STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK XI LJUBLJANA, V DECEMBRU 1965 ŠTEVILKA 6

DK 621.961/.964—233.18

Fino rezanje v tehniki štancanja

FRANC GOLOGRANC

S finim rezanjem označujemo postopke plastičnega preoblikovanja, ki omogočajo izdelavo izrezov in izrezkov iz pločevine z zelo natančnimi, gladkimi in na površino pločevine pravokotnimi reznimi ploskvami. V nasprotju s postopki naknadne obdelave s porezovanjem, dosegamo pri finem rezanju gladke strižne ploskve z eno samo rezno operacijo. Tako je v določenih pogojih mogoče dosegati znatne prihranke. Poznamo že več načinov finega rezanja, vendar se v praksi uporablja v glavnem postopek rezanja pod pritiskom grebenastega držala, ki se je — kakor kaže — tudi najbolj uveljavil.

V tehniki štancanja uporabljamo za izdelavo posameznih predmetov surovce, ki imajo največkrat obliko rondele, platine ali drugačnega prireza. Izrezani so iz pločevine s škarjami ali posebnimi rezilnimi orodji, pa tudi pri nadaljnji obdelavi se ti izrezani deli dostikrat še luknjajo, obrezujejo, porezujejo ipd. Strižne ploskve tako izrezanih ali preluknjanih delov pa nikakor niso tako gladke, da bi njihova kvaliteta v vsakem primeru ustrezala vsakokratnim zahtevam. Posebno pri izdelkih in elementih, kakršne uporabljamo v fini mehaniki, npr. pri zobnikih, zobniških segmentih, zapiračih, ročicah in številnih drugih delih, imajo te ploskve dostikrat posebne funkcije, zaradi katerih so potrebni ostri robovi, gladke in pravokotne strižne ploskve ter večja natančnost obrisov oziroma koncentričnost zunanjih in notranjih robov z zelo majhnimi tolerancami.

Če torej strižne ploskve, ki nastajajo pri običajnem izrezovanju in luknjanju, ne zadovoljujejo, jih je treba naknadno obdelovati. Obdelava s frezanjem, posnemanjem, brušenjem ipd. je možna le pri geometrično preprostih oblikah reznih ploskev, mimo tega pa je največkrat zelo draga in nerentabilna. Zato so v zadnjih letih razvili novejše rezilne postopke, s katerimi je mogoče dosegati zelo lepe, ravne in gladke strižne ploskve tudi brez omenjene naknadne obdelave z odrezavanjem. Ker so z rešitvijo tega tehnološkega problema zvezani tudi veliki prihranki — zlasti v množinski proizvodnji — so ti postopki za sodobno obdelovalno tehniko zelo pomembni.

Ta čas razlikujemo v glavnem dve vrsti rezilnih postopkov, s katerimi je mogoče doseči lepe, ravne in pravokotne strižne ploskve ter kvalitetno površino. Pri prvi skupini je treba najprej iz pločevine izrezati ustrezne oblike obdelovancev, ki jih nato v naslednji operaciji na strižnih ploskvah samo še dokončno obdelamo. Tak proces naknadne obdelave imenujemo p o r e z o v a n j e. V drugo skupino lahko uvrstimo postopke, s katerimi izdelek izrežemo iz pločevine v eni sami operaciji, vendar tako, da so strižne ploskve že povsem gladke in ne potrebujejo več nikakršne naknadne obdelave. Glede na to, da v slovenski tehnološki terminologiji še nimamo skupnega izraza za tovrstne postopke, jih za zdaj imenujmo f i n o rezanje, kar ustreza tudi izrazom v drugih svetovnih jezikih (fine-blanking, découpage-fin, Feinschneiden, začistaja zagotovka).

Poglavitne razlike med postopki porezovanja in finega rezanja so naslednje [1]:

Pri finem rezanju so rezalne sile za 50 ... 100 % večje od sil, ki nastajajo pri rezanju z običajnimi rezilnimi orodji, medtem ko je potrebna sila za porezovanje relativno majhna. To je povsem razumljivo, saj je porezovanje v bistvu le posnemanje ustreznega dodatka, ki je namenjen za naknadno obdelavo.

Medtem ko se dajo porezovati skoraj vse kovine, ki jih uporabljamo v tehniki štancanja, morajo biti materiali za fino rezanje zelo plastični. Potrebno kvaliteto strižnih ploskev lahko dosegamo pri finem rezanju z enim samim orodjem, pri porezovanju pa sta potrebni najmanj dve orodji.

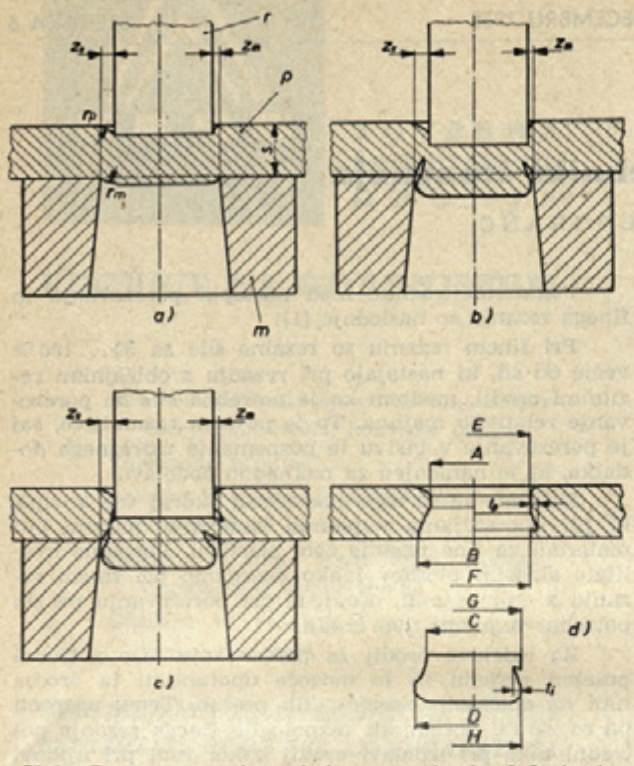
Za izdelavo orodij za porezovanje niso potrebni posebni prijemi in je mogoče uporabljati ta orodja tudi na običajnih ekscentrskih prešah. Temu nasproti pa so zaradi posebnosti tehnologije finega rezanja potrebni tako pri izdelavi orodij kakor tudi pri njihovi uporabi specializirani strokovnjaki. To je tudi eden izmed razlogov, da se tehnika finega rezanja doslej ni mogla močneje uveljaviti.

1. PROCES REZANJA Z REZILNIM ORODJEM

Oglejmo si najprej normalni postopek rezanja s prostim rezilnim orodjem, kakršno prikazuje slika 1, z upoštevanjem novejših izsledkov in predstav o mehanizmu plastične deformacije. Ko prične rezilni pestič vdirati v pločevino, ki leži na matrici, se material ob robovih rezil deformira oziroma zaokroži. Ta zaokrožitev nastaja pri izrezanem delu pločevine na spodnji strani, in sicer znotraj rezne linije (r_m), pri preluknjanem delu pločevine pa na zgornji strani, zunaj rezne linije (r_p), slika 1 a. Velikost zaokrožitve je odvisna od velikosti zraka med pestičem in matrico ter od geometrične oblike rezne linije.

Pri nadaljnjem vdiranju pestiča se pojavljajo v strižni coni razpoke, zaradi katerih se material pretrga, še prej ko je pestič povsem prebodel pločevino. Te razpoke nastajajo najprej ob rezilnih robovih matrice in potekajo — če so rezilni robovi enako ostri — od spodaj navzgor proti notranjosti izrezka, slika 1 b.

Pri zaprtem rezu — to je pri rezanju z orodji, ki sestavljajo zaključeno rezno linijo — se pojavljajo zaradi raztezanja robnih vlaken na spodnji strani pločevine natezne napetosti, slika 2. Te napetosti močno naraščajo, ker se razteza samo notranji del, to je material znotraj rezne linije, medtem ko lahko na gornji strani material še doteka iz okolice. Vrh tega se pločevina pod vplivom rezalne sile upogiba, tako da nastajajo na spodnji strani dodatne deformacije in s tem dodatne natezne napetosti. Temu nasproti delujejo v zgornji tlačni coni upognjenega dela pločevine radialne tlačne napetosti. Ker je celotna obremenitev zaradi vsote nateznih napetosti na spodnji strani pločevine večja, se pojavljajo tudi razpoke najprej na tej strani.



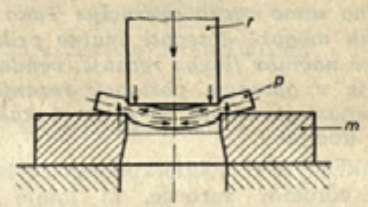
Sl. 1. *Proces rezanja pri izrezovanju in luknjanju (shema)*

r — rezilni pestič, m — rezilna plošča (matrica), p — pločevina, z_v — velik zrak, z_m — majhen zrak.
Pri velikem zraku (levo od srednjice): *A* — najmanjša, *B* — največja mera preluknjane pločevine, *C* — najmanjša *D* — največja mera izrezanega dela.
Pri majhnem zraku (desno od srednjice): *E* ≈ *F* — najmanjša, *G* ≈ *H* — največja mera izrezanega dela, t_p — globina razpoke v preluknjani pločevini, t_i — globina razpoke v izrezanem delu.

Z nadaljnjim vdiranjem pestiča v pločevino se razpoke povečujejo, dokler ne ostane samo še tanka plast materiala, ki jo pestič nazadnje prestriže. Pogoj za to je, da so rezilni robovi na pestiču in rezilni plošči dovolj ostri. Ko rezila otopijo, se specifična obremenitev na dotikalnih ploskvah med orodjem in pločevino zmanjša, tako da se pojavljajo razpoke pozneje in se material loči šele, ko je dosegel pestič večjo globino. Pri tem zdrsijo robne plasti pločevine prek rezilnega robu in tvorijo iglo, slika 3. Posledica izgubljene ostrine rezilnih robov je večja plastična deformacija in s tem tudi večja utrditev materiala v strižni coni.

