosti od promene pritiska u komori niskog pritiska odnosno potrošnje gasa.



Sl. 5.17. Regulacioni ventil

1-priklučak regulacionog ventila za bocu sa gasom, 2-manometar visokog pritiska, 3-manometar radnog pritiska, 4-ventil, 5-priklučak sprovodnog creva gasa do gorionika, 6-ventil za regulaciju izlaznog (radnog) pritiska gasa, 7-membrana, 8-čep

Sprovodna creva gasa (sl. 5.18) namenjena su sprovođenju gasa od redukcionog ventila do gorionika za zavarivanje. Sprovodno crevo za gas izrađeno je tako da podnese visoke pritiske (kvalitetna creva su atestirana na pritisak od 6,89 MPa), dok su sprovodna creva troslojna. Spoljašnji sloj (poz. 1) izrađen je od gumenog ili neoprenskog⁷ materijala otpornog na gorenje, varnice, zagrejani metal, atmosferske uticaje, vodu, habanje i sl. Ovaj sloj je obično crvene boje za gorive gasove (acetilen) i plave boje za kiseonik. Različite boje creva omogućavaju da se izbegne mešanje vodova za gorivi gas i kiseonik i na taj način stvaranje eksplozivnih mešavina unutar creva.

Srednji sloj creva (poz. 2) se naziva uložak (karkas). Ovaj sloj se izrađuje od najlonske ili rejonske tkanine. Karkas ima zadatak da obezbedi dodatnu čvrstoću creva, otpornost na udar, gnječeње i prodiranje oštih predmeta.

⁷ Neopren je komercijalni naziv za polihloropren. Spada u grupu sintetičkih guma koje su proizvedene polimerizacijom hloroprena. Neopren ima dobru hemijsku stabilnost i održava fleksibilnost u širokom temperturnom opsegu.

Unutrašnjost creva (poz. 3) je od gume ili neoprena. Kako bi se smanjila poroznost gume i smanjilo trenje gasa kroz crevo, unutrašnjost creva je vulkanizirana.

Unutrašnji prečnik creva je najčešće 3,18, 4,76, 6,35, 7,94, 9,53, 12,7 i 19,4⁸ mm. Creva za sprovođenje gasova treba da su takve dužine da omoguće nesmetan rad zavarivaču, ali ne i predugačka. Naime, produžavanjem dužine creva povećava se pad pritiska od redukcionog ventila do gorionika.



Sl. 5.18. Creva za sprovođenje gasova

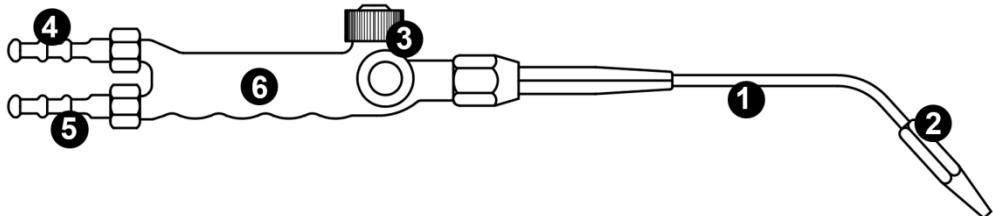


Sl. 5.19. Nepovratni ventil (osigurač)

Nepovratni ventil (osigurač) (sl. 5.19) predstavlja jednosmerni ventil sa oprugom malih dimenzija. Zadatak nepovratnog ventila je da omogući protok gasova samo u jednom smeru (od redukcionog ventila ka gorioniku). Ukoliko gas počne da se vraća u vod za gorivi gas ili kiseonik, nepovratni ventil zatvara taj vod. U zavisnosti od tipa, nepovratni ventil se postavlja na ulaz u gorionik ili na izlaz iz redukcionog ventila. Kako bi se sprečilo smanjenje protoka gasa, potrebno je odabратi nepovratni ventil čiji je unutrašnji prečnik jednak unutrašnjem prečniku sprovodnih creva za gas.

Gorionik za zavarivanje je uređaj u kojem se meša kiseonik sa gorivim gasom (acetilenom) a plamen prenosi do mesta zavarivanja (sl. 5.20).

⁸ Veći prečnici creva se najčešće koriste za vrlo teške poslove rezanja na velikim mašinama za rezanje.



Sl. 5.20. Aparat za gasno zavarivanje

1-cev gorionika, 2-mlaznica gorionika (usnik), 3-ventili za regulaciju protoka gasova, 4-priklučak creva za dovod kiseonika, 5- priklučak creva za dovod acetilena, 6-telo gorionika

Plamenik je deo gorionika koji čini mlaznica (poz. 2) i cev (poz. 1). Zadatak plamenika je da sproveđe mešavinu gasova (kiseonika i acetilena) do mesta sagorevanja. Plamenici za zavarivanje se izrađuju u 8 veličina, zavisno od debljine materijala koji se zavaruje (tab. 5.2).

Tab. 5.2. Namena pojedinih tipova gorionika

Oznake veličina plamenika	Broj gorionika							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Debljina zavarivanog materijala (mm)	0,5-1	1-2	2-4	4-6	6-9	9-14	14-20	20-30

Prema konstrukcionom izvođenju, razlikuju se gorionici niskog i visokog pritiska. Gorionici niskog pritiska primenjuju se u slučaju kada se acetilen dovodi pod niskim pritiskom (1-3 kPa) a kiseonik pod visokim pritiskom (100-300 kPa). Ovi gorionici opremljeni su mešaćem injektorskog tipa.

Gorionici visokog pritiska koriste se samo u slučajevima kada se koristi acetilen visokog pritiska (50-70 kPa). Ovi gorionici omogućavaju manju potrošnju kiseonika. Međutim, s obzirom na to da je rad sa njima opasniji, gorionici visokog pritiska koriste se samo u serijskoj proizvodnji.

Ventilima za regulisanje (poz. 3) regulišu se pritisak i brzina gase i na taj način se obezbeđuje pogodan plamen, kao i zaštita rastopljenog metala od štetnog dejstva azota i kiseonika iz vazduha.

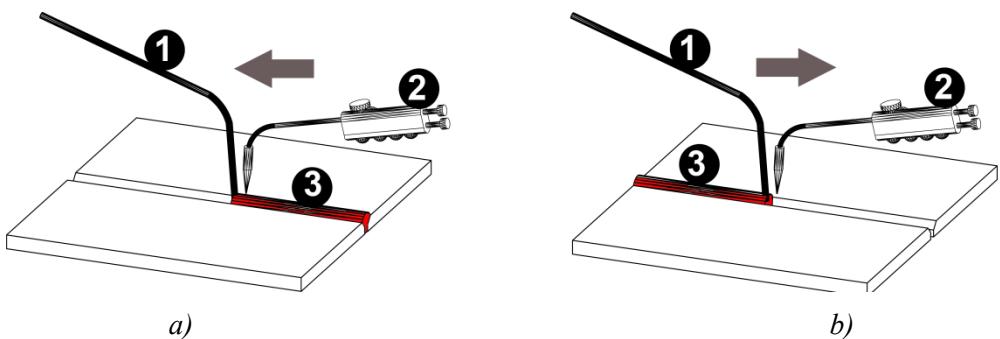
Dodatni materijal za gasno zavarivanje se isporučuje u obliku šipki (žice) dužine 1000 mm ili žice u koturima od oko 40 kg. Žice okruglog preseka izrađuju se prema standardizovanom nizu prečnika: 1; 1,5 (1,6); 2; 3 (3,15); 4; 5; 6 (6,3) i 8 mm. Žice moraju biti glatke, bez oksida, masti, boja i drugih nečistoća. Čelične žice za zavarivanje su prekrivene tankim zaštitnim slojem bakra. Žice za zavarivanje moraju da se ravnomerno i lako tope i da ne razvijaju gasove usled kojih bi rastopljeni metal

"ključao", prštao i naduvavao se. Tokom zavarivanja neophodno je koristiti žicu približno istog sastava kao što je osnovni materijal.

5.2.5.3. Tehnika zavarivanja

U zavisnosti od položaja gorionika, dodatnog materijala (žice) i pravca zavarivanja, razlikuju se dva načina gasnog zavarivanja:

- zavarivanje "u levo" i
- zavarivanje "u desno".



Sl. 5.21. Tehnika zavarivanja

a) u levo, b) u desno

1-dodatni materijal, 2-gorionik, 3-zavar

Pri zavarivanju u levo (sl. 5.21a) metal za dodavanje (poz. 1) se vodi ispred plamena koji je usmeren u još nezavaren deo spoja. Najprikladniji ugao nagiba gorionika i žice je $45 - 60^\circ$ u odnosu na predmet zavarivanja. U odnosu na radnika gorionik se vodi s desna u levo. Ova tehnika se naročito preporučuje za spajanje limova debljine do 3—4 mm, kao i za vertikalne spojeve.

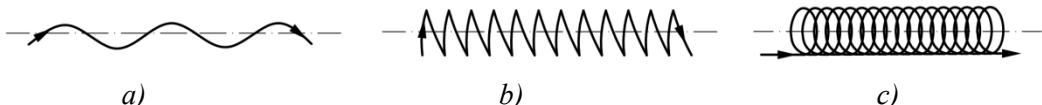
Pri zavarivanju u desno (sl. 5.21b) metal za dodavanje sledi plamen. Plamen je usmeren prema već zavarenom delu spoja. Ovaj način se još zove i zavarivanje u nazad. Ova tehnika se pretežno koristi za zavarivanje metala debljine od 4 do 15 mm. U odnosu na debljinu predmeta, zavarivanje u desno omogućava veću brzinu spajanja u poređenju sa zavarivanjem u levo.

U oba slučaja zavarivanja moraju se poštovati sledeća pravila:

1. Za vreme zavarivanja vrh žice (dodatnog materijala), mora biti stalno u zoni plamena koji ga štiti od oksidacije,
2. Na kraju šava gorionik se ne sme naglo odvojiti od rastopljenog metala,

3. Kada se šav prekine, plamen se mora vratiti unazad za oko 10-15 mm kako bi se osiguralo potpuno topljenje kraja prethodnog šava.

Važnu ulogu kod oba načina zavarivanja (i udesno i uлево) ima kretanje vrha mlaznice. Na sl. 5.22 prikazane su linije kretanja gorionika pri gasnom zavarivanju. Tokom zavarivanja tankih limova kako ne bi došlo do progorevanja materijala, vrh mlaznice gorionika treba da se kreće brzo duž šava uz istovremeno lagano njihanje sa jednog materijala na drugi (a). Tokom zavarivanja limova srednje debljine (4-10 mm), neophodno je omogućiti gorioniku više vremena da zagreje i rastopi metal. Iz tog razloga kretanje vrha mlaznice treba da je usmereno više na ujednačeno zagrevanje materijala njihanjem, uz umereno aksijalno pomeranje gorionika duž šava (sl. b,c).



Sl. 5.22. Linije kretanja gorionika

a-pri zavarivanju tankih limova; b i c-pri zavarivanju limova 4 do 10 mm

5.2.6. Elektrolučno zavarivanje

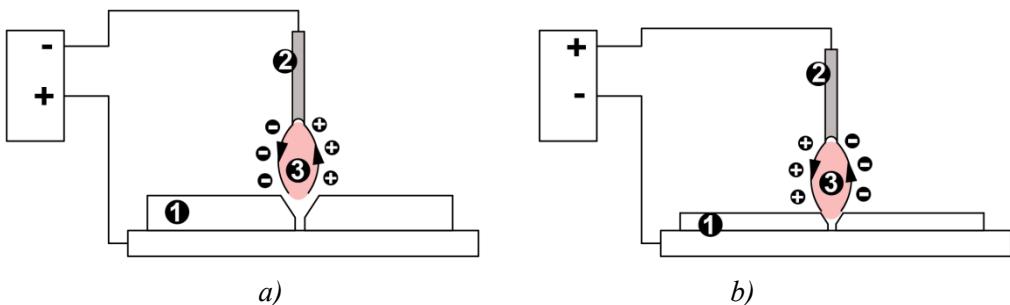
Elektrolučno zavarivanje je najrasprostranjeniji industrijski postupak spajanja različitih metalnih materijala. Toplota potrebna za topljenje u zoni zavarivanja se dobija pomoću Voltinog luka koji se uspostavlja između radnih predmeta i elektrode (najčešće materijala za dodavanje). Radni predmeti i elektroda čine jedno strujno kolo koje se električnom energijom napaja iz aparata za zavarivanje. Elektrolučno zavarivanje se deli u zavisnosti od prirode elektrode i atmosfere koja okružuje rastop u toku zavarivanja na više postupaka:

- Elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama,
- Elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi gasova (netopivim ili topivim elektrodama),
- Elektrolučno zavarivanje pod prahom,
- Elektrolučno zavarivanje pritiskom...

5.2.6.1. Električni luk

Pod električnim ili Voltinim lukom se podrazumeva kontinuirano električno pražnjenje između dva pola (dve elektrode) različitog potencijala jednog strujnog kola. Jedan pol električnog kola čini elektroda, dok je drugi pol predmet koji se zavaruje.

Jedan od njih spojen je za pozitivan pol, a drugi za negativan. Ukoliko se dva pola međusobno kratkotrajno spoje, dolazi do prolaza struje visokog intenziteta u obliku električnog pražnjenja. Međutim, kada se elektrode razmaknu na neko određeno rastojanje struja će i dalje nastaviti da protiče. Naime, struju električnog luka sačinjava mlaz negativno nanelektrisanih čestica (elektrona) koji polaze od negativno nanelektrisane elektrode (katode) i bombarduju pozitivno nanelektrisanu elektrodu (anodu), što je praćeno snažnim zagrevanjem (sl. 5.23). Prolazeći kroz vazduh (poz. 2), elektroni ga ionizuju (atomima gasova iz vazduha „odnose“ elektrone, čime gasovi postaju pozitivno nanelektrisani-joni). Na taj način se obrazuju dva mlaza, mlaz elektrona koji je usmeren ka anodi i mlaz pozitivnih jona koji je usmeren ka katodi. Jonizovani vazduh tada postaje dobar provodnik struje. Usled sudara dva mlaza razvija se visoka temperatura (do 4000°C) i bleštava svetlost.



Sl. 5.23. Uspostavljanje električnog luka
a-direktna polarnost, b-indirektna polarnost,
1-obradak, 2-elektroda, 3-jonizovani vazduh

Električni luk moguće je uspešno uspostaviti primenom jednosmerne ili naizmenične struje. Jednosmerna struja je pogodnija jer može da se koristi za zavarivanje više različitih materijala i za sve vrste obloženih elektroda. Sve elektrode koje se dobro tope naizmeničnom strujom mogu da se tope i jednosmernom strujom obe polarnosti.

Pri korišćenju jednosmerne struje za formiranje električnog luka, na strani pozitivno nanelektrisane elektrode (anode) razvija se viša temperatura ($3500\text{-}4000^{\circ}\text{C}$) u odnosu na negativno nanelektrisanu elektrodu (katodu) gde je temperatura niža ($2600\text{-}2800^{\circ}\text{C}$). Ova osobina može se praktično iskoristiti prilikom zavarivanja predmeta različitih debljina. Za predmete većih debljina povoljnije je da se viša temperatura iskoristi za topljenje osnovnog materijala, pa se predmet povezuje na pozitivan pol izvora struje (direktna polarnost, sl. 5.23a). S druge strane, tokom zavarivanja tanjih predmeta povoljnije je da se predmet zagreje na nižoj temperaturi kako bi se izbeglo njegovo progorevanje. U tom slučaju predmet se povezuje na negativni pol struje (obrnuta polarnost, sl. 5.23b).

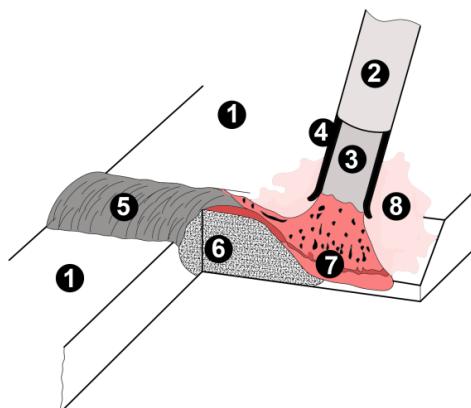
Kada se za formiranje električnog luka koristi naizmenična struja, tada je

temperatura na obe elektrode ista (ne postoje anoda i katoda)

5.2.6.2. Elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom (REL postupak)

Pri zavarivanju obloženim elektrodama, električni luk se uspostavlja između elektrode i predmeta koji treba da se zavari. Elektroda služi istovremeno kao provodnik električne energije i kao dodatni materijal⁹. Elektroda se sastoji iz metalnog jezgra, najčešće cilindričnog oblika i omotača koji se naziva obloga. Pri topljenju obloge elektrode obrazuje se troska (sl. 5.24, poz. 5), koja štiti rastop. Zahvaljujući hemijskim reakcijama nastalim tokom zavarivanja obloga dezoksidira i legira rastop. Obloga elektrode obezbeđuje zaštitu rastopa od štetnog dejstva kiseonika tokom operacije zavarivanja i svojim isparavanjem formira gasni zaštitni omotač (poz. 8) koji obuhvata metalni rastop i celu zonu električnog luka. Pored ovoga, obloga doprinosi uspostavljanju i stabilnosti održavanja električnog luka.

Na slici 5.24 šematski su prikazana obložena elektroda i okolne zone rastopa. Pri zavarivanju materijal jezgra (poz. 3) elektrode (poz. 2) prelazi u rastop (poz. 7) na radni komad (poz. 1) kroz električni luk. Način prelaza metala utiče na oblik, mehanička svojstva i metalurški sastav zavarenog spoja. Prelaz metala sa elektrode na materijal koji se zavaruje uslovljen je delovanjem sila koje se stvaraju u električnom luku. Stvaranje kapljica na vrhu elektrode kao i odvajanje kapljica, omogućeni su delovanjem elektrodinamičkih sila, sila gravitacije, sila površinskog napona tečnog metala, eksplozionih sila, sila usled strujanja gasa itd. Bez uticaja ovih sila, bilo bi nemoguće zavarivanje u prinudnim položajima (vertikalni, zidni, nadglavni).



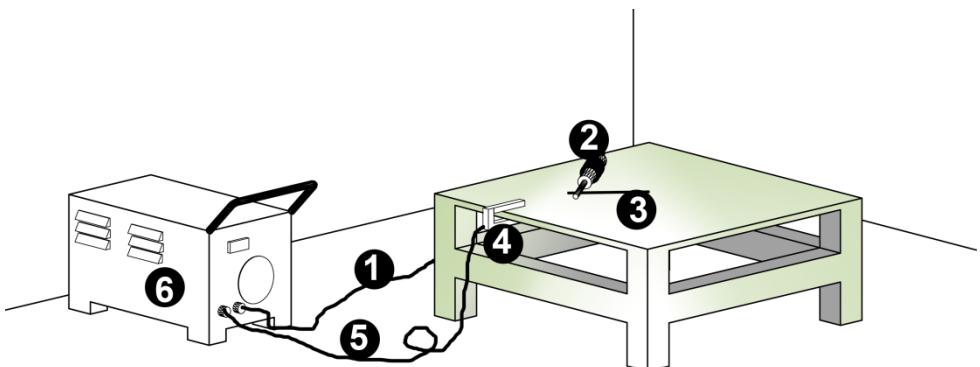
Sl. 5.24. Elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom

1 – osnovni materijal (radni komad), 2 – elektroda (obložena), 3 – jezgro, 4 – zaštitna obloga, 5-šljaka (troska), 6-šav, 7-rastop, 8-zaštitni gasni omotač

Opremu kojom se izvodi ručno elektrolučno zavarivanje obloženim

⁹ Nekada su elektrode izrađivane od grafita i služile su isključivo za uspostavljanje električnog luka, dok je dodatni materijal dodavan u obliku žice (slično kao kod gasnog zavarivanja).

elektrodama, čine uređaj za zavarivanje, držać elektrode, priključak radnog predmeta, obložena elektroda i priključni kablovi za vezu držača elektrode i mase sa uređajem za zavarivanje (sl. 5.25.).



Sl. 5.25. Oprema za ručno elektrolučno zavarivanje

1- priključni kabel - veza uređaja za zavarivanje sa držačem elektroda, 2- držać elektrode, 3- obložena elektroda, 4- priključak radnog predmeta, 5- kabel - veza uređaja za zavarivanje sa "masom", 6- uređaj za zavarivanje

Električni kablovi koji povezuju aparat za zavarivanje sa držačem elektrode (kleštima) i priključkom mase (stegom), moraju biti prilagođeni za provođenje struje niskog napona i visokog intenziteta (sl. 5.26). Kablovi su izrađeni od tankih bakarnih žica upletenih u uže. Kablovi moraju imati dobru električnu izolaciju. Za produženje kablova mogu se koristiti samo potpuno izolovani utikači – spojevi (sl. 5.27), koji omogućavaju spajanje kablova uz minimalno povećanje otpora na mestu spoja.



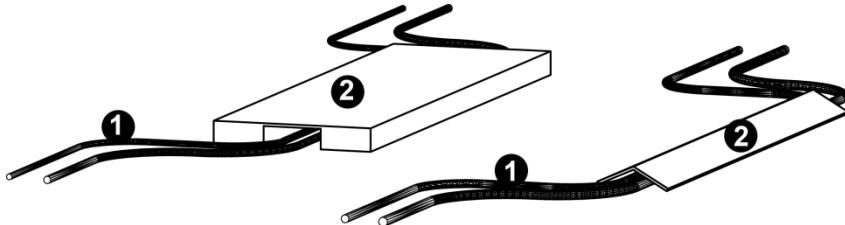
Sl. 5.26. Zavarivacki kablovi



Sl. 5.27. Spojnice za produžavanje zavarivačkih kablova

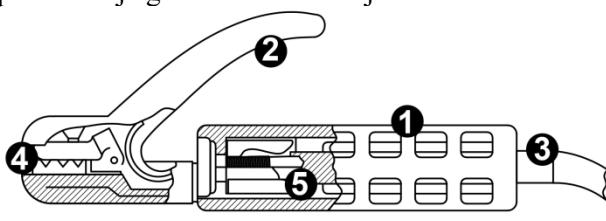
Dužina kabla se određuje prema potrebi. Kabl ne treba da bude suviše dugačak, jer sa povećanjem dužine raste otpor proticanja električne struje, a time i topotni gubici u kablu. U radionici je dužina kabla najčešće oko 15 m. Pored dužine kabla

značajna je i površina poprečnog preseka kabla, koja se izražava u mm^2 i proizvodi u standardnim veličinama 35, 50, 70, 95, 120 i 150 mm^2 . Presek provodnika se odabira prema jačini struje kojom se najviše zavaruje kao i prema dužini provodnika¹⁰. Kablovi ne smeju biti zamršeni jer se tako smanjuje manevarski prostor. Tokom manipulacije sa uređajem za elektrolučno zavarivanje, kablovi ne smeju biti mehanički pritisnuti. Ukoliko kablovi prelaze preko saobraćajnice, potrebno ih je zaštiti od mehaničkog pritiska (sl. 5.28).



*Sl. 5.28. Zaštita kablova od mehaničkog oštećenja na saobraćajnicama
1-kablovi, 2-zaštitna sredstva*

Držač elektrode služi za držanje elektrode u toku zavarivanja, odnosno, topljenja elektrode. Držač je konstruisan tako da na jednom kraju čvrsto prihvata i steže elektrodu (sl. 5.29, poz. 4)), dok je na drugom kraju čvrsto spojen kablom za uređaj za zavarivanje (poz. 3). Držač elektrode treba da obezbedi dobro stezanje elektrode, poseduje dobru električnu izolaciju, da je lak i podesan za manipulaciju. Takođe, dodirna površina držača elektrode sa elektrodom treba da je što veća, kako bi mogla da sproveđe struju velikog intenziteta. Čeljusti držača su dizajnirane tako da se u njima nalaze V-žlebovi različite veličine, čime se omogućava prihvatanje elektrode različitih debljina. Zavarivanje nekvalitetnim, slabo održavanim i istrošenim držaćem, uslovjava njegovo zagrevanje, povremeno slabiju struju i nestabilan električni luk, što prouzrokuje greške u zavarivanju.