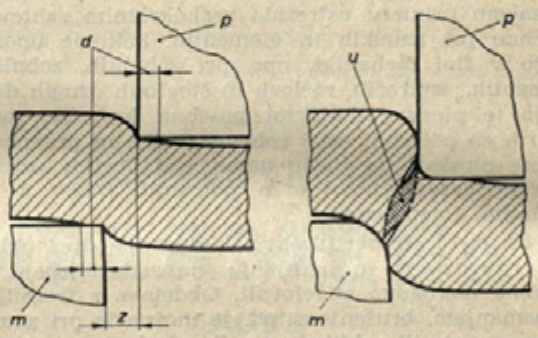
Preskusi kažejo, da se pretrga material v strižni coni šele po razmeroma veliki poprejšnji plastični deformaciji [2]. Stopnja deformacije pa ni po vsem prerezu strižne cone enaka, ampak je največja v bližini rezilnih robov. To dokazuje tudi naklon deformiranih vlaken materiala v območju strižne cone, slika 4, ki se v smeri preoblikovanja raztezajo, hkrati pa se utrjujejo, tako da nenehno narašča odpor proti vdiranju pestiča v pločevino. Zaradi raztezanja materiala v strižni coni doteka snov iz širše okolice. To raztezanje in naknadno dotekanje materiala v strižno cono ustvarja dodatno relativno gibanje med orodjem in obdelovancem ter povzroča skupno z velikim ploščinskim pritiskom na stičnih ploskvah obrabo rezilnih robov, posredno pa tudi nastanek igle na izrezanih delih oziroma pločevini.

Kvaliteta strižnih ploskev je razen od vrste in debeline materiala odvisna tudi od velikosti zraka med rezilnim pestičem ter matrico. Pri velikem zraku (slika 1, levo od srednjice) se razpoke, ki nastajajo sprva na spodnji, pozneje pa tudi na zgornji strani pločevine, lahko ujemajo, to je, padajo v isto ravnino. V takih primerih ima strižna ploskev dve izraziti področji: svetel pas, ki ustreza plastični fazi rezanja, ter drug, medel in zrnat pas, kjer se je material pretrgal, slika 5. Prvi je domala pravokoten na ravnino pločevine, medtem ko je drugi nekoliko poševen. Temu nasproti potekajo razpoke pri majhnem zraku (slika 1, desno od srednjice) druga mimo druge in se pri nadaljnjem vdiranju pestiča v material širijo. Preostali del materiala med obema razpokama pestič nato znova reže oziroma ga mečka. Nastajanje razpok, njihovo širjenje in mečkanje materiala se lahko na izrezanem



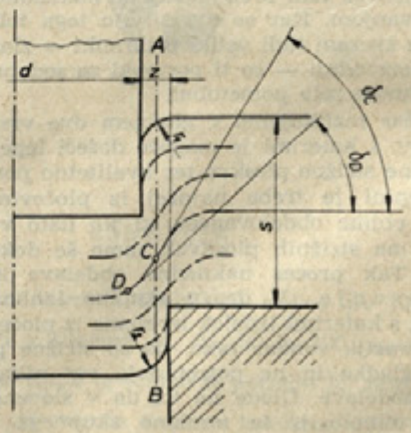
Sl. 2. *Deformacija pločevine pri rezanju s prostim rezilnim orodjem*

r — rezilni pestič, p — pločevina, m — matrica



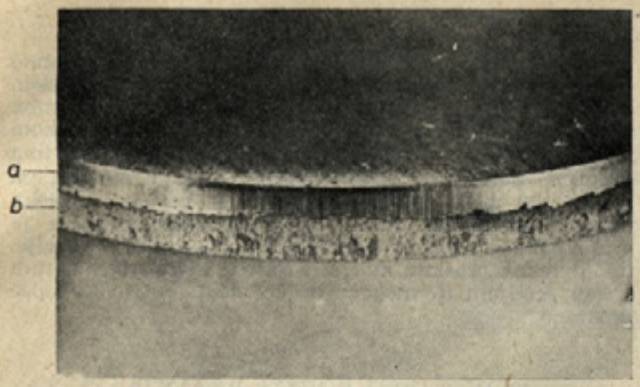
Sl. 3. *Nastanek igle in utrditev materiala v strižni coni*

p — pestič, m — matrica, d — širina kontaktne ploskve, u — cona dodatne utrditve materiala, z — zrak med rezili.

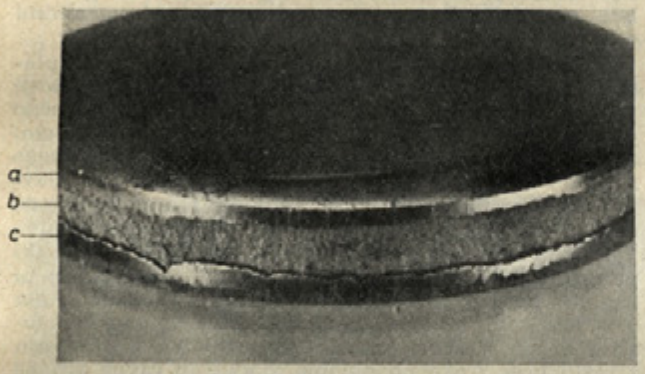


Sl. 4. *Deformacija vlaken v strižni coni*

z — zrak med rezili, δ — naklon srednjega vlakna, r_1 — zaokrožitev na preluknjani pločevini, r_2 — zaokrožitev na izrezku, s — debelina pločevine.



Sl. 5. *Videz strižne ploskve pri velikem zraku*
a — plastična, b — ločilna cona, material Č.0146, debelina 3 mm, zrak pri rezanju $z = 5\ \% = 0{,}15$ mm.



Sl. 6. *Videz strižne ploskve pri majhnem zraku*
a — plastična, b — ločilna, c — zmečkana cona, material Č.0300, debelina 5 mm, zrak $z = 1{,}5\ \% = 0{,}065$ mm.

delu večkrat ponavlja. Zato imajo strižne ploskve pri rezanju z majhnim zrakom najmanj tri izrazite pasove. Med rezanjem nastaja najprej plastični, nato pretržni ter slednjič še drugi strižni oziroma zmečkani pas, slika 6. Prvi in zadnji stojita v isti črti, približno pravokotno na pločevino.

Razmerje med širino gladkega in natrganega pasu strižne ploskve na izrezanem in preluknjanem delu pločevine je tem večje, čim manjše je razmerje z/s. Globina in število razpok v smeri rezanja sta na preluknjani pločevini manjša kakor na izrezanem delu. Slednjič je kvaliteta površine odvisna tudi od plastičnosti materiala, kar potrjujejo preskusi in praktične skušnje pri rezanju različnih materialov.

Na raztezanje vlaken in dotekanje materiala v strižno cono vpliva razen vrste materiala, makrogeometrične oblike orodja in njegove površine tudi obraba orodja in zlasti še način rezanja. Pri zaprtem rezu doteka material intenzivneje od zunanje proti notranji strani rezne linije, razen če plastičen tok materiala v tej smeri preprečujemo ali zadržujemo z držalom za pločevino ali kako drugače. V nasprotju z normalnim prostim rezilnim orodjem se npr. pri orodjih z držalom in izmetalom pločevina ne more upogniti, ker je vpeta med držalom in matrico oziroma med pestičem in nasprotnim držalom, slika 7. Potreben pa je za to držanje pločevine znaten pritisk.

Iz gornjega izhaja, da je mogoče z ustreznimi prijemi vplivati na plastičen tok materiala v strižni coni, s tem pa tudi na kvaliteto strižne ploskve ter obrabo orodja. Zato so orodja za fino rezanje po navadi opremljena z držalom za pločevino, včasih pa tudi z nasprotnim držalom, čeprav so zaradi tega bolj komplicirana in dražja.

2. POSTOPKI NAKNADNE OBDELAVE Z REZANJEM

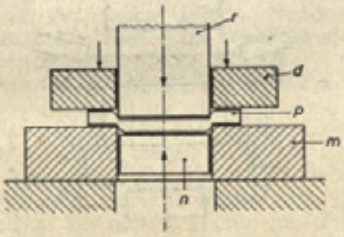
Kakor je bilo že omenjeno, je mogoče izboljšati kvaliteto reznih ploskev s porezovanjem, to je z naknadno obdelavo, ki pa je praviloma združena z eno ali več dodatnimi reznimi operacijami. V to skupino postopkov natančnega rezanja prištevamo zlasti porezovanje, vibracijsko porezovanje in glajenje.

2.1. Porezovanje

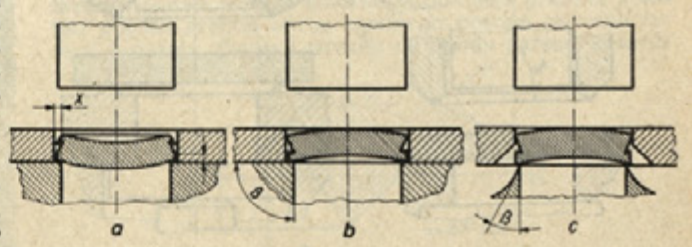
Orodja za ta najstarejši postopek natančnega rezanja je mogoče uporabljati na vsaki navadni preši. Naloga pestiča za porezovanje je, da potisne že izrezani del skozi ustrezno odprtino druge rezilne plošče (porezovalne matrice), le-ta pa z zelo ostrimi rezilnimi robovi odreže določen dodatek za obdelavo oziroma obreže nečisto strižno ploskev. Navadno je na poprej izrezanem delu ravna oziroma gladka komaj četrtina strižne ploskve, medtem ko je ostali del površine razpokan in razcefran. Te razpoke segajo v izrezku do določene globine x, do katere je treba izdelek porezati, slika 8 a. Ker se pri prvi operaciji izrezek ukrivi, to je upogne navzdol, je dobro, če ga pri porezavanju obrnemo, tako da ga pestič za porezovanje lahko zopet poravna, slika 8 b. Pri izrezovanju in porezovanju v postopnem orodju to seveda ni mogoče. V nekaterih deželah uporabljajo za porezovanje orodja, kakršna prikazuje slika 8 c. Oster rezilni rob na spodnjem delu orodja omogoča lažje odvajanje odrezkov, ima pa to slabo lastnost, da sta izdelava in naknadno brušenje ostrine na rezilu zelo draga [3]. Ker je postopek porezovanja v tehniki štancanja znan že dlje časa, ga na tem mestu ne bomo obravnavali podrobneje.