*Sl. 5.29. Držač elektrode
1-ručka, 2-poluga za otvaranje
čeljusti držača, 3-električni
kabl, 4-čeljust držača, 5-
priključak za električni kabl*

Zagrevanje držača elektrode tokom zavarivanja, uglavnom je posledica lošeg spoja između držača i električnog kabla (sl. 5.29, poz. 5) ili niskom nominalnom električnom vrednošću držača. U drugom slučaju potrebno je držač elektrode zameniti

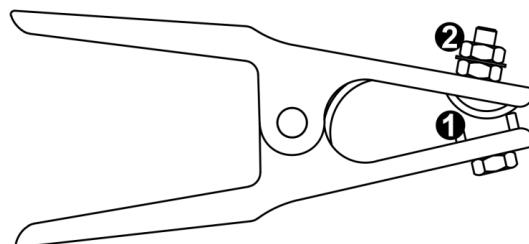
¹⁰ Smanjenje prečnika kabla za pola, uzrokuje povećanje otpora četiri puta.

sa držačem veće nominalne električne vrednosti. Naime, držač elektroda se izrađuju u 6 veličina u zavisnosti od maksimalne struje koja se koristi prilikom zavarivanja. U tabeli 5.3 data je maksimalna struja i radni ciklus¹¹ za različite veličine držača elektrode. U tabeli su takođe date vrednosti maksimalno dozvoljenog prečnika elektrode, kao i vrednosti potrebnih dimenzija električnih kablova za maksimalno strujno opterećenje.

Tab. 5.3. Karakteristike različitih veličina držača elektrode

Držač elektrode, grupa	Maks. struja (A)	Radni ciklus (%)	Maks. prečnik elektrode (mm)	Prečnik električnog kabla (mm)	Površina preseka električnog kabla (mm ²)	Nominalna masa (g)
Mali	100	50	3,18	7,35	39,55	284-340
Mali	220	50	3,97	8,25	53,47	284-397
Srednji	300	60	5,56	9,27	67,43	340-567
Veliki	400	60	6,35	10,40	85,03	454-727
Ekstra veliki	500	75	7,94	11,68	107,21	627-851
Ekstra veliki	600	75	5,53	11,68	107,21	794-1021

Priključak radnog predmeta (sl. 5.30) namenjen je za spajanje kabla aparata za zavarivanje sa radnim predmetom. Veza sa predmetom se može ostvariti direktno ili preko radnog stola. Priključak mase se najčešće izrađuje od bronce, a stezanje se vrši pomoću zavrtinja ili opruge.



*Sl. 5.30. Priključak radnog predmeta sa oprugom
1-čeljust, 2-vijak za vezu sa električnim kablom*

¹¹ Radni ciklus predstavlja procentualnu vrednost standardnog perioda od 10 min, tokom kojeg aparat za zavarivanje i oprema mogu da rade pri maksimalnoj struci. Ako aparat za zavarivanje radi 5 min pri svojoj nominalnoj vrednosti struje, tada ta mašina ima 50% radni ciklus. Iz tabele 5.3 se uočava da je maksimalan radni ciklus kod držača elektroda ispod 75%. Ovo ne treba da zabrinjava s obzirom na to da se kod ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom ostvaruje maksimalno vreme zavarivanja daleko ispod 10 min (usled zamene elektrode i sl.).

Uređaj za elektrolučno zavarivanje je uređaj koji treba da obezbedi lako uspostavljanje električnog luka, njegovo održavanje i stabilnost. Izbor vrste struje i aparata za elektrolučno zavarivanje zavisi od materijala koji se zavaruje, vrste elektrode, mogućnosti priključivanja aparata na mrežu i uticaja na mrežu pri radu aparata. Kao izvor naizmenične struje, koriste se transformatori, dok se za izvore jednosmerne struje koriste ispravljači, agregati i inverteri (sl. 5.31).

Transformatori za zavarivanje (sl. 5.31a) su najrasprostranjeniji izvor struje za zavarivanje koji naizmeničnu električnu struju transformišu takođe u naizmeničnu, ali sa karakteristikama pogodnim za zavarivanje. Rad transformatora se zasniva na principu elektromagnetne indukcije. Kada kroz primarni namotaj transformatora prolazi električna struja, formira se magnetno polje. Kada se sekundarni namotaj transformatora nađe u promenljivom magnetnom polju, tada se na njegovim krajevima javlja razlika potencijala, tj. napon. Koeficijent iskorišćenja transformatora iznosi $\eta = 0,95-0,99$.

Ispravljači (sl. 5.31b) su takvi izvori struje koji daju istosmernu struju sa karakteristikama pogodnim za zavarivanje. Najčešće se napajaju trofaznom naizmeničnom strujom. Uređaj nakon transformacije struje vrši njeno ispravljanje primenom poluprovodničkih dioda, tiristora, tranzistora... Prednost ispravljača u odnosu na transformatore je u tome što daju stabilniji električni luk, a nedostatak je viša cena, osjetljivost na pad napona i niži stepen iskorišćenja (η)

Agregati za zavarivanje (sl. 5.31c) nezavisni su od električne mreže (pogodni su za rad u uslovima gde nema struje). Pogone se od strane dizel ili benzinskog motora koji pokreće generator. Generator proizvodi struju karakteristika pogodnih za zavarivanje. Cena je značajno viša u odnosu na cene transformatora i ispravljača.

Invertori (sl. 5.31d) daju istosmernu ili visokofrekventnu pulsirajuću struju. Na tržištu su se pojavili kasnije i danas se sve više koriste u praksi zbog niza prednosti u odnosu na ostale izvore struje za zavarivanje. Pored toga što daju stabilnu karakteristiku električne struje za zavarivanje, prednost im je što se odlikuju malom težinom u odnosu na ostale izvore struje za zavarivanje. Invertor se sastoji od ispravljača koji daje istosmernu struju napona gradske mreže, tiristorskog dela koji "secka" istosmernu struju i daje impulse frekvencije do 50 kHz. Ovi visokofrekventni impulsni napona gradske mreže se zatim transformišu na napon potreban za zavarivanje. Zbog visoke frekvencije ne dolazi do zagrevanja transformatora. Invertori, takođe, imaju mogućnost da u sledećem koraku impulse stope da daju istosmernu struju.



Sl. 5.31. Uredaji za elektrolučno zavarivanje
a-transformator, b-ispravljač, c-agregat za zavarivanje, d-invertor

Svaki od navedenih izvora struje za zavarivanje posjeduje određeno područje regulacije, od minimalne do maksimalne vrednosti struje zavarivanja. Koliko je široko to područje zavisi od same konstrukcije izvora (npr. kod izvora manjih snaga područje regulacije može biti od 20 do 150 A dok kod izvora većih snaga područje regulacije iznosi od 200 do 1000 A)¹².

Kada su priključeni na električnu mrežu (trofaznu ili monofaznu) bilo koji od ovih izvora radi u tzv. „praznom hodu“ (uredaj je pod naponom, spreman za rad, ali se još nije uspostavio električni luk). Napon praznog hoda mora biti dovoljan da se

¹² Za zavarivanje čeličnim obloženim elektrodama u horizontalnom položaju jačina struje iznosi oko 30-40 A po jednom milimetru prečnika elektrode. Pri zavarivanju u prinudnim položajima, jačina struje se smanjuje za 15-20%.

uspustavi električni luk, ali ne sme biti previsok da ugrozi čovekov život. Napon praznog hoda, kod ručnih uređaja, kreće se u intervalu od 40 do 60 volti, dok kod automatskih, napon ne prelazi 110 V.

Obložene elektrode

Obložene elektrode se izrađuju u obliku metalnih žica prečnika 1,5 - 9 mm¹³, dužine 300 - 450 mm, na koje se presovanjem ili ređe umakanjem nanosi obloga od specijalnih materijala.

Jezgro elektrode je najčešće od ekstra mekog i veoma čistog metala i ima funkciju da provodi struju i obezbeđuje metal za dodavanje. Sastav obloge može biti veoma različit i zavisi prvenstveno od namene elektrode. Tokom zavarivanja obloga elektrode se topi zajedno sa jezgrom. Metalne kapi rastopljenog jezgra elektrode padaju na radni predmet pod dejstvom električnog luka, dok se obloga razlaže na gasnu fazu (koja se kao omotač razvija oko luka) i tečnu fazu (koja pliva nad rastopom a pri hlađenju očvršćava u šljaku). Obloge pri zavarivanju imaju višestruku ulogu:

- *Zaštita zone zavarivanja od kiseonika i ugljenika iz vazduha* (Metali imaju tendenciju da se lako jedine sa kiseonikom i ugljenikom iz vazduha stvarajući okside. Prisustvo oksida gvožđa i oksida ugljenika u zavarenom spaju (oksidni uključci) smanjuju jačinu konstrukcije.),
- *Dezoksidisanje rastopa* (Jedan deo obloge ne isparava već se topi i pokriva rastop plivajući po njemu u vidu šljake koja obezbeđuje zaštitu vara tokom očvršćavanja),
- *Legiranje metala šava* (Obloga koja se topi je obogaćena elementima, čije prisustvo u zavaru poboljšavaju mehaničke i tehnološke karakteristike spoja. Mehaničke osobine se u znatnoj meri mogu poboljšati ako se rastop posredstvom obloge elektrode obogati legirajućim elementima kao što su silicijum, mangan itd),
- *Doprinose stabilizaciji električnog luka i*
- *Producava se vreme hlađenja metala šava* (pomoću troske stvorene iznad rastopa).

Postoji veliki broj tipova elektroda, koje se međusobno razlikuju po karakteristikama njihovih obloga. U zavisnosti od vrste obloge, elektrode mogu biti:

- elektrode sa bazičnom oblogom,
- elektrode sa kiselom oblogom,
- elektrode sa celuloznom oblogom,
- elektrode sa rutilnom oblogom,

¹³ Izbor prečnika elektrode vrši se na osnovu iskustva. Za zavarivanje korena šava koriste se elektrode prečnika 2-3,25 mm. Za zavarivanje u prinudnim položajima bira se uglavnom prečnik elektrode 2,5-3,25 mm, nekada i 4 mm.

- elektrode sa oksidirajućom oblogom,
- elektrode sa visokim stepenom iskorišćenja i
- elektrode sa jakom penetracijom.

Bazična elektroda (označava se slovom B) poseduje oblogu sa velikim učešćem soli kalcijuma. Pogodne su za zavarivanje čelika koji sadrže povišen iznos nečistoća, čelika sa povišenim sadržajem ugljenika (višim od 0,30%) i limova velike debljine. Atmosfera CO₂ koja se razvija tokom topljenja bazične obloge ima za cilj zaštitu rastopa i ulogu dezoksidiranja. Bazične elektrode poseduju odlična mehanička svojstva, naročito svojstva elastičnosti (žilavost i izduženje), pa se koriste za spajanje zavarivanjem debelih predmeta ili predmeta koji su izloženi visokim dinamičkim opterećenjima. Pri radu sa ovim elektrodama mora se imati na umu da je bazična obloga higroskopna, usled čega se tokom zavarivanja u rastopu razvija vodonik što za posledicu ima stvaranje poroznog varu.

Elektrode sa kiselom oblogom (oznaka A) imaju oblogu koja ne utiče na promenu sastava metala za dodavanje tokom topljenja jer je njeno hemijsko dejstvo neutralno. Pogodne su za zavarivanje čelika sa niskim sadržajem ugljenika i naročito su prikladne za zavarivanje čelika namenjenih kaljenju. Zavar je kompaktan, ima lep estetski izgled i poseduje dobre mehaničke karakteristike. Penetracija ovih elektroda je veoma duboka. Šljaka je staklasta, javlja se u obilnom sloju, ali se lako uklanja. Ove elektrode nalaze primenu pri zavarivanju u svim položajima. Mogu se zavarivati naizmeničnom strujom.