2.2. Vibracijsko porezovanje (repasiranje)

V nekaterih evropskih državah (Franciji, Belgiji, zlasti pa v Švici) uporabljajo za porezovanje posebne preše. Te preše za repasiranje (ESSA) so grajene tako, da je normalnemu sinusnemu gibanju pehala, na

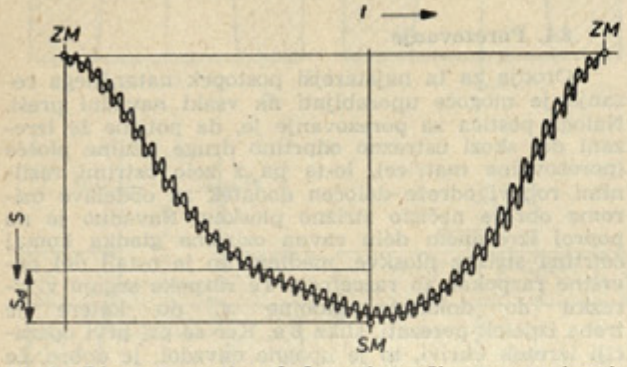


Sl. 7. *Shema rezilnega orodja z držalom in nasprotnim držalom (izbijalom)*
r — rezilni pestič, d — držalo za pločevino, m — matrica, n — nasprotno držalo, p — pločevina.



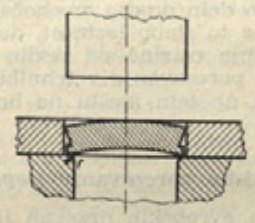
Sl. 8. *Postopek porezovanja*
a — normalna lega izrezka, b — obrnjena lega izrezka, c — obrnjeno porezovanje z ostrim rezilnim robom.

katerem je pritrjen rezilni pestič, superponirano še vzdolžno osciliranje pestiča, slika 9. To mehanično nihanje orodja povzroča poseben motor, ki je pritrjen na preši. Frekvenca nihanj rezilnega pestiča je 20 ... 25 Hz pri amplitudah 0,5 ... 1,5 mm. Kljub majhnemu zraku med pestičem in rezilno ploščo, orodja pri tem načinu porezovanja navadno nimajo posebnih vodil, pač pa morajo biti vodila za pehalo preše izredno natančna.

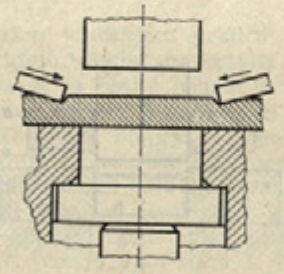


Sl. 9. *Diagram poti pehala pri preši za repasiranje (ESSA)*

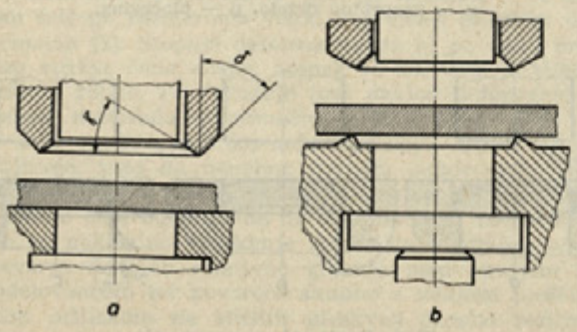
t — čas, s — gib pehala, s_d — največji delovni gib, SM — spodnje mrtvišče, ZM — zgornje mrtvišče.



Sl. 10. *Postopek pri glajenju strižnih ploskev (shema)*



Sl. 11. *Fino rezanje s prečnim stiskanjem materiala v strižni coni*



Sl. 12. *Orodje za fino rezanje z grebenastim držalom*

a — greben na držalu, b — greben na držalu in matrici.

2.3. Glajenje

Čeprav je orodje pri tem postopku zelo podobno orodjem za porezovanje, je njegova funkcija povsem drugačna. Hrapavih strižnih ploskev z iglo na robu v tem orodju ne posnemamo, temveč jih z izrezkom vred potiskamo skozi matrico. Namesto ostrega ima matrica zaokrožen rezilni rob (r), izrez v matrici pa je navzdol rahlo koničen, tako da se zožuje in stiska izrezek po obodu, slika 10. Hrapavost površine je v glavnem odvisna od natančnosti prve rezne operacije. Če je rezna ploskev močno raskava in brazdasta, tudi s tem orodjem ni mogoče doseči dosti boljše in lepše površine.

3. POSTOPKI FINEGA REZANJA

Povsem gladke in na pločevino pravokotno ločilne ploskve se dajo izdelati tudi z eno samo rezno operacijo. Treba je le upoštevati nekatere ugotovitve, ki so bile navedene že pri procesu rezanja z navadnimi rezilnimi orodji.

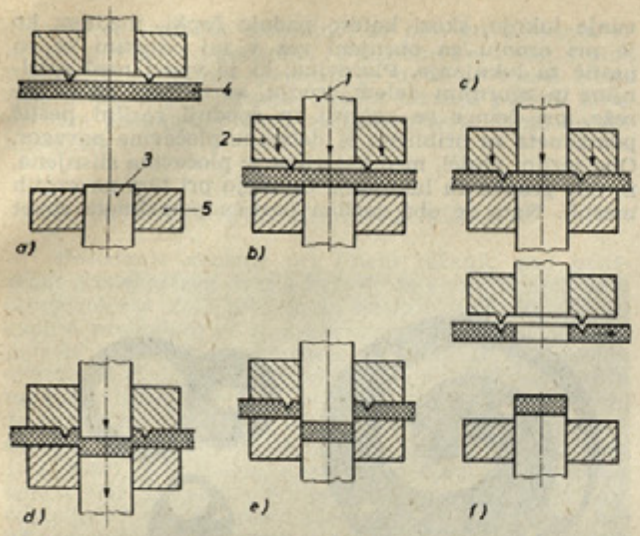
Kakor je znano, so za nastanek in potek plastične deformacije odločilne tangencialne napetosti v drsnih ravninah kristalnih zrn. Z dodatno tlačno obremenitvijo materiala v radialni oziroma aksialni smeri je mogoče vplivati na spremembo napetostnega stanja v strižni coni in s tem na smer delovanja glavnih tangencialnih napetosti. Če je material, ki ga režemo, na obeh straneh strižne linije trdno vpet, lahko nastajajo v njem dodatne tlačne napetosti, ki preprečujejo ločilni lom v končni fazi rezanja. Če bi uspelo preprečiti plastično deformacijo materiala v strižni coni, tako da bi glavne tangencialne napetosti delovale v smeri rezalne sile, bi dobili pri rezanju z rezili brez zraka popolnoma gladke in ravne strižne ploskve. Ker praktično tega ni mogoče doseči, jo skušamo po možnosti vsaj omejiti. S tem, da stisnemo pločevino že pred pričetkom rezanja med držalo in rezilno ploščo ter med rezilni pestič in nasprotno držalo, material zadržujemo, tako da ne more odtekati iz neposredne bližine rezilnih robov v izrezek.

3.1. Rezanje s prečnim stiskanjem

Vsestranski radialni pritisk pravokotno na smer rezanja je mogoče dosegati na več načinov [3, 4]. Slika 11 prikazuje postopek z večjim številom radialnih pestičev, ki pritiskajo poševno na pločevino, neposredno v okolici strižne cone. Pritisk teh pestičev učinkuje zelo ugodno, vendar je praktična izvedba tega orodja zlasti pri zapletenih oblikah izrezkov težavna in zelo draga. Zato se tovrstna orodja doslej niso mogla uveljaviti.

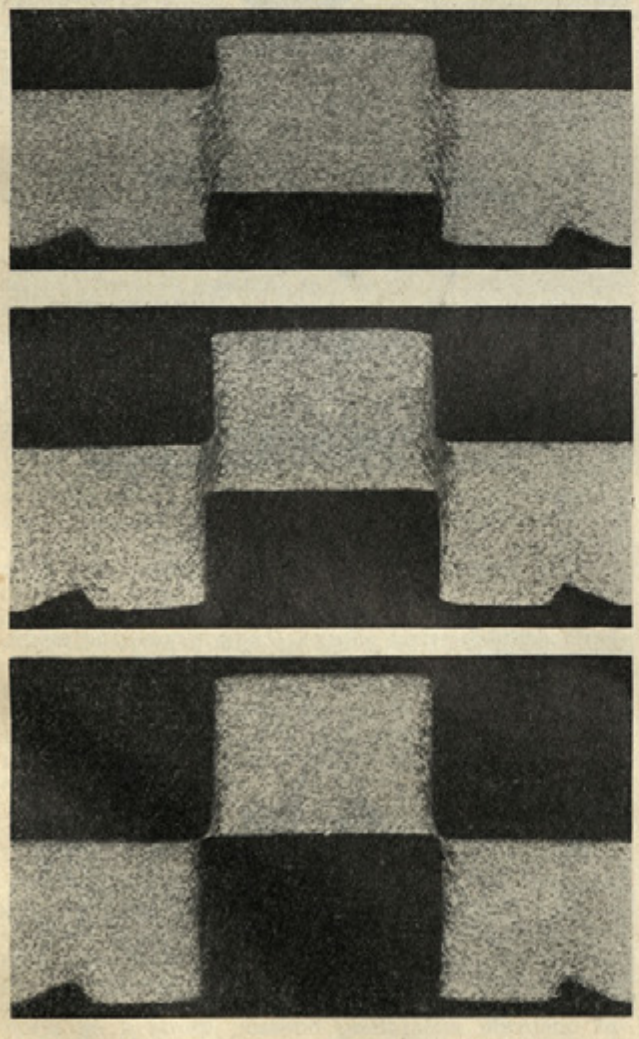
3.2. Rezanje pod pritiskom grebenastega držala

Pri tem načinu finega rezanja obdaja rezilni pestič posebno držalo, ki ima na spodnji strani oster greben, s katerim pritiska material radialno navznoter v strižno cono. Pri pločevini z debelino do 5 mm zadostuje navadno en sam greben na držalu, slika 12 a, medtem ko je pri debelejši pločevini in kompliciranih obrisih potreben tak greben tudi na matrici, slika 12 b. Posamezne faze oziroma potek finega rezanja v orodju z grebenastim držalom shematično prikazuje slika 13. Najprej pritisne držalo pločevino na matrico, tako da je znotraj in zunaj rezne linije trdno vpeta, hkrati pa se ostri greben vtisne v zgornjo stran pločevine. V naslednji fazi prebije rezilni pestič pločevino in potisne izrezani del v odprtino rezilne plošče. Z njim

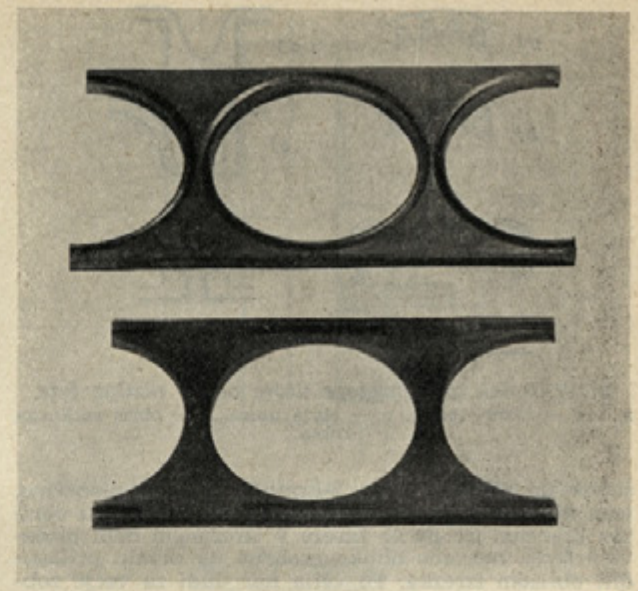


Sl. 13. *Posamezne faze pri finem rezanju z orodjem z grebenastim držalom*

a — orodje odprto, b — grebenasto držalo ob dotiku s pločevino, c — vtiskovanje grebena v pločevino, d — pričetek rezanja, e — konec rezanja, f — snemanje traku in izbijanje izrezka, 1 — rezilni pestič, 2 — grebenasto držalo, 3 — nasprotno držalo in izmetalo, 4 — pločevina, 5 — rezilna plošča.



Sl. 14. *Mikro posnetki s procesa finega rezanja v treh različnih legah pestiča (povečano ≈ 6:1)*



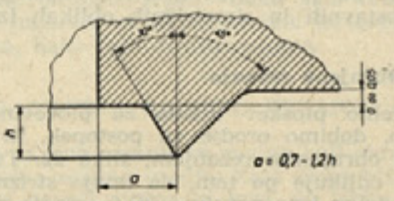
Sl. 15. *Odpadni trak z vtisnjenimi grebenastimi utori*

vred se premakneta navzdol tudi nasprotno držalo in izmetalo. Nato se rezilni pestič zopet dvigne, medtem ko sname držalo pločevinski trak s pestiča, izbijalo pa potisne izrezani del iz matrice. Orodje je lahko tudi obrnjeno, tako da sta rezilni pestič in držalo spodaj, rezilna plošča in izbijalo pa zgoraj.

Slika 14 ponazarja mikro posnetke o procesu finega rezanja z grebenastim držalom v treh različnih legah pestiča. Iz posnetkov je razviden potek deformacij v strižni coni na obeh straneh rezne linije, to je v izrezku in preluknjanem delu pločevine. Tudi tik pred prebodom pločevine v strižni coni niso vidne nikakršne razpoke. Žleb, ki ga je vtisnil v pločevino greben na držalu, je v tem primeru na spodnji strani, ker je pestič rezal od spodaj navzgor. Velikost in smer toka materiala v strižni coni sta odvisna od geometrične oblike obrisa izrezanega dela, to je od oblike rezne linije na določenem mestu. Neposredno merilo za intenzivnost toka materiala so zaokrožitve na robu izrezka in preluknjane pločevine.

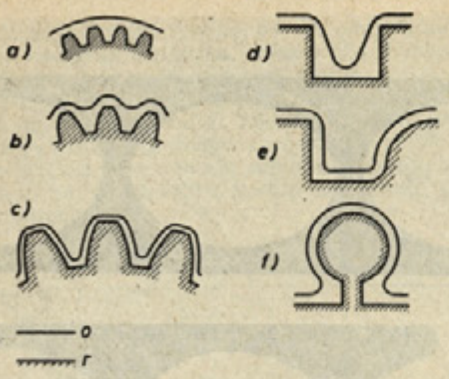
Slaba stran tega postopka je večja poraba materiala. Zaradi žleba, ki ga vtiska greben v pločevino na robu obrisa rezne linije, sta namreč potrebna večji pomik in večja širina traku, slika 15. Pri tanki pločevini to ni tako odločilno kakor pri debeli, zlasti če je iz kvalitetnega materiala. Mimo tega je draga tudi izdelava orodja. Bočnici grebena na držalu in matrici imata navadno znotraj in zunaj različne naklone. V praksi se je doslej obnesel profil grebena za držalo, kakršnega prikazuje slika 16. Višina grebena in njegova oddaljenost od rezne linje sta seveda odvisni od debeline pločevine.

Ker so oblike izrezkov lahko zelo različne, še ni mogoče podati nekega splošno veljavnega pravila, kako naj poteka greben okrog rezilnega pestiča oziroma izreza v držalu. Če ima izrezek na obodu zareze, katerih



Sl. 16. *Profil grebena na držalu*

a — oddaljenost konice grebena od rezne linije, h — višina grebena (vtisna globina).



Sl. 17. *Potek grebenastega utora okrog rezilne črte.* a...f — razne oblike, o — obris utora, r — obris rezilnega robu.

širina ne presega 1,5...2-kratne debeline pločevine, tega ni treba posebej upoštevati pri oblikovanju obrisov grebena. Če pa so zareze v izrezanem delu pločevine širše, moramo obliko grebena na držalu prilagoditi obrisom izrezka. To velja npr. tudi za večje zobniške segmente in druge podobne dele, slika 17.

Ker imajo mnogi izrezki še luknje ali podobne izreze, se je treba vprašati, ali je mogoče hkrati z zunanjimi obrisi natančno izrezati tudi določene oblike znotraj teh delov. V tem primeru za notranji izrez ni mogoče uporabljati držala z grebenom, ker obdaja pestič za luknjanje pestič za izrezovanje zunanje oblike. Vendar je tudi te luknje mogoče izrezati natančno, če je pločevina stisnjena med pestičem in nasprotnim držalom, med pestičem za luknjanje in izrezovanje pa praktično ni nobenega zraka. Strižna ploskev čepka, ki pri tem odpade, je navadno sicer razpokana, zato pa je strižna ploskev na izrezanem delu povsem gladka. Tako je mogoče izdelati luknje s premerom, manjšim od trikratne debeline pločevine.

Slike 18, 19 in 20 prikazujejo nekaj značilnih izdelkov, izrezanih po tem postopku.

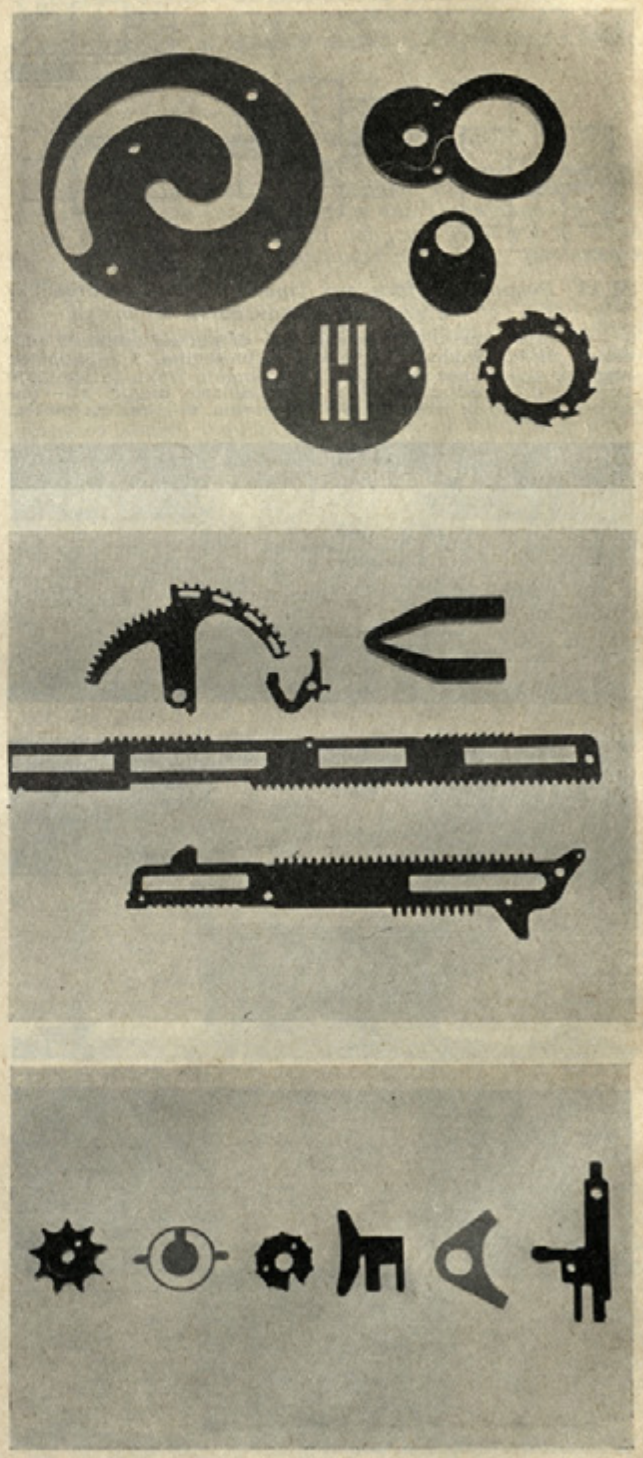
3.3. Rezanje pod pritiskom ravnega držala