Elektrode sa celuloznom oblogom (oznaka C) imaju oblogu koja sadrži 30% organskih materija na bazi celuloze. Ove elektrode ostavljaju veoma malo šljake, pošto celuloza lako sagoreva. Dim nastao sagorevanjem celuloze ima povišen sadržaj CO₂, koji pruža zaštitu rastopu. Penetracija je veoma izražena jer celuloza povećava brzinu topljenja. Podesna je za zavarivanje u otežanim položajima, naročito u vertikalno silaznom položaju. Osim penetracije, ove elektrode se odlikuju i šljakom koja se lako uklanja. Primena im je rasprostranjena pri zavarivanju cevi.

Elektrode sa rutilnom oblogom (oznaka R) u sastavu obloge imaju više od 50% rutila, odnosno titandioksida ili drugog oksidititana. Rutil ima osobinu da održava luk umanjenog intenziteta i daje obilnu i viskoznu šljaku. Mehaničke osobine spoja su slabe ali se dobija zavar lepog estetskog izgleda, zbog čega se ove elektrode koriste za nanošenje završnog sloja. Karakteristike elektroda sa rutilnom oblogom se ne razlikuju bitno od karakteristika elektroda sa kiselom oblogom, a upotreba im je jednostavna. Mogu se zavarivati naizmeničnom strujom. Nalaze široku primenu pri zavarivanju mekih čelika, čak i u složenim konstrukcijama.

Elektrode sa oksidirajućom oblogom (oznaka O) su elektrode u čijoj oblogi preovladava (50 - 70%) oksid gvožđa u obliku magnetita ili hematita, koji teže da oksidišu rastop. Ove elektrode su ekonomične i jednostavne za rukovanje, ali su prikladne samo za zavarivanje u horizontalnom položaju. Odlikuju se visokim stepenom iskorišćenja i veoma brzim paljenjem luka, koji se uspostavlja pri prvom

kontaktu elektrode sa radnim predmetom. Pogodne su za zavarivanje malih predmeta i serijsku proizvodnju.

Elektrode povišenog iskorišćenja su elektrode rutilnog, bazičnog ili kiselog tipa, čija obloga osim uobičajenih komponenata, sadrži minerale gvožđa. Minerali gvožđa se tokom topljenja obloge pridružuju metalu za dodavanje povećavajući njegovu ukupnu količinu u zavaru. Metal sadržan u oblozi omogućava da se sa ovim elektrodama ostvari iskorišćenje iznad 100% (do 160%)¹⁴. Gvozdeni prah koji se nalazi u oblozi elektrode omogućava da se smanji jačina struje potrebna za topljenje metala za dodavanje. Ove elektrode su podesne za zavarivanje ugaonih spojeva.

Elektrode povišene penetracije su elektrode koje pri zavarivanju ostvaruju penetraciju koja za dva milimetra nadmašuje prečnik elektrode. Obloge ovih elektroda su od rutila, uz izvestan dodatak celuloze i kao takve omogućavaju da se postigne povišen napon i snažna koncentracija luka, čime se ostvaruje skoro dvostruko veća penetracija u odnosu na normalnu. Snažna penetracija ovih elektroda omogućava sučeno zavarivanje čeličnih limova debljine do 5 mm, bez prethodne pripreme ivica.

Izbor elektrode se vrši prema osnovnom materijalu, tj. prema svojstvima osnovnog materijala i zahtevima zavarenog spoja.

Zavarivanje nelegiranih čelika vrši se elektrodom kojom se postiže da zatezna čvrstoća, izduženje i žilavost šava zavara bude jednaka ili veća od osnovnog materijala. U slučajevima kada se zahteva povećana žilavost zavara, koristi se bazična elektroda. Takođe, ova elektroda se koristi i pri zavarivanju debelih materijala, krutih konstrukcija, kao i kod čelika sa većim sadržajem fosfora i sumpora.

Zavarivanje niskolegiranih čelika vrši se takođe primenom elektroda kojim se postižu mehaničke osobine zavara iste ili bolje u odnosu na osnovni materijal. Za zavarivanje materijala većih debljina, krutih konstrukcija i zavara veće sklonosti ka zakaljivanju, primenjuju se niskolegirane elektrode s bazičnom oblogom.

Zavarivanje nelegiranih s niskolegiranim čelicima vrši se elektrodom pomoću koje se postiže zavar čije su mehaničke karakteristike kod sučeonih spojeva jednake lošijem materijalu, a kod ugaonih spojeva jednake kvalitetnijem materijalu.

Zavarivanje visokolegiranih čelika vrši se elektrodama koje prema hemijskom sastavu i mehaničkim osobinama odgovaraju osobinama osnovnog materijala tako da metal šava ima ista ili bolja mehanička svojstva.

Za zavarivanje sivog liva na hladno najpogodnije su nikl elektrode, zatim bakar - nikl (monel-metal) elektrode i gvožđe-nikl elektrode. U određenim slučajevima i s

¹⁴ Iskorišćenje elektrode predstavlja odnos mase nanesenog metala i mase jezgra elektrode, izraženo u procentima. Iskorišćenje normalne elektrode se kreće između 80 i 95%. Razlog ovome je to što jedan deo utrošenog materijala isparava pri visokoj temperaturi luka, nestajući u okolnom ambijentu.

bazičnim elektrodama može se zavarivati sivi liv.

Čuvanje i upravljanje elektrođama

- Prilikom prenosa i transporta elektrode se ne smeju bacati.
- Sve elektrode (osim elektroda sa celuloznom oblogom), moraju se čuvati na suvom mestu¹⁵.
- Bazične elektrode čuvati u hermetički zatvorenim limenim kutijama.
- Elektroda se ne sme uzimati masnim rukavicama (masnoća na elektrođama izaziva poroznost zavarenog spoja).

NAPOMENA: Obložene elektrode vremenom ostare. Kod starih elektroda mogu se na površini primetiti sitni kristali. Sa starim elektrođama se ne smeju zavarivati važniji spojevi.

5.2.6.3. Elektrolučno zavarivanje u zaštitnim gasovima

Kako bi se spremio kontakt kiseonika iz vazduha sa rastopom metala, zona zavarivanja se mora efikasno zaštiti. Kod elektrolučnog zavarivanja u zaštitnim gasovima, zona zavarivanja se štiti uvođenjem nekog inertnog ili aktivnog gasa koji potiskuje okolni vazduh ne dozvoljavajući pristup u zonu zavarivanja (Inertni gasovi su oni gasovi koji tokom reakcije ne stupaju u hemijske reakcije sa elementima rastopa.). Kao inertni gasovi koriste se jednoatomski gas argon ili helijum (helijum se koristi u SAD). S druge strane, aktivni gasovi stupaju u hemijske reakcije sa rastopom. Kao aktivni gas se koristi ugljen dioksid, kao i različite mešavine u kojima ugljen dioksid ima dominantni sadržaj (CO_2+Ar ; $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$).

Zavarivanje u zaštitnom gasu se izvodi sa netopivom elektrodom uz prisustvo inertnog gasea (TIG postupak¹⁶) ili primenom topive elektrode uz prisustvo inertnog

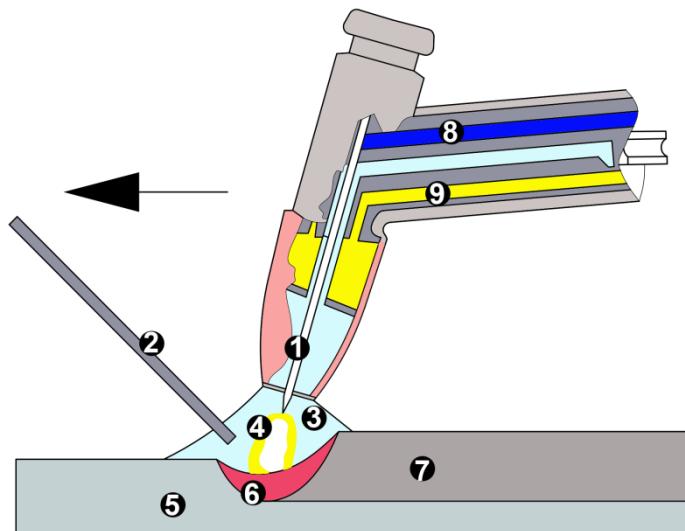
¹⁵ Vlažne elektrode prepoznaju se i po zvuku udara jedne o drugu: suve elektrode daju oštar i visok zvuk, dok vlažne elektrode daju dubok zvuk. Kada počne zavarivanje, kod vlažnih elektroda se čuje pucketanje. Elektrode sa kiselom i rutilnom oblogom suše se u pećima dva sata na temperaturi $80\text{-}120^{\circ}\text{C}$. Elektrode sa bazičnom oblogom suše se u peći na temperaturi od 350°C , u trajanju od dva sata a zatim se hlađe jedan sat na temperaturi od 150°C . Elektrode sa rutilnom i celuloznom oblogom moguće je sušiti neposredno pre zavarivanja njihovim uključivanjem u kratak spoj.

¹⁶ TIG predstavlja skraćenicu engleskih reči Tungsten Inert Gas (eng. tungsten - volfram).

(MIG postupak¹⁷) ili aktivnog gasa (MAG postupak¹⁸).

TIG postupak zavarivanja

Kod TIG postupka zavarivanja, kao izvor toplote za topanje ivica predmeta i materijala za dodavanje, koristi se električni luk. Specifičnost ovog postupka je u tome što se električni luk (sl. 5.32, poz. 4) uspostavlja između netopive volframske¹⁹ elektrode (poz. 1) i osnovnog materijala (poz. 5). Dodatni materijal se dovodi u obliku šipke (poz. 2). Volframska elektroda učvršćena je u glavi aparata.



Sl. 5.32. Glava aparata za TIG postupak zavarivanja

1-Volframska elektroda, 2-dodatni materijal, 3-zaštitni gas (argon), 4-električni luk, 5-osnovni materijal, 6-rastop osnovnog i dodatnog materijala, 7-zavar, 8-ulaz hladne vode za hlađenje glave aparata, 9-izlaz tople vode za hlađenje glave aparata

Za zavarivanje se koristi jednosmerna struja direktnе ili obrnute polarnosti, kao i naizmenična struja. Pri zavarivanju TIG postupkom, najčešće je u primeni jednosmerna struja direktnog polariteta čime se ostvaruje uže kupatilo, veća dubina uvarivanja i uža zona uticaja topline. Zavarivanje jednosmernom strujom, sa

¹⁷ MIG predstavlja skaraćenicu engleskih reči Metal Inert Gas

¹⁸ MAG predstavlja skaraćenicu engleskih reči Metal Active Gas

¹⁹ Volfram je vatrootporan metal čija je temperatura topljenja iznad 3000°C (temperatura viša od temperature topljenja bilo kog materijala koji se spaja zavarivanjem).

negativnom elektrodom, primenjuje se za legirane čelike, nerđajuće čelike, titan i bakar (ali ne i za legure Cu koje sadrže Al). Jednosmerna struja pozitivne elektrode se primenjuje pri zavarivanju tankih limova od aluminijuma, magnezijuma i titana kako bi se ostvario efekat katodnog čišćenja. Naizmenična struja se primenjuje pri zavarivanju aluminijuma, magnezijuma i nekih vatrootpornih materijala. Pri TIG zavarivanju legura aluminijuma, postoji opasnost pojave poroznosti metala šava, čemu je uzrok vлага, površinski oksid Al_2O_3 i nečistoća aluminijuma. Iz tog razloga neposredno pre početka zavarivanja aluminijuma neophodno je izvršiti čišćenje zone zavarivanja i okoline strugačem ili metalnom četkom.

TIG zavarivanje je moguće izvoditi u svim položajima. Tanji materijali se zavaruju bez posebne pripreme ivica. Za zavarivanje debljih materijala, neophodno je prethodno pripremanje ivica (za debljinu lima od 3,2 do 12,7 mm ivica se priprema u obliku V – žleba, a za debljine limova preko 12,7 mm u obliku X- žleba).