Tok materiala med držalom in rezilno ploščo lahko zaviramo tudi z držalom brez grebena, če ima ravno ali nazobčano čelno ploskev. Pri postopku, ki ga shematično prikazuje slika 21, je čelna ploskev držala rahlo konična s topim kotom 178...179°, medtem ko je matrica na zgornji strani ravna [6]. S takim držalom dosegamo močno koncentracijo tlačnih napetosti v neposredni bližini rezilnega robu. Prednost postopka je v tem, da so stroški za orodje veliko manjši, ker je odvečna izdelava grebena. Zrak med rezili je lahko nekoliko večji kakor pri prejšnjem orodju, medtem ko zadostuje za nasprotno držalo manjši pritisk. Na gladkost strižnih ploskev izrezka in v preluknjani pločevini vplivajo predvsem pritisk držala in nasprotnega držala, zrak med reziloma ter ostrina rezil.

Po tem postopku je mogoče dosegati ravne strižne ploskve na obeh delih — na izrezku in izrezani pločevini hkrati. Slaba stran postopka je, da je za to potreben enakomeren pritisk držala po celotnem obodu, kar pa je mogoče dosegati samo pri geometrično enostavnih in simetričnih oblikah izrezov.

3.4. Obrnjeno rezanje

Če čelno ploskev držala za pločevino povsem izravnamo, dobimo orodje za postopek, ki ga bomo označili z obrnjenim rezanjem, slika 22. Tudi ta postopek se odlikuje po tem, da imajo strižne ploskve izrezanih delov lepe površine in je orodje razmeroma poceni. V načelu je podobno bločnemu rezilu. Različno je toliko, da ima pri bločnem rezilu pestič za izrezovanje luknjo, skozi katero padajo čepki, medtem ko je pri orodju za obrnjeni rez v tej odprtini še en pestič za luknjanje. Pločevina, ki je vpeta med spodnjim in zgornjim delom orodja, se najprej samo zareže, pri čemer se zgornji in spodnji rezilni pestič pomakneta za približno ¼ debeline pločevine navzgor. Obe rezilni plošči, med katerima je pločevina stisnjena, in oba pestiča za luknjanje ostanejo pri tem na svojih mestih. Nato se oba rezilna pestiča pomakneta zopet



Sl. 18, 19, 20. *Značilni izdelki, izrezani z orodji za fino rezanje*

navzdol in izrežeta pločevino, za tem pa se ponovno vrneta navzgor in potisneta že izrezani del nazaj v pločevino. V nadaljnji operaciji je treba iz traku izbiti izrezek ter čep v izrezku. Proces rezanja poteka torej pri tem postopku v dveh nasprotno usmerjenih delovnih gibih.

4. MATERIALI ZA FINO REZANJE

Dosedanje skušnje pri finem rezanju pod pritiskom grebenastega držala kažejo, da so za fino rezanje primerne vse tiste kovine, ki se dajo tudi sicer lahko hladno preoblikovati in imajo zadostno plastičnost, to je velik raztezek, nizko mejo plastičnosti ter majhno deformacijsko trdnost in trdoto. To so predvsem jekla za cementiranje (npr. Č.1120, Č.1220, Č.4120, Č.4320), dalje nekatera posebna jekla, ki so odporna proti kemičnim vplivom (npr. X 10 Cr 13, X 12,MnCr 18), med z najmanj 70 % bakra, aluminij in njegove zlitine ter baker. Ker se deformabilnost jekel zmanjšuje oziroma odpor proti preoblikovanju narašča z naraščanjem količine ogljika in legirnih elementov, jekla s tako sestavo niso najprimernejša. Sicer se dajo rezati, treba pa je vzeti v zakup znatno večjo obrabo orodij.

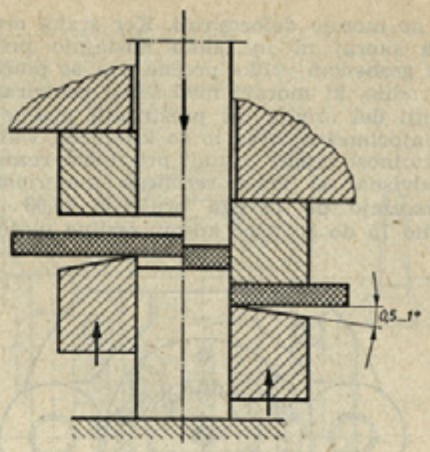
Praktično je brez težav mogoče fino rezati pločevine z debelino do 15 mm. Trdnost materiala pa pri taki debelini ne sme biti prevelika. Temu nasproti je pri porezovanju pločevina lahko še debelejša in trša, ne da bi se zaradi tega poslabšala kvaliteta strižnih robov. Treba je samo upoštevati, da postaja tudi pri mehki pločevini struktura robnih plasti trda in krhka. Pri tem se trdota strižne ploskve v povprečju podvoji, vendar globina utrditve po navadi ne presega 0,5 mm.

5. GOSPODARNOST PRI POSTOPKIH FINEGA REZANJA

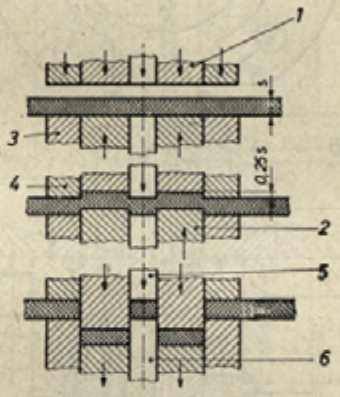
Zaradi velikega števila vplivnih faktorjev sta izračun in primerjava gospodarnosti različnih postopkov zelo otežena — posebno še, ker je večina postopkov še v razvoju in zanje ni mogoče dobiti konkretnih podatkov. Nedvomno pa je, da pri manjših količinah izdelkov izdelava zelo dragega orodja za fino rezanje ni rentabilna. Pri majhnem številu je primernejše izrezovati izdelke z običajnim rezilnim orodjem in jih naknadno obdelovati. Šele pri zelo velikih količinah izdelkov postajajo postopki finega rezanja gospodarnejši. Upoštevati pa je treba tudi zapletenost zunanjih oblik pri izdelkih. Zelo primeren in gospodaren postopek za izrezovanje enostavnejših zunanjih obrisov je obrnjeno rezanje, za katero so orodja razmeroma poceni. Sestavne dele zgornjega in spodnjega orodja je mogoče izdelovati skupno in jih šele pred kaljenjem prerezati ter čelno zbrusiti. Veliko dražja je izdelava orodja z grebenastim držalom. Prednosti tega orodja prihajajo do veljave šele pri kompliciranih oblikah izrezov. Ker veljajo te ugotovitve samo na splošno, je treba za vsak primer izdelati ustrezen primerjalni račun, ki lahko omogoča izbiro najgospodarnejšega in kvalitetno najustreznejšega postopka [7].

6. NATANČNOST

Glede natančnosti izrezanih delov in kvalitete strižnih ploskev velja pripomniti, da niso toliko odvisne od vrste postopka kolikor od oblike izrezka in trdnosti materiala. Po tem vidiku torej ni mogoče dajati prednosti temu ali drugemu postopku. Vzlic temu lahko zdaj že trdimo, da med naštetimi postopki finega rezanja po kvaliteti posebno prednjačita obrnjeno rezanje in fino rezanje z uporabo grebenastega držala, ki je bilo doslej tudi najbolj razširjeno. Največja natančnost, ki jo je ta čas mogoče dosegati, ustreza kvaliteti IT 6 ... 7 pri pločevini z debelino pod 2 mm, oziroma IT 8 ... 10 za pločevino z debelino nad 5 mm. Nasploh so tolerance za zunanje obrise večje od toleranc notranjih obrisov.



Sl. 21. *Držalo z rahlo konično čelno ploskvijo*



Sl. 22. *Proces obrnjenega rezanja*

1, 2 — zgornji in spodnji rezilni pestič, 3 — držalo za pločevino in zgornja rezilna plošča, 4 — spodnja rezilna plošča, 5, 6 — pestiča za luknjanje.

Upoštevati je nadalje treba, da morajo biti ostri vogali rezne linije vedno nekoliko zaokroženi, in sicer tako zunanji kakor tudi notranji. To mora vedeti zlasti konstrukter, ki naj zasnuje na vseh robovih fino rezanih delov dovolj velike zaokrožitve. Te naj ne bodo manjše od 1/10 debeline pločevine.

Hrapavost strižnih ploskev dosega srednjo vrednost $R_a = 0{,}45\ \mu m$, kar ustreza hrapavosti brušenih ploskev. V določenih pogojih je mogoče dosegati še bolj kvalitetne površine.