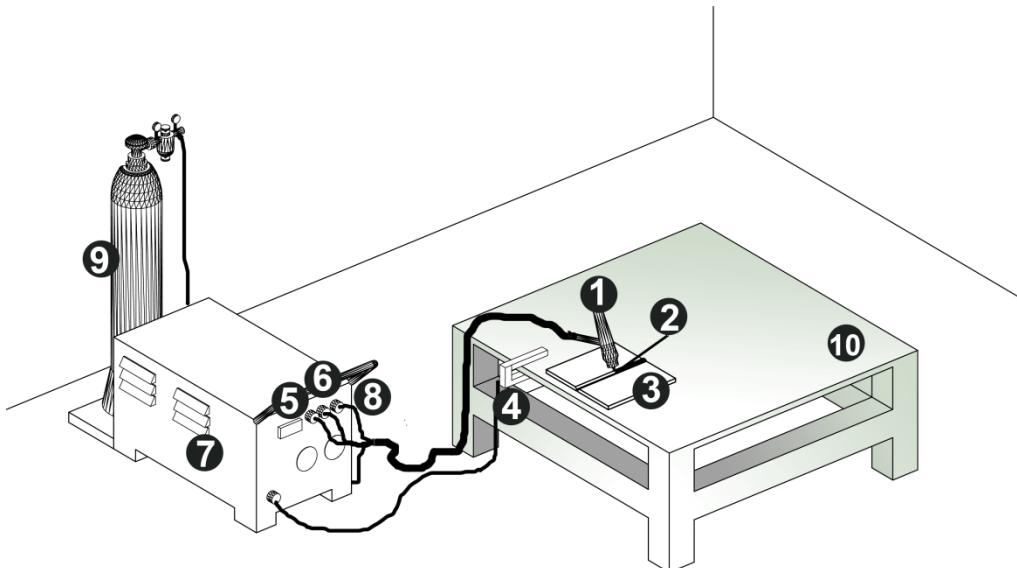
U odnosu na druge postupke, TIG postupak zavarivanja pruža niz prednosti:

- prisustvo zaštitnog gasa sprečava pojavu uključaka* od šljake,
- laka glava aparata omogućava jednostavnu manipulaciju,
- tehnika izvođenja je relativno jednostavna i postiže se odlični zavari u svim položajima,
- električni luk je miran,
- moguće je zavarivanje skoro svih metalnih materijala,
- ne obrazuje se šljaka.

Opremu za izvođenje ručnog elektrolučnog zavarivanja (TIG) čini (sl. 5.33):

- glava aparata (sa elektrodom od volframa) (poz. 1),
- žica metala za dodavanje (poz. 2),
- radni predmet (poz. 3),
- aparat za zavarivanje (poz. 7),
- električni kablovi (poz. 8),
- boca sa argonom (sa reduktorom pritiska i meračem protoka argona) (poz. 9),
- radni sto (poz. 10).

* uključak – greška nastala kao posledica zarobljavanja metala ili nemetala nakon kristalizacije prethodno rastopljenog metala



Sl. 5.33. Oprema za elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi (TIG postupak)
 1-glava aparata, 2-žica metala za dodavanje, 3-radni predmet, 4-priklučak radnog
 predmeta, 5-vod hladne vode do glave, 6-povratni vod zagrejane vode, 7-aparat za
 TIG zavarivanje, 8-električni kabel, 9-boca zaštitnog gasa, 10-radni sto

Glava aparata (sl. 5.33, poz. 1) prikazana je šematski na slici 5.32. Glavu aparata zajedno sa elektrodom hlađi voda u prinudnoj cirkulaciji (ulaz hladne vode poz. 8, izlaz zagrejane vode poz. 9). Kroz vrh glave aparata („usta aparata“) ističe zaštitni gas (poz. 3) koji štiti rastop (poz. 6) u zoni zavarivanja od štetnog dejstva okolnog vazduha. Unutar glave aparata nalazi se netopiva elektroda za TIG zavarivanje (poz. 1) izrađena od čistog volframa, legure volframa i torijuma i legure volframa i cirkonijuma. Elektroda od čistog volframa se koristi prvenstveno za zavarivanje naizmeničnom strujom. Elektrode legirane torijumom (0,5 do 2 % Th) mogu se opteretiti jačom strujom, čime se smanjuje opasnost od delimičnog topljenja vrha elektrode. Legirane elektrode se koriste za zavarivanje jednosmernom strujom negativnog polariteta, iako mogu da rade i sa naizmeničnom strujom dajući pri tome bolje početno i naknadno uspostavljanje luka. Elektrode legirane sa cirkonijumom (do 0,4 % Zr) nalaze posebnu primenu pri zavarivanju naizmeničnom strujom aluminijuma (cirkonijum pomaže održavanje stabilnosti oblika vrha elektrode). Prečnici elektroda su standardizovani u rasponu od 0,25 do 6,4 mm (0,25; 0,51; 1,00; 1,6; 2,4; 3,2; 4,00; 4,8; 6,4) dok se elektrode označavaju posebnom bojom (zelena - od čistog volframa, žuta - sa 1% torijuma, crvena - sa 2% torijuma, plava - sa 0,5% torijuma i smeđa - sa 0,4% cirkonijuma).

Žica metala za dodavanje isporučuje se u obliku šipke ili žice, prečnika do 2,5 mm, namotane na kotur. Žica za dodavanje namotana na kotur primenjuje se pri

automatskom zavarivanju, odnosno, u slučajevima kada je glava aparata opremljena uređajem za automatsko doziranje žice (sl. 5.34). Izbor žice za dodavanje vrši se u zavisnosti od osnovnog materijala kao pri gasnom zavarivanju. Žice koje se koriste moraju biti čiste, bez tragova oksida, masti, ulja i sl.



Sl. 5.34. Glava aparata za TIG postupak zavarivanja sa automatskim doziranjem žice
1-netopiva elektroda, 2-žica za dodavanje, 3-konektor sa priključcima za napajanje,
zaštitni gas, rashladnu tečnost i žicu dodatnog materijala

Boce za zaštitni gas (sl. 5.33, poz. 9) sadrže sabijeni gas pod pritiskom od 15 MPa (standardna boca zapremine 40 lit sadrži oko 6 m^3 gasa pod pritiskom). Zaštitni gas koji se koristi pri TIG postupku zavarivanja distribuira se iz boce preko redupcionog ventila pod pritiskom oko 0,1 MPa. Protok zaštitnih gasova se bira u zavisnosti od vrste i debline zavarenih delova, položaja zavarivanja, vrste spoja i sl. Količina zaštitnog gasa pri TIG zavarivanju u zaštiti argona se kreće u opsegu od 6,5 do 30 l/min.

Aparat za elektrolučno zavarivanje TIG postupkom (sl. 5.33, poz. 7) ima ulogu lakog uspostavljanja električnog luka, njegovo održavanje i stabilnost. Savremeni uređaji izrađuju se kao uređaji namenjeni za TIG i REL postupke zavarivanja, primenom jednosmerne i/ili naizmenične struje. Električni luk se kod savremenih uređaja uspostavlja pomoću visokofrekventnih jonizatora, tj. posebnog izvora struje visokog napona. Luk se može uspostaviti i dodirom vrha elektrode i osnovnog materijala, ali se time prlja elektroda i ubrzava njen trošenje.

Na tržištu je prisutan veliki broj različitih uređaja namenjenih TIG postupku zavarivanja. Najčešće su ovo inventorski uređaji. Kao i kod elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom, svaki aparat poseduje određeno područje regulacije od minimalne do maksimalne vrednosti struje zavarivanja, kao i odgovarajuću vrednost radnog ciklusa.

Na slici 5.35 prikazan je savremeni uređaj za elektrolučno zavarivanje AristoTIG 405 AC/DC. Uređaj je namenjen za TIG (AC/DC) i REL zavarivanje svih zavarivih materijala različitih debljina. Uređaj se napaja trofaznom strujom (400 V/50 Hz). Uređaj obezbeđuje izlaznu struju 400 A/26 V tokom 35% radnog ciklusa, 305A/22V tokom 60% radnog ciklusa i 236 A/20V tokom 100% radnog ciklusa. Izlazna struja se može podešavati u opsegu od 3 do 400 A. Napon praznog hoda je 90 V (jednosmerna struja DC) i <48 V (naizmenična struja AC).



Sl. 5.35. Uređaj za elektrolučno zavarivanje AristoTIG 405 AC/DC

MIG i MAG postupak zavarivanja

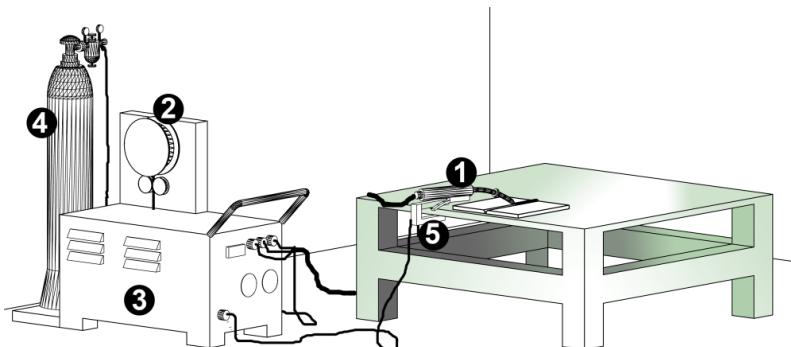
Za razliku od TIG postupka kod koga se električni luk uspostavlja između netopive (volframske) elektrode i osnovnog materijala, kod MIG i MAG postupka zavarivanja dodatni materijal je ujedno i elektroda. Oba ova postupka spadaju u kategoriju automatskog ili poluautomatskog zavarivanja u zaštićenim sredinama²⁰. Jedina razlika između ova dva postupka zavarivanja je u prirodi zaštitnog gasa.

²⁰ Poluautomatsko zavarivanje je zavarivanje kod koga se žica dodatnog materijala automatski dovodi u zonu zavarivanja. Kod automatskog zavarivanja dovođenje žice i kretanje pištolja duž šava je automatizovano.

Kod **MIG postupka** zavarivanja zaštitni gas je argon ili helijum (inertan gas), i primenjuje se za zavarivanje plemenitih materijala (aluminijuma i njegovih legura, legura magnezijuma i nerđajućeg čelika). Ovim postupkom moguće je zavarivati i druge čelike i obojene metale, međutim ne postoji ekonomski opravdanost. MIG postupkom zavarivanja postiže se velika brzina zavarivanja i jaka penetracija, pa je zbog toga ova metoda pogodna za zavarivanje debljih materijala. Odgovarajućim izborom radnih parametara, moguće je zavarivati i vrlo tanke čelične limove (debljine oko 0,5 mm). Zavareni spoj je dobrog kvaliteta jer nema troske koja može prouzrokovati nehomogenost materijala. Međutim, nedostatak troske kod zavarivanja visoko ugljeničnih čelika može izazvati nastanak pukotine na zavaru zbog brzog hlađenja. Za zavarivanje MIG postupkom koristi se jednosmerna struja obrnute polarnosti. U zavisnosti od debljine materijala koji se zavaruje, brzina zavarivanja se kreće u granicama od 6 do 90 m/h, protok gasa od 15 do 25 lit/min, dok je struja zavarivanja u granicama od 150 do 500 A.

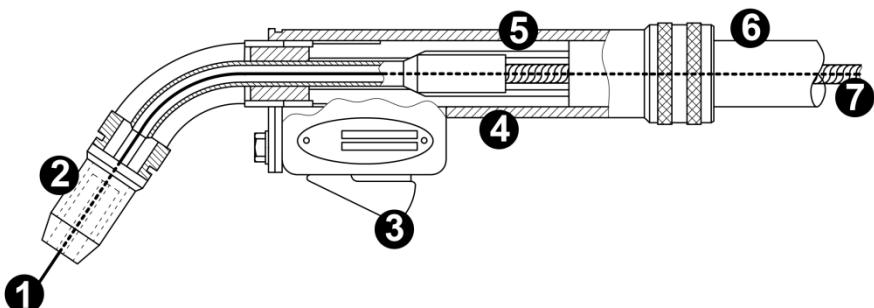
Kod **MAG postupka** zavarivanja zaštitni gas je ugljendioksid i primenjuje se za zavarivanje niskougljeničnih i niskolegiranih čelika debljine od 0,5 do 30 mm. Tokom zavarivanja, usled visokih temperatura, aktivni gas (CO_2) se razlaže na CO , O_2 i H_2 . Prisustvo kiseonika u zoni rezanja izaziva stvaranje oksida gvožđa (FeO) u zavaru i pojavu troske i poroznih mesta. Da bi se ovo izbeglo, kroz dodatni materijal se uvodi dodatna količina mangana i silicijuma. Zbog sklonosti oksidacije zavara, MAG postupkom zavarivanja se ne mogu zavarivati aluminijum, bakar, magnezijum, titan i njihove legure. Za zavarivanje MAG postupkom koristi se jednosmerna struja obrnute polarnosti. U zavisnosti od debljine materijala koji se zavaruje, brzina zavarivanja se kreće u granicama od 15 do 60 m/h, protok gasa od 6 do 20 lit/min, a struja zavarivanja od 40 do 500 A.

Opremu za MIG i MAG postupak zavarivanja čine (sl. 5.36) pištolj (poz. 1), kalem žice za dodavanje (poz. 2), aparat za zavarivanje (poz. 3), boca za smeštaj gasa (poz. 4) i stega mase (poz. 5).



Sl. 5.36. Oprema za elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi (MIG/MAG)
1 – pištolj, 2 – kalem žice za dodavanje, 3- aparat za zavarivanje, 4 – boca za smeštaj
gasa, 5 – stega mase

Električni luk se uspostavlja u atmosferi obogaćenoj zaštitnim gasom, između materijala koji se zavaruje i žice za dodavanje. Žica za dodavanje i zaštitni gas dovode se u zonu rezanja pomoću naročitog pištolja (sl. 5.37). Kroz mlaznicu pištolja (poz. 2) izlazi automatski i kontinuirano elektrodnata žica (poz. 1). Žica je namotana u kalem (sl. 5.36, poz. 2) koju konstantnom brzinom pokreće mali motor²¹. Debljina korišćene žice kreće se u granicama od 0,5 do 2 mm a odabira se u zavisnosti od debljine materijala koji se zavaruje (najčešće se koristi žica debljine 1,6 mm). Pištolj se napaja preko savitljivog višefunkcionalnog creva (poz. 6) koje istovremeno obezbeđuje provođenje struje od aparata za zavarivanje (sl. 5.36, poz. 3) do elektrode i dovoda zaštitnog gasa iz boce (sl. 5.36, poz. 4). Pištolj se hlađi vazduhom ili prinudnom cirkulacijom vode. Hlađenje se primenjuje u slučaju kada se za zavarivanje koristi struja jačine preko 300 A.



Sl. 5.37. Pištolj za MIG i MAG postupak zavarivanja

1-žica dodatnog materijala (elektroda), 2-mlaznica, 3-prekidač, 4-drška, 5-sprovodni kanal za gas, 6-višefunkcionalno crevo, 7-fleksibilna cev za sprovođenje žice

²¹ Brzina dotoka žice zavisi od njene potrošnje a može se regulisati pomoću potenciometra na aparatu za zavarivanje.

Kao i kod uređaja namenjenih TIG postupku zavarivanja, na tržištu se nudi čitav niz uređaja za MIG/MAG postupak zavarivanja.

Na slici 5.38 prikazan je savremeni uređaj za elektrolučno zavarivanje ESABMig 325. Uređaj se napaja trifaznom strujom (400-415 V/50 Hz) i obezbeđuje izlaznu struju 320 A/30 V tokom 35% radnog ciklusa, 250A/27V tokom 60% radnog ciklusa i 195 A/24V tokom 100% radnog ciklusa. Izlazna struja se može podešavati u opsegu od 40 do 320 A (16-30 V) pomoću preklopki sa 4 x 10 položaja. Napon praznog hoda je 16 – 40 V.



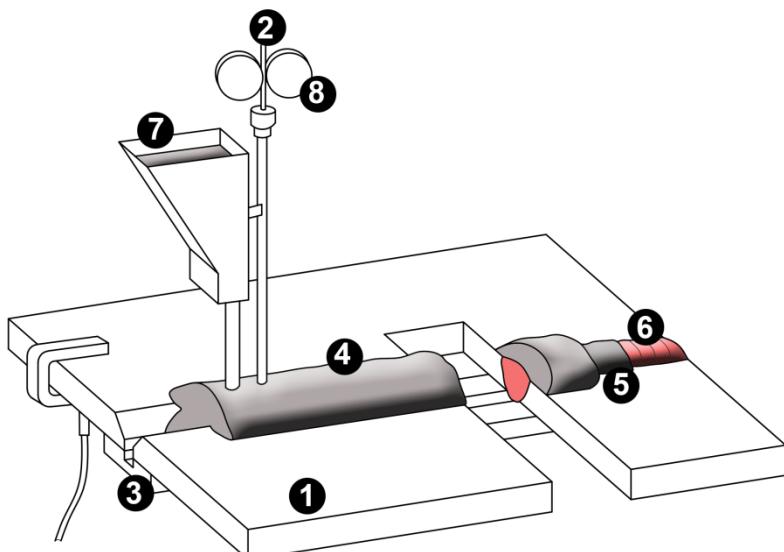
Sl. 5.38. Uredaj za elektrolučno zavarivanje ESABMig 325

5.2.6.4. Elektrolučno zavarivanje pod praškom

Elektrolučno zavarivanje pod praškom ima široku primenu u brodogradnji i izradi šinskih vozila, kao i pri izradi srednjih i velikih konstrukcija (sudovi, noseće konstrukcije i sl.). Elektrolučno zavarivanje pod praškom (sl. 5.39) spada u automatske postupke kod kojih se električni luk uspostavlja između topive elektrode (poz. 2) i osnovnog materijala (poz. 1). Topiva elektroda je gola žica koja je ujedno i

materijal za dodavanje. Debljina žice iznosi 2-6 mm. Električni luk se održava ispod praha (poz. 4) koji se automatski dozira iz sanduka (poz. 7) neposredno ispred uspostavljenog luka. Debljina sloja nasutog praška iznosi 50-60 mm. Zaštitni prah ima istu funkciju kao i obloga elektrode pri ručnom elektrolučnom zavarivanju. Prah se najčešće sastoji od smeše oksida mangana, silicijuma, titana, aluminijuma, kalcijuma, cirkonijuma, magnezijuma i kalcijum-flourida. Prah može biti bazni i kiseli. Bazni prah se koristi za zavarivanje legiranih, nerđajućih i vatrootpornih čelika, a kiseli za niskougljenične i niskolegirane čelike. Elektrolučnim postupkom zavarivanja pod prahom ostvaruje se visok stepen penetracije rastopljenog metala²² što omogućava zavarivenje u jednom prolazu predmete debljine do 30 mm. Zbog visokog stepena penetracije kod zavarivanja pod prahom neophodno je korišćenje podložne trake (poz. 3) kako bi se sprečilo razливanje rastopljenog metala (poz. 6) sa suprotne strane zavara.

Zavarivanjem pod praškom zavaruju se limovi debljine od 2-100 mm uz primenu istosmerne ili naizmenične struje jačine 1000-2000 A i napona luka 25-45 V.



Sl. 5.39. Zavarivanje pod praškom

1-osnovni materijal, 2-žica dodatnog materijala, 3-podložna traka, 4-zaštitni prah, 5-troska, 6-rastopljeni metal, 7-sanduk za prah, 8-privodni valjci za žicu

Zavarivanje pod prahom ima čitav niz prednosti koje se ogledaju u sledećem:

²² Visok stepen penetracije rastopljenog metala omogućen je pritiskom praška koji potiskuje rastopljeni metal sa gornje strane.

- Duboko rastapanje osnovnog materijala omogućava da se na ivicama limova izrađuju manja zakošenja (V žljebi se izrađuje kod limova debljine preko 8 mm) ili da se zakošenja ne izvode (kod limova debljine do 8 mm),
- Manja potrošnja materijala za dodavanje u odnosu na druge postupke,
- Produktivnost rada je 10 puta veća u odnosu na ručno elektrolučno zavarivanje,
- Gubici na sagorevanje i prštanje tečnog metala su ispod 2%,
- Zaštita zavarivača nije potrebna, jer se električni luk izvodi ispod praha,
- Šavovi imaju glatku površinu, visok kvalitet i sporije se hlade (u odnosu na ručno elektrolučno zavarivanje).

Nedostaci elektrolučnog zavarivanja pod prahom ogledaju se u nemogućnosti praćenja procesa zavarivanja (proces se odvija ispod praška) i relativno visoki troškovi samog praška (što bitno utiče na cenu zavarivanja).

Na slici 5.40 prikazan je savremeni uređaj za elektrolučno zavarivanje pod praškom Mastertrac A6. Ovo je snažan uređaj za zavarivanje pod praškom ili u struji zaštitnog gasa (MIG/MAG postupak), maksimalnim strujama do 1600 A i žicom prečnika do 6 mm. Uređaj ima sopstveni pogon na sva četiri točka. Brzina dodavanja žice je 0,2-4 m/min, a brzina kretanja mašine 0,1-2 m/min.



Sl. 5.40. Uredaj za elektrolučno zavarivanje pod praškom Mastertrac A6

5.2.6.5. Zavarivanje plazmom

Lukom plazme mogu se zavarivati svi zavarivi metali. Zavarivanje plazmom je veoma slično TIG postupku zavarivanja. Naime, kod plazma postupka zavarivanja, kao i kod TIG postupka koristi se držač netopive elektrode izrađene od volframa, ista žica dodatnog materijala (u obliku šipke ili žice) i isti inertni gas. Osnovna razlika između ova dva postupka je u konstrukciji (obliku) mlaznice držača elektrode, višim naponima struje i potrebi uvođenja još jednog, jonizujućeg, gasa.

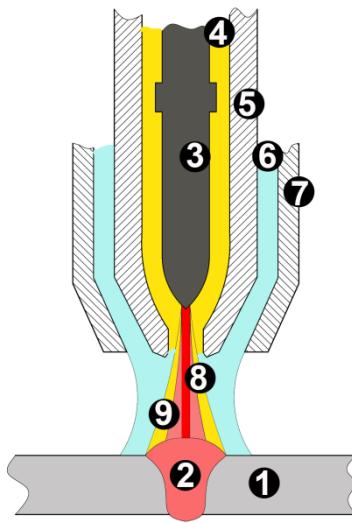
Plazma²³ se dobija pomoću specijalne gorioničke mlaznice cilindričnog oblika izrađene od vatrootpornog materijala (sl. 5.41, poz. 5), u čijem središtu se nalazi elektroda od volframa (poz. 3). Izlazni prečnik gorioničke mlaznice je manji od prečnika elektrode. Gas koji se uvodi kroz mlaznicu (poz. 4) se jonizuje u dodiru sa električnim lukom. Jonizacija je potpuna u središtu mlaza gase (poz. 8), koji je u direktnom kontaktu sa lukom, a prema periferiji je sve slabija, što znači da postoji središna zona visoke temperature (do 20.000°C) okružena zonom niže temperature, koja predstavlja termičku zaštitu i izolaciju za zidove gorioničke mlaznice (poz. 9). U cilju sprečavanja pregrevanja, glava gorionika se hlađi intenzivnom cirkulacijom vode. Mlaz jonizovanog gase se prigušuje zbog suženog izlaznog otvora gorioničke mlaznice. Jonizujući gas zbog svoje visoke temperature teži da se širi, međutim, pošto zbog sužene mlaznice ne može da se širi, njemu se na izlazu iz gorioničke glave povećava brzina strujanja. Ova pojava utiče na luk na taj način da za razliku od slobodnog luka (kod TIG postupka), plazma luk ne može da se širi bočno (svodi se na jedan uzan i koncentrisan snop, poz. 8).

Kod plazma postupka zavarivanja luk se može uspostaviti na dva načina i to:

- između elektrode od volframa i osnovnog materijala (prelazni ili direktni luk)
ili
- između elektrode i spoljašnjeg dela mlaznice (neprelazni ili indirektni luk).

Direktni luk se primenjuje za zavarivanje ili sečenje, a indirektni luk se zbog svoje ograničene kalorične moći koristi za zavarivanje tankih predmeta.

²³ Plazmom se naziva jonizovana gasna atmosfera. Naime, ako se neki neutralni gas zagreje (električnim lukom) na temperaturu pri kojoj će mu se kinetička energija povećati iznad neke određene granice, tada atomi i molekuli tog gasea, zbog intenzivnih međusobnih sudara, oslobađaju tokom kratkog vremena jedan ili više slobodnih elektrona. Bez tih elektrona atomi ili molekuli postaju joni, odnosno nosioci pozitivnog električnog punjenja. Kao izvor toplote se koristi električni luk.