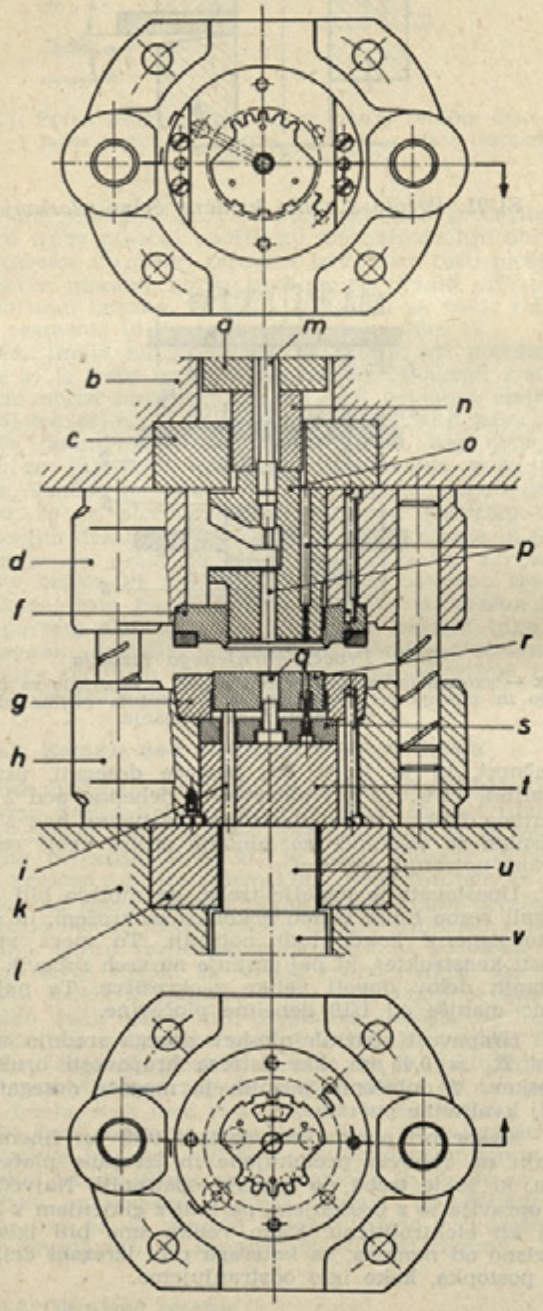
Kakor pri normalnem nastaja tudi pri finem rezanju na robovih preluknjane in izrezane pločevine igla, ki jo je treba po rezanju odstraniti. Največkrat se opravlja to z brušenjem, pa tudi z glajenjem v bobnih ali elektrolitično. Kako velika sme biti igla, je odvisno od namena, za katerega rabi izrezani del, ter od postopka, kako iglo odstranjujemo.

7. ORODJA ZA FINO REZANJE

Orodja za fino rezanje so znatno bolj obremenjena kakor običajna rezilna orodja. Zato mora biti njihova konstrukcija dovolj močna in toga, da lahko kljubuje vsem pojavljajočim se obremenitvam. Posamezni elementi morajo biti izoblikovani tako, da se med re-

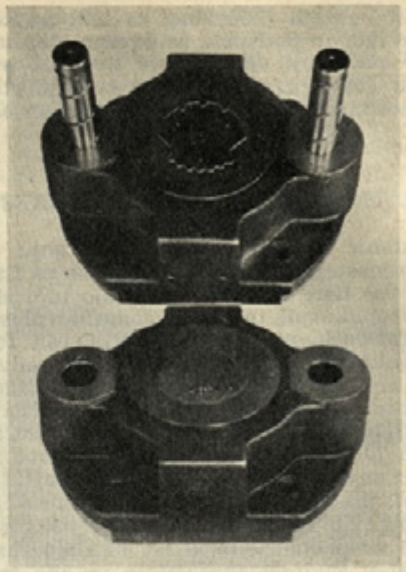
zanjem ne morejo deformirati. Ker zraka med obema reziloma skoraj ni in lahko nastajajo pri uporabi držala z grebenom velike prečne sile, so potrebna zelo močna vodila, ki morajo med seboj centrirati zgornji in spodnji del orodja ter prestrezati prečne obremenitve. Najprimernejša za to so kroglična vodila.

Obstojnost orodij je tudi pri finem rezanju predvsem odvisna od vrste rezanega materiala. Pestiči lahko izrežejo do prvega brušenja (0,03 ... 0,1 mm) povprečno 15 do 30 tisoč kosov, rezilne plošče celo še

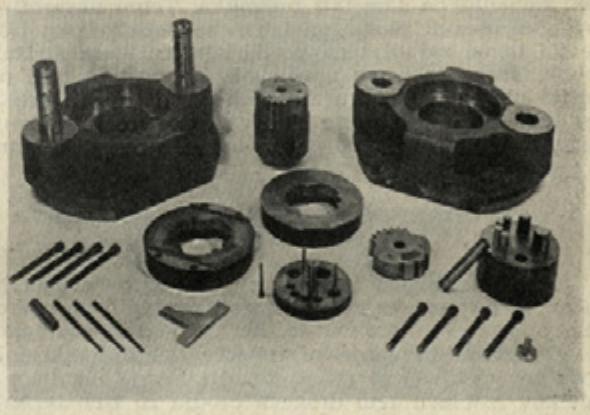


Sl. 23. *Orodje za fino rezanje zobniškega segmenta*

a — opora pestiča, b — bat za stiskanje, c — tlačni obroč, d — zgornji jarem ogrodja, e — opora za izbijalo, f — držalo, g — rezilna plošča, h — spodnji del ogrodja, i — čep za premikanje izbijala, k — vpenjalna plošča, l — tlačni obroč, m — vijak za pritrditev pestiča, n — vložek, o — rezilni pestič, p — izmetalo za čep, q — pestič za luknjanje, r — izbijalo, s — rezilna plošča za luknjanje, t — podstavek, u — vložek, v — nasprotni bat za premikanje izbijala.



Sl. 24. *Posnetek spodnjega in zgornjega jarma (ESSA)*



Sl. 25. *Sestavni deli orodja za fino rezanje (ESSA)*

enkrat več. Obstojnost se občutno poveča, če se pločevinski trak maže. Rezilna plošča je lahko iz celega, pri zapletenih obrisih pa je največkrat sestavljena iz več kosov in vložena v poseben obroč.

7.1. Orodja z grebenastim držalom

Pri postopkih rezanja s prečnim stiskanjem materiala so zadnji čas v rabi orodja z gibljivim rezilnim pestičem in fiksnim držalom ali pa s fiksnim pestičem in gibljivim držalom. Slika 23 prikazuje konstrukcijsko izvedbo orodja z gibljivim rezilnim pestičem. Rezilna plošča je na zunanji strani rahlo konična (3 ... 5°) in centrirana v spodnjem delu orodja, ki je pritrjeno na mizo preše. Nasprotni pestič oziroma izbijalo se preko izbijalnih čepkov opira na spodnjo stiskalno napravo, ki premika izbijalo. Zgornji del orodja sestavljata rezilni pestič, ki je pritrjen na pehalu preše, in držalo, ki ga — podobno kakor rezilno ploščo — stožčasti zunanji del centrira v zgornjem jarmu ogrodja. Ta del ogrodja je spojen z zgornjo stiskalno napravo preše. Močna vodilna stebra vodita spodnji jarem proti zgornjemu. Slika 24 kaže posnetek obeh jarmov, slika 25 pa vse sestavne dele tega orodja.

Največ so v rabi orodja z gibljivim rezilnim pestičem, ki so se posebno uveljavila pri izrezovanju majhnih in srednje velikih delov. Obrnjena izvedba je primerna zlasti za debelejše pločevine. Poglavitna

prednost orodij z gibljivim pestičem je ta, da se lahko naknadno vgrajujejo v standardne mehanične preše, ki pa morajo imeti dve dodatni stiskalni napravi za pomožna gibanja orodij.

Pri izdelavi orodij za fino rezanje je treba upoštevati, da mora biti zrak med reziloma čim manjši in po možnosti ne sme presegati 0,01 mm. Določamo ga lahko po znanih empiričnih enačbah [3]:

$z = c\,s\,\sqrt{\tau_s}$ za pločevino debeline $s < 3$ mm

oziroma

$z = (1{,}5\,c\,s - 0{,}015)\,.\,\sqrt{\tau_s}$ za pločevine debeline $s > 3$ mm.

Tu so:

τ_s — strižna trdnost materiala [kp/mm²],

s — debelina pločevine [mm],

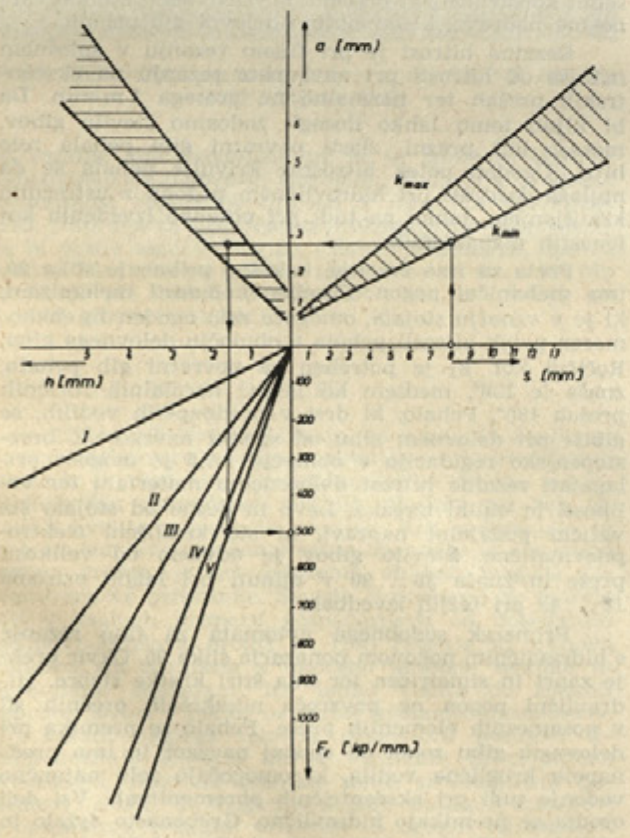
$c = 0{,}0005$ — konstanta za fino rezanje.

Ostrina rezilnih robov mora biti zaokrožena, v splošnem je $r_s = 0{,}5 \ldots 0{,}8$ mm. Rezilni pestič in rezilna plošča morata biti izdelana iz močno legiranega jekla. Največ se uporabljajo jekla z 8 ... 13 % Cr, ki se pri kaljenju ne deformirajo.

Potrebno rezalno silo izračunamo po naslednjem približnem obrazcu

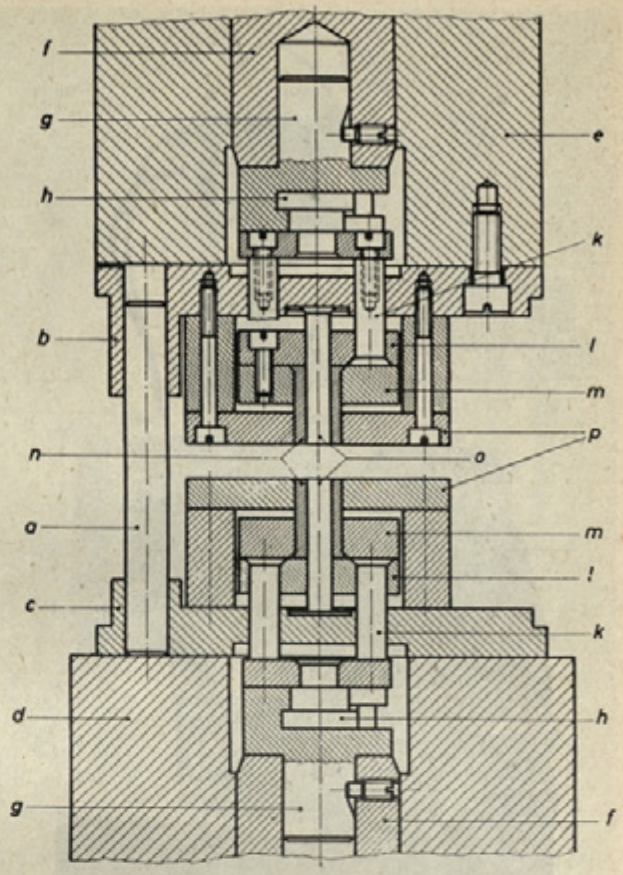
$$F_s = \tau_s\, l_s\, s\,.$$

Ustrezen specifični pritisk držala, ki je potreben za vtiskovanje grebena, dobimo lahko iz diagrama na sliki 26. Razbrano vrednost za določen material in debelino pločevine je treba pomnožiti še z dolžino l_g grebena, ki obdaja obris izrezanega dela.



Sl. 26. *Nomogram za določanje specifičnega pritiska držala z grebenom*

a — širina grebenastega utora, s — debelina pločevine, h — višina grebena, k_{min} - k_{max} — območje plastičnosti materiala, I — Al 99,9, II — AlMgSi, III — jeklena pločevina (jeklo za cementiranje), IV — legirana jekla za cementiranje, V — nerjavna jekla, F_r — specifični pritisk držala.



Sl. 27. *Orodje za obrnjeno rezanje*

a — vodilo, b — zgornji jarem, c — spodnji jarem, d — miza preše, e — pehalo preše, f — pehalo pomožnega hidravličnega agregata, g — čep, h — spodnji element, k — čepi za premikanje pestiča, l — pestična plošča, m — čepna plošča, n — rezilni pestič, o — pestič za luknjanje, p — rezilna plošča.

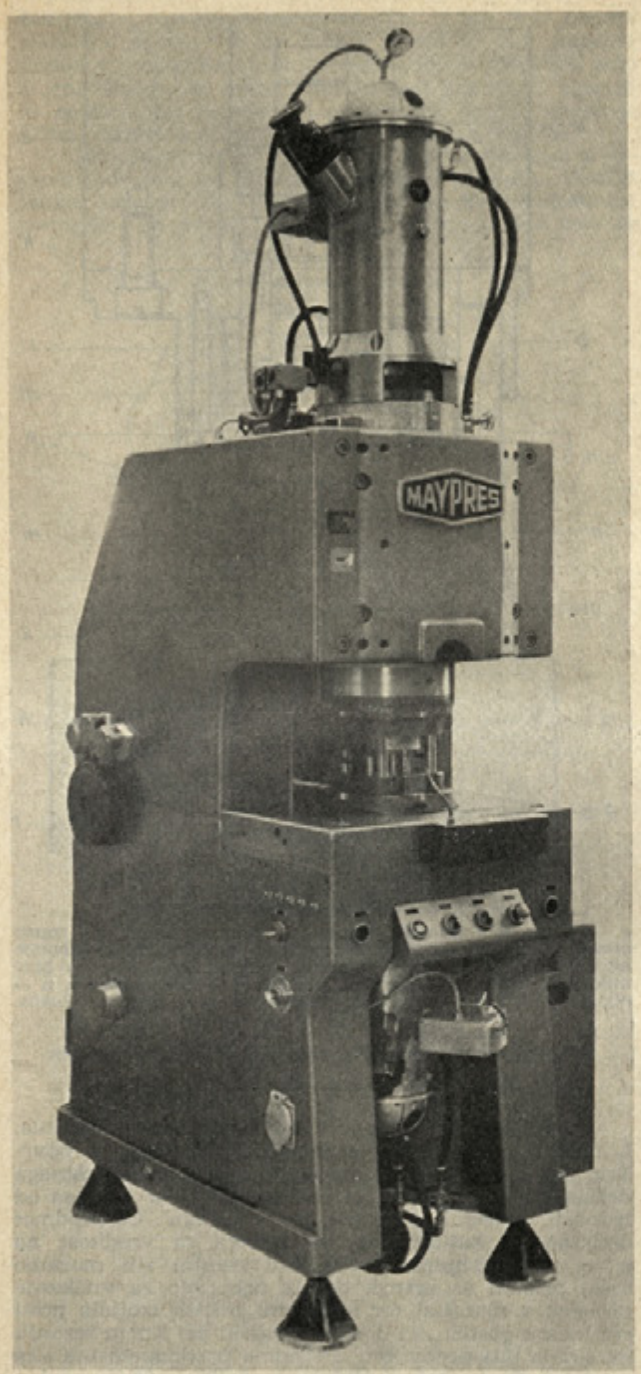
Pritisk nasprotnega držala določamo iz obrazca

$$F_p = A\,p\,.$$

V gornjih enačbah je τ_s strižna trdnost materiala, l_s dolžina rezne linije, s debelina pločevine, A površina izrezanega dela in p specifični pritisk nasprotnega držala, ki je potreben pri rezanju. Le-ta je odvisen od trdnosti materiala in znaša 3 ... 7 kp/mm². Če predmet dodatno še kalibriramo, se poveča ta vrednost na $p = 10 \ldots 15$ kp/mm². Potrebni rezalni sili moramo torej prišteti še pritisk držala ozir. silo za vtiskanje grebena v material ter nasprotni pritisk izbijala proti rezilnemu pestiču. Ti dodatni pritiski pri finem rezanju ne smejo biti premajhni. Potrebna prednapetostna sila za držalo in nasprotno držalo znaša 20 ... 50 % rezalne sile, pri orodjih s hidravličnim pritiskom celo več. Držalo rabi hkrati tudi za vodilo rezilnemu pestiču, mora pa biti izdelano zelo natančno.

7.2. Orodje za obrnjeno rezanje

Tudi pri tem orodju, ki ga v prerezu prikazuje slika 27, vodijo pomični jarem močni vodilni stebri. Spodnji del orodja je pritrjen na mizi, zgornji del pa na pehalu preše. Oba dela sta enaka. Po ena rezilna plošča in pestič za luknjanje sta spojena s spodnjim oziroma zgornjim delom orodja, medtem ko sta rezilna pestiča povezana s pestično ploščo in prek čepov, ki gredo skozi jarem, z notranjim gibljivim pehalom. Konstrukcija tega orodja je razmeroma enostavna, zato so tudi stroški za njegovo izdelavo primeroma majhni.



Sl. 28. *Kolenska odprta preša z dvema hidravličnima agregatoma za pomožna gibanja (MAYPRESS — MKNF 100)*

8. STROJI ZA FINO REZANJE

Uspešen potek finega rezanja je odvisen ne samo od izvedbe in natančnosti orodij, ampak tudi od uporabe primernih preš. Če hočemo doseči brezhibne izrezke z gladkimi strižnimi ploskvami in zadostno obstojnost orodij, morajo biti izpolnjeni pri finem rezanju še nekateri posebni pogoji. Predvsem mora imeti preša za fino rezanje zelo togo stojalo, ki se pod vplivom upogibnih in drugih obremenitev ne sme deformirati. Elastične deformacije stojala in ostalih elementov preše, ki jih ni mogoče nikdar povsem preprečiti, morajo biti čim manjše, da ne bi med posameznimi deli orodja nastali nedopustni premiki in nezaželene vibracije. Nadalje mora imeti pehalo preše zelo dolga vodila, da se pri obremenitvi ne bi zvračalo. Zrak v vodilih pehala mora biti majhen, prav tako v ležajih gibljivih delov. Ker je pri finem rezanju zrak med rezili domala ničen, povzročata nenatančno vodenje pehala in močna deformacija stojala hitro obrabo rezilnih robov.