Sl. 5.41. Zavarivanje plazmom

1-osnovni materijal, 2-zavar, 3-volframska elektroda, 4-jonizujući gas, 5-keramička gorionička mlaznica, 6-zaštitni gas, 7-mlaznica zaštitnog gasa, 8-luk plazme, 9-plašt luka

Pri zavarivanju plazmom u zonu zavarivanja se uvodi dodatni gas argon ili argonska mešavina (sl. 5.41, poz. 6) čiji je zadatak da obrazuje zaštitnu gasnu atmosferu koja se primenjuje i kod TIG postupka zavarivanja. Zaštitni gas se uvodi kroz prsten koji obavlja keramičku gorioničku mlaznicu sa njene spoljašnje strane.

Gas koji se koristi za prenos topline (jonizaciju) proizvedene od strane električnog luka ne sme biti oksidirajući jer bi to moglo uticati na skraćenje veka trajanja elektrode od volframa. Kao jonizujući gas koristi se argon, helijum, azot ili vodonik.

Plazmom se mogu zavarivati svi metali, a postupak je naročito podesan za nerđajuće čelike, nikl, bakar, mesing, titan, aluminijum i lake legure. Zavarivanje plazmom se obavlja znatno brže u odnosu na druge postupke jer mogu da se zavaruju predmeti većih debljina u manjem broju potrebnih prolaza. Osim toga, zahvaljujući visokoj koncentraciji plazma – luka, smanjuje se zona povišene temperature, pri čemu se javljaju manje temperaturne deformacije. Plazmom mogu u jednom prolazu da se zavare materijali debljine od 2,5-7 mm. Za zavarivanje materijala veće debljine, potrebna je prethodna priprema ivica u V oblik.

Za zavarivanje izuzetno tankih limova, debljine od 0,01 mm, kod kojih je potrebna veoma mala jačina struje (0,2 - 10 A) primenjuje se postupak mikroplazme. Kod zavarivanja mikroplazmom, osim gasa za formiranje plazme, uvodi se još jedan

gas koji ima funkciju da dodatno suzi luk i zaštiti rastop od oksidacije. Kao dodatni gas, koristi se mešavina argona i vodonika, koja je manje podložna ionizaciji od čistog argona. Pri zavarivanju mikroplazmom koristi se direktni luk koji se pri radu sa strujom visoke frekvencije, bez teškoća uspostavlja u željenoj tački. Ova vrsta luka se može koristiti i za zavarivanje materijala koji nisu dobri provodnici struje. Ovakav postupak zavarivanja nalazi veliku primenu u elektrotehnici, elektronici i preciznoj mehanici.

5.2.6.6. Zavarivanje elektronskim snopom

Zavarivanje elektronskim snopom (sl. 5.42) je postupak zavarivanja novijeg datuma. Kao izvor topline koristi se veoma uzan snop elektrona velike brzine, usmeren prema predmetima koji se žele spojiti (elektronski mlaz). Zahvaljujući svojoj snažnoj koncentraciji, elektronski mlaz izrađuje veoma uzane i duboke zavare. Kod austeničnih čelika (nerđajućih) se ostvaruje penetracijom od 10 mm, a kod aluminijuma čak i do 60 mm. Operacija zavarivanja se obavlja u zaptivnoj komori pod vakuumom radi izbegavanja kontaminacije X - zracima. Troškovi zavarivanja elektronskim snopom su veoma visoki, pa postupak za sada nalazi primenu samo u proizvodnji projektila i u nuklearnoj industriji.



Sl. 5.42. Mašina za zavarivanje elektronskim snopom

5.2.6.7. Zavarivanje laserskim zracima

Zavarivanje laserskim zracima (sl. 5.43) vrši se primenom lasera kao optičkog emitera koji proizvodi ekstremno koncentrisane svetlosne zrake. Koncentrisanje svetlosnih zraka vrši sistem sočiva dok se laserski zraci koriste za sečenje, zavarivanje ili bušenje bilo koje vrste materijala. Uredaj se sastoji od jedne univerzalne glave koja služi i za zavarivanje i za sečenje. Zona u kojoj toplota izražava svoje dejstvo je veoma mala, odnosno, ograničena, što je veoma značajno za male predmete koji se koriste u elektronskoj industriji i preciznoj mehanici. Za zavarivanje ovim postupkom naročito su pogodni materijali sa visokom tačkom topljenja. Takođe, laserskim zracima se mogu zavarivati raznorodni metali, a može se ostvariti i spajanje metala sa keramikom i stakлом.



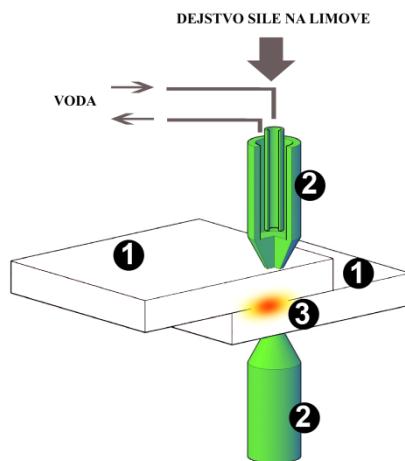
Sl. 5.43. Mašina za zavarivanje laserskim zracima

5.2.7. Elektrootporno zavarivanje

Elektrootporno zavarivanje je postupak spajanja materijala pod pritiskom. Kod ovog postupka zavarivanja toplota potrebna za topljenje u zoni zavarivanja, razvija se usled električnog otpora struji visokog intenziteta i niskog napona, koja se propušta kroz tu zonu. Elektrootporno zavarivanje se obavlja bez materijala za dodavanje. Elektrootpornim zavarivanjem mogu se spajati čelici, aluminijum, srebro, bronza,

bakar, volfram i sl., kao i međusobno različiti metali. Prema obliku zavarenog spoja, zavarivanje električnim otporom se deli na sučeono i preklopno zavarivanje.

Na slici 5.44 prikazana je šema elektrootpornog zavarivanja preklopnog spoja. Kod ovog postupka, zavarivani elementi (poz. 1) stegnuti su između elektroda (poz. 2). Struja zavarivanja prolazi kroz elektrode i zavarivane elemente između njih. Prolaskom struje kroz osnovni materijal i preko spoja dva zavarivana elementa, dolazi do naglog povećanja električnog otpora, što se manifestuje lokalnim izdvajanjem toplote koja povećava plastičnost osnovnog materijala. Dejstvom sile na lokalno zagrejane delove, putem elektroda, dolazi do difuzije atoma iz kristalne rešetke jednog u kristalnu rešetku drugog materijala i njihovog spajanja. Povećanje električnog otpora na mestu kontakta dva zavarivana elementa nastaje kao rezultat nepotpunog naleganja jedne površine na drugu (usled postojanja mikro neravnina) kao i usled postojanja oksidnog sloja na metalnim površinama.



Sl. 5.44. Elektrootporno zavarivanje

1-osnovni materijal, 2-elektrode, 3-zona zavarivanja

Količina topline koja se izdvoji pri zavarivanju električnim otporom, određuje se prema Džulovom zakonu:

$$Q = I_z^2 \cdot R \cdot t_z \text{ (J)}$$

gde je:

I_z – jačina struje zavarivanja (A)

R – otpor strujnog kola (Ω)

t_z – vreme zavarivanja (s)

Otpor strujnog kola (R) jednak je zbiru otpora zagrejanog dela osnovnog

materijala (R_m), otpora unutar delova osnovnog materijala (R_k), otpora unutar elektroda (R_{el}) i otpora kontakta između elektrode i osnovnog materijala (R_e):

$$R = 2 \cdot R_m + R_k + 2 \cdot R_{el} + 2 \cdot R_e (\Omega)$$

S obzirom na to da se elektrode izrađuju od specijalne legure bakra koja pruža veoma mali otpor prolasku struje zavarivanja, njihov otpor se može zanemariti, pa je ukupan otpor strujnog kola:

$$R = 2 \cdot R_m + R_k + 2 \cdot R_e (\Omega)$$

Za proces zavarivanja korisna toplota je ona koja se izdvaja na osnovnom materijalu i na kontaktu između delova osnovnog materijala. Međutim, toplota koja se izdvaja na kontaktu između elektroda i osnovnog materijala je štetna jer ubrzava trošenje elektrode i pregrevu površine osnovnog materijala na mestu kontakta sa elektrodama. Iz tog razloga, elektrode se hlađe propuštanjem vode (sl. 5.44).

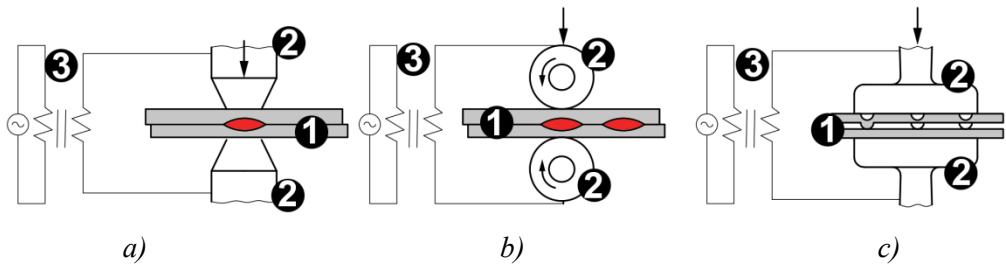
Zavisno od načina izvođenja i upotrebljene opreme, postupci elektrootpornog zavarivanja mogu se podeliti na:

- tačkasto zavarivanje,
- zavarivanje kotrljanjem i
- bradavičasto zavarivanje.

Tačkasto zavarivanje (sl. 5.45 a) ima primenu u automobilskoj industriji (tačkasto zavarivanje karoserije), u industriji aparata za domaćinstvo i izradi metalnog nameštaja. Radni ciklus zavarivanja obavlja se tako što se elektrode približe limovima. Brzim prolazom struje (0,1-0,8 sekunde) visokog intenziteta (5000-10000 A) dolazi do stvaranja rastopljenog jezgra vara. Pojačanim pritiskom elektroda na limove (silom od 1-10 kN), obezbeđuje se spajanje materijala, uz stvaranje homogenog tačkastog vara. Tačkastim zavarivanjem mogu se zavarivati čelični limovi debljine do 12 mm.

Zavarivanje kotrljanjem (sl. 5.45 b) predstavlja vrstu tačkastog zavarivanja kod kojeg se rastojanje između pojedinih tačaka, (umesto pomeranja elektroda ili radnih predmeta) ostvaruje rotacijom specijalnih elektroda u obliku diska. Rastojanje između tačaka spajanja se ostvaruje propuštanjem struje u impulsima tokom rotiranja diskova po površini materijala. Ovim postupkom zavaruju se čelici debljine do 3,5 mm i drugi materijali (izuzev aluminijuma) do debljine 2 mm.

Kod **bradavičastog zavarivanja** (sl. 5.45 c) mesto dodira se ne ostvaruje putem elektrode ili diskova već prethodnim oblikovanjem jednog od limova koji se spajaju. U osnovi, bradavičasto zavarivanje predstavlja tačkasto zavarivanje koje se obavlja istovremeno u većem broju tačaka. Ovim postupkom zavaruju se meki ugljenični čelici debljine do 8 mm i nerđajući čelici do debljine 4 mm.



Sl. 5.45. Postupci elektrootpornog zavarivanja

a-tačkasto, b-kotrljanjem, c-bradavičasto

1-materijali spajanja, 2-elekroda, 3-izvor napajanja električnom energijom

5.2.8. Zavarivanje trenjem

Zavarivanje trenjem (sl. 5.46) predstavlja postupak zavarivanja pod pritiskom kod koga se koristi toplota koja se razvija pri trenju dveju površina čvrsto priljubljenih jedne uz drugu. Trenje se ostvaruje tako što se predmeti koji se žele spojiti rotiraju jedan u odnosu na drugi, pri čemu su međusobno čvrsto priljubljeni. Ovaj postupak je pogodan za zavarivanje cevi, vratila, šipki okruglog preseka ili za zavarivanje šipki i cevi za ravne predmete.



Sl. 5.46. Mašina za zavarivanje trenjem

5.2.9. Zavarivanje primenom ultrazvuka

Ultrazvučno zavarivanje (sl. 5.47) bazirano je na lokalnom zagrevanju usled trenja površina materijala koji se spajaju. Trenje je rezultat vibracija nastalih delovanjem ultrazvuka.

Kod zavarivanja primenom ultrazvuka, predmeti koji se žele zavariti postavljaju se jedan iznad drugog između ultrazvučne glave i odgovarajućeg oslonca, a zatim se propušta ultrazvuk frekvencije 1-100 kHz. Usled delovanja ultrazvuka predmeti počinju vibrirati, lokalno se zagrevati i usled dejstva sile pritiska (vrši je ultrazvučna glava) dolazi do plastične deformacije kristala na graničnoj površini i njihovog spajanja.

Zavarivanje ultrazvukom spada u grupu postupaka spajanja na hladno. Spojevi ostvareni ovim postupkom imaju dobru mehaničku čvrstoću, dok se predmeti ne deformišu jer nema zagrevanja. Kako bi se ostvario spoj u jednoj tački, trajanje jednog impulsa ultrazvuka iznosi ≈ 1 sec. Ultrazvukom se mogu zavarivati predmeti debljine od 0,005 do 2 mm. Najpogodniji metali za zavarivanje pomoću ultrazvuka su aluminijum i legure aluminijuma, a mogu se zavarivati bakar i njegove legure, nikl, nerđajući čelici, zlato, srebro i platina, a mogu se ostvariti i spojevi raznorodnih metala i različitih materijala. Ovaj postupak zavarivanja široko se upotrebljava za spajanje delova od plastike. Kratko vreme trajanja zavarivanja i mala potrošnja energije čini ovaj postupak veoma ekonomičnim.



Sl. 5.47. Uredaj za zavarivanje ultrazvukom

5.3. LEMLJENJE

Lemljenje je postupak spajanja materijala u nerazdvojivu vezu, pri kojem ne dolazi do topljenja ivica delova koji se spajaju, već samo dodatnog materijala (lema). Razlika između zavarivanja i lemljenja je u tome što pri zavarivanju delovi koji se spajaju (sa svojim materijalom) učestvuju u obrazovanju spoja, dok pri lemljenju spoj se obrazuje isključivo posredstvom dodatnog materijala. Spajanje delova lemljenjem, bazira se na fenomenu površinske adhezije između osnovnog i dodatnog materijala, zbog čega površina osnovnog materijala (dela koji se spaja) pre početka lemljenja, mora biti detaljno očišćena. U tu svrhu se koristi topitelj koji se topi lakše od lema i uklanja okside i nečistoće sa dodirnih površina. Kao topitelji, odnosno dezoksidanti, koriste se praškovi ili paste na bazi boraksa ili borne kiseline.

Dodatni materijal koji se koristi u procesu lemljenja različit je od delova koji se spajaju i ima znatno nižu temperaturu topljenja od osnovnog materijala, zbog čega su temperature lemljenja znatno niže od temperature zavarivanja. Metal za dodavanje treba da ima dobru tečljivost i dobra mehanička svojstva. Bitna karakteristika dodatnog materijala za lemljenje je njegova sposobnost da se u rastopljenom stanju razliva i prianja po osnovnom metalu, pri čemu rastopljeni dodatni materijal, prodire u vrlo uske ivične zazore i u najfinije međukristalne prostore osnovnog metala. Usled termičke dilatacije, ovi prostori se pri zagrevanju šire dok se nakon hlađenja dobija veoma čvrsta i postojana mehanička veza između zalemljenih predmeta.

Dodatni materijal (lem) se na predmete nanosi polaganjem ili razlivanjem.

Spajanje polaganjem lema je po načinu izvođenja slično gasnom zavarivanju. Ivične površine se pripremaju na isti način kao kod gasnog zavarivanja, a metal za dodavanje se nanosi sukcesivnim polaganjem u više navrata. Toplota potrebna za lemljenje, obezbeđuje se sagorevanjem acetilena koji se iz boca doprema u gorionik za gasno zavarivanje. Temperatura lemljenja zavisi od vrste materijala: za čelik se kreće u granicama od 800 - 950°C, za sivi liv od 650 - 850°C, dok se za bakar kreće od 850 - 950°C.

Krti i tvrdi metali kao što su sivi liv i liveni čelik, koji se lako lome zbog jakih unutrašnjih napona nastalih usled hlađenja, pogodni su za spajanje polaganjem lema, jer se na taj način izbegava njihovo prekomerno zagrevanje, a kao metal za dodavanje se koriste duktilni (kovni) materijali koji se tokom hlađenja sasvim malo deformišu. Lemljenje polaganjem lema se najčešće primenjuje pri popravci odlivka (prvenstveno izlivenih delova motora). Neophodan preuslov uspešnog lemljenja sivog liva je da se radni predmet prethodno zagreje na temperaturu od najmanje 650°C do najviše 800°C. Van ovog temperaturnog intervala lemljenje sivog liva ne može da se obavi.

Pocinkovane cevi i drugi pocinkovani predmeti se mogu uspešno spojiti lemljenjem. Naime, pocinkovani predmeti se ne mogu spojiti elektrolučnim niti gasnim zavarivanjem, jer su radne temperature ovih postupaka iznad temperature

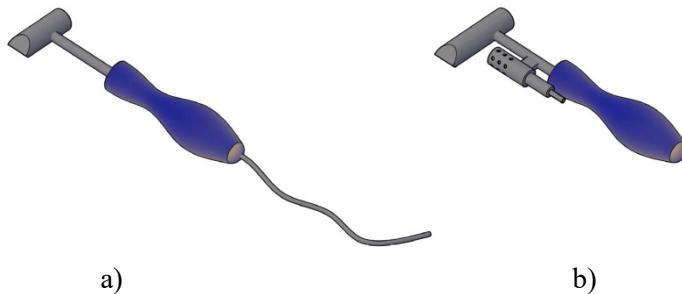
isparavanja cinka (isparavanjem cinka predmeti se izlažu koroziji). Lemljenje pocinkovanih čeličnih i gvozdenih predmeta je olakšano time što se ispod sloja cinka nalazi dekapirana²⁴ površina. Osim toga, topljenje cinka je ograničeno na malu zonu u blizini spoja.

Lemljenje razlivanjem se izvodi tako što su ivične površine sasvim približene, tako da između njih postoji samo mali zazor. Ivične površine se „kvase“ rastopljenim materijalom za dodavanje usled pojave kapilarnih napona koji omogućavaju ispunu najfinijih međukristalnih prostora. U zavisnosti od temperature topljenja metala za dodavanje, ova vrsta lemljenje može biti meka i tvrda.

Meko lemljenje se izvodi dodatnim materijalom koji je legura metala sa niskom temperaturom topljenja. Kod ovog načina lemljenja, kao metal za dodavanje, koriste se legure olova i kalaja koje se tope na temperaturi ispod 400°C. Ostvarena čvrstoća spoja je mala. Za uspešno obavljanje mekog lemljanja, pored legure dodatnog materijala, potrebna su sredstva za čišćenje i uređaji (lemilice) za zagrevanje predmeta i topljenje dodatnog materijala.

Mehaničko čišćenje krajeva predmeta i vrha lemilice obavlja se čeličnom četkom, brusnim papirom ili turpijom. Hemijsko čišćenje predmeta se vrši rastvorom cink-hlorida u sonoj kiselini, aluminijum-hloridu ili pastama za čišćenje. Hemijska sredstva za čišćenje mogu biti ugrađena u leguru dodatnog materijala za lemljenje. Lemilica se hemijski čisti umakanjem u amonijum hlorid (nišador)²⁵.

Prema načinu zagrevanja lemilice mogu biti: obične (greju se na plamenu), električne, benzinske i gasne (5.48).



Sl. 5.48. Lemilica
a-električna, b-gasna

Postupak mekog lemljenja izvodi se zagrevanjem očišćenih predmeta i nanošenjem tankog sloja lema (dodatnog materijala).

²⁴ Dekapiranje je postupak čišćenje metala (uglavnom čeličnih limova) od produkata korozije, uronjavanjem u razređenu sumpornu ili sonu kiselini pri određenoj temperaturi (80 °C).

²⁵ Amonijum hlorid (nišador) je neorgansko hemijsko jedinjenje, koje se ubraja u najznačajnije soli amonijaka. Nastaje usled mešanja hlorovodonične kiseline i amonijaka.

Tvrdo lemljenje izvodi se legurama visoke temperature topljenja, a čvrstoća spoja je znatno veća u odnosu na meko lemljenje. Kod tvrdog lemljenja, hemijsko čišćenje se vrši boraksom. Zagrevanje predmeta pri tvrdom lemljenju obično se obavlja gorionikom za gasno zavarivanje. Tvrdo lemljenje se ostvaruje zagrevanjem predmeta do temperature iznad tačke topljenja dodatnog materijala. Na toj temperaturi dodatni materijal se topi, povremeno umače u boraks i nanosi na mesto spoja. U serijskoj proizvodnji tvrdo lemljenje se izvodi zagrevanjem predmeta u peći ili potapanjem predmeta u rastopljen dodatni materijal.

6. LITERATURA

1. Ambrogio P.F., i sar.: Ručna obrada metala, Priručnik za organizovanu nastavu i samostalno učenje, Tehnička knjiga, Beograd, 1981.
2. Anonimus: Mašinski priručnik, Akademска misao, Beograd, 2007.
3. Beccantini G. i sar.: Merenje i kontrola u mašinstvu, Priručnik za organizovanu nastavu i samostalno učenje, Tehnička knjiga, Beograd, 1981.
4. Bertocco E. i sar.: Plastična obrada metala, Priručnik za organizovanu nastavu i samostalno učenje, Tehnička knjiga, Beograd, 1981.
5. Casari B. i sar.: Zavarivanje, Priručnik za organizovanu nastavu i samostalno učenje, Tehnička knjiga, Beograd, 1981.
6. Furman T., Tomić M., Sabo B., Dakić J., Nikolić R., Vilotić D., Savin L.: Poznavanje remontnih mašina – zavarivanje, metalizacija i kovanje, Praktikum Ideo, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 2003.
7. Furman T.: Poznavanje remontnih mašina, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 1994.
8. Hodolič J., Vukelić Đ.: Pribori, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
9. Ivković, B.: Obrada metala rezanjem, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
10. Jovičić M., Nikolić D., Đorđević V., Pantić M., Simić S.: Tehnologija obrade I, Zavod za udžbenike, Beograd, 1988.
11. Jovičić M., Nikolić D., Stanić J., Mandić D., Šarbah M.: Tehnologija obrade II, Zavod za udžbenike, Beograd, 1989.
12. Kovač P.: Pojmovnik obrade rezanjem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
13. Kovač R.: Projektovanje livnica i livačke tehnologije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
14. Majstorović A., Jovanović M.: Tehnološko metalurški osnovi zavarivanja, lemljenja i lepljenja, Naučna knjiga Beograd, 1995.
15. Milikić D., Gostimirović M., Sekulić M.: Osnovi tehnologije obrade rezanjem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
16. Nedić B., Lazić M.: Obrada metala rezanjem, predavanja, Mašinski fakultet Kragujevac, 2007.
17. Nedić, B., Tadić, B., Obrada metala rezanjem, proračun elemenata režima obrade, Zbirka zadataka, skripta, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2002.
18. Nikolić, D., Jovanović, T., Stanić, J., Gajović, V.: Mašinska obrada I, Mašinski fakultet Beograd, 1990.

19. Prgomelja N., Stančić S.: Konstrukcija alata i pribora, Zavod za izdavanje udžbenika Novi Sad, 1990.
20. Simić S., Simić Z.: Tehnologija 2, operater mašinske obrade, Zavod za udžbenike, Beograd, 2007.
21. Smith D.: Veštine i tehnologija zavarivanja, DD IP „Vuk Karadžić“ Paraćin, 1995.
22. Stanković P.: Mašinska obrada, obrada materijala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1967.
23. Stojilković M.: Primena maziva, NIS a.d. Novi Sad-Beograd, 2011.
24. Todić V.: Projektovanje tehnoloških procesa, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
25. Vukić M.: Mehanička tehnologija, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2001.