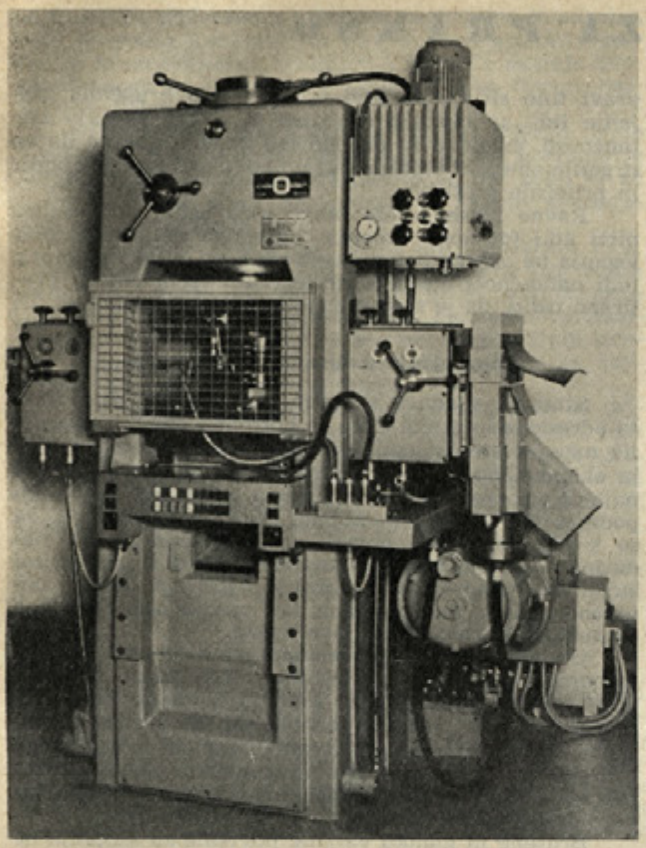
Ker navadne preše za štancanje le redkokdaj ustrezajo gornjim zahtevam, se za fino rezanje večinoma uporabljajo specialne preše. V načelu imajo te preše lahko mehaničen ali hidravličen pogon. Imeti morajo samo tri med seboj neodvisna gibanja, kar je pri hidravličnih prešah mogoče izvesti s tremi tlačnimi bati, od katerih deluje eden na glavni pestič, druga dva pa na držalo in nasprotno držalo. Mehanične preše za fino rezanje imajo navadno eno samo pehalo, so pa opremljene z dodatnimi hidropnevmatičnimi agregati za omenjena pomožna gibanja. Pehalo za delovni gib rezilnega pestiča ima pri prešl, kakršno prikazuje slika 28, mehanični pogon s kolenastim mehanizmom, medtem ko je pogon drugih delov orodja hidravličen. Zelo se je uveljavil pogon pehala od spodaj.

Če v določenih primerih dajemo prednost mehanični preši, je to zaradi tega, ker je gospodarnejša. Število gibov je pri mehaničnih prešah nekoliko večje kakor pri hidravličnih. Razen tega imajo mehanične preše to prednost, da je s kinematičnim ustrojem pogona natančno določena lega spodnjega mrtvišča, medtem ko so za to pri hidravlični preši potrebni posebni konstrukcijski prijemi, prvenstveno posebne varnostne naprave, ki omejujejo delovni gib pehala.

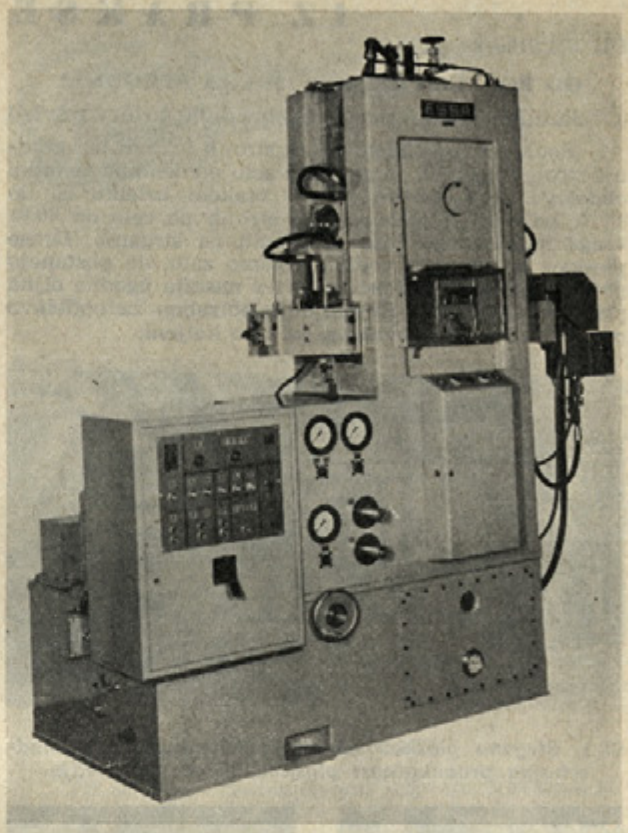
Rezalna hitrost je pri finem rezanju v splošnem manjša od hitrosti pri navadnem rezanju na ekscentrskih prešah ter normalno ne presega 1 m/min. Da bi kljub temu lahko dosegli zadostno število gibov, morajo biti prazni, zlasti povratni gibi pehala zelo hitri. Ugoden potek hitrostne krivulje pehala se da najlaže dosegati pri hidravličnem pogonu z ustreznim krmiljenjem, lahko pa tudi pri posebno izvedenih kolenastih mehanizmih.

Preša za fino rezanje, kakršno prikazuje slika 29, ima mehanični pogon. Poseben kolenasti mehanizem, ki je v vznožju stojala, omogoča zelo ugoden in enakomeren potek hitrosti pehala v območju delovnega giba. Ročični kot, ki je potreben za povratni gib pehala, znaša le 120°, medtem ko je pri normalnih ročičnih prešah 180°. Pehalo, ki drsi v prednapetih vodilih, se giblje pri delovnem gibu od spodaj navzgor. Z brezstopenjsko regulacijo v območju 1:2,5 je mogoče prilagajati rezalno hitrost določenemu materialu ter velikosti in obliki izrezka. Levo in desno od stojala sta valjčni podajalni napravi, ki sta krmiljeni elektropnevmatično. Število gibov je odvisno od velikosti preše in znaša 36 ... 90 v minuti pri lažjih oziroma 18 ... 45 pri težjih izvedbah.

Primerek sodobnega avtomata za fino rezanje s hidravličnim pogonom ponazarja slika 30. Okvir preše je zaprt in simetričen ter ima štiri kratke stebre. Hidravlični pogon ne povzroča nikakršnih prečnih sil v posameznih elementih preše. Pehalo se premika pri delovnem gibu zopet od spodaj navzgor in ima prednapeta kroglična vodila, ki omogočajo zelo natančno vodenje tudi pri ekscentričnih obremenitvah. Vsi deli orodja se premikajo hidravlično. Grebenasto držalo in rezilni pestič sta v zgornjem, rezilna plošča pa je v spodnjem delu orodja. Ker je pogon spodaj, se premika rezilna plošča proti pestiču. Hidravlika omogoča, da se pritiski držala, nasprotnega držala in rezilnega pestiča med seboj poljubno naravnavajo. Pritisk držala in pritisk nasprotnega držala sta torej med seboj in



Sl. 29. *Mehanična preša za fino rezanje GKP-F 100 Mp (OSTERWALDER)*



Sl. 30. *Hidravlični avtomat za fino rezanje FSA 100 Mp (ESSA)*

od rezalne sile neodvisna in ju je lahko prilagajati najugodnejšim delovnim pogojem. Nadaljnja prednost je možnost regulacije hitrosti v območju delovnega giba. Naprava za pravočasno prekrmiljenje preprečuje, da bi pestič segal v matrico, s čimer se zmanjša obraba orodja. Te avtomate gradijo za pritiske od 60 ... 630 Mp in imajo pri lahkih izvedbah 25 ... 70, pri težkih pa 5 ... 18 gibov v minuti.

SKLEP

Iz gornjih izvajanj izhaja, da poznamo dandanes že več načinov za množinsko izdelavo zelo kvalitetnih izrezkov iz pločevine. Praktično lahko dosega mikrogeometrična natančnost strižnih ploskev pri teh izdelkih kvaliteto brušenih ploskev. Ker zadostujeta za njihovo izdelavo ena sama rezna operacija in eno samo rezilno orodje, je pri določenih oblikah mogoče dosegati znatne prihranke. Seveda ti postopki ne morejo biti v vsakem primeru gospodarnejši od dosedanjih načinov. Izdelava orodij za fino rezanje in njihova uporaba sta združena z uporabo posebne tehnike in ogromnimi skušnjami ter lahko vodita do želenih uspehov samo v rokah ustrezno izšolanih specialistov.

Zaradi naglega razvoja posamezni postopki finega rezanja še niso dovolj raziskani in praktično preskušeni, tako da manjka zanje sistematičnih podatkov, zlasti o najprimernejših oblikah izrezkov, o optimalnih rezalnih hitrostih in drugih tehnoloških parametrih, o sposobnosti materialov za fino rezanje ipd. Tudi pri najbolj razširjenem postopku rezanja pod pritiskom grebenastega držala si podatki, objavljeni v literaturi, deloma še nasprotujejo. To pa nikakor ne zmanjšuje pomembnosti finega rezanja za sodobno obdelovalno tehniko.

Literatura:

[1] Guidi, A.: Feinschneiden. Werkstatt u. Betrieb 95 (1962), št. 9, str. 637—648.

[2] Timmerbeil, F. W.: Untersuchung des Schneidvorganges bei Blech, insbesondere beim geschlossenen Schnitt. Werkstattstechnik und Maschinenbau 47 (1957), str. 231—239, 350—356.

[3] Oehler, G.: Schnitt-, Zieh- u. Stanzwerkzeuge. 4. izdaja, Springer-Verlag, Berlin, 1962.

[4] Oehler, G.: Der derzeitige Stand der Feinstanzverfahren. Werkstattstechnik 51 (1961), št. 2, str. 82—88.

[5] Bösch, F. — Stäger, A.: Feinschneiden genauer Fertigteile in der Stanzereitechnik. Werkstatt und Betrieb 96 (1963), str. 607—611, 843—850.

[6] Meyer, M.: Verfahren zur Erzielung glatter Schnittflächen beim vollkantigen Schneiden von Blech. Disertacija T. H. Hannover 1962.

[7] Oehler, G.: Die Wirtschaftlichkeit der Feinstanzverfahren. Werkstattstechnik 52 (1962), št. 11, str. 596—603.

Posnetki in informacije:

ESSA — Fabrique de machines S. A. Bruegg/Bienne (Suisse)

FEINTOOL AG, Lyss (Suisse)

OSTERWALDER AG, Lyss (Suisse)

MAY-PRESSENBAU GmbH, Schwäbisch Gmünd.

Avtorjev naslov: doc. ing. Franc Gologranc, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani