STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK VI LJUBLJANA, V MAJU 1960 ŠTEVILKA 3

DK 658.564

Avtomatizacija obdelovalnih postopkov v serijski in posamični proizvodnji

JANEZ PEKLENIK

Razvoj v proizvodni tehniki teži za čimbolj racionalnim oblikovanjem obdelovalnih postopkov. V zadnjih letih sta se izkristalizirali dve smeri, s katerima morajo računati proizvajalci obdelovalnih strojev, in sicer: avtomatizacija maloserijske proizvodnje ter avtomatiziranje posamične kosovne proizvodnje.

Ta razvoj z zahtevami vred je plod ekonomskih razmer na tržišču. Z velikimi gospodarskimi prostori, na kakršne se lahko opirajo ZDA ali pa ZSSR, v Evropi praktično ni mogoče operirati. Edini izjemi sta samo avtomobilska in kolikor toliko tudi vojna industrija.

Iz razpoložljivih podatkov je znano, da na primer v ZDA 19 % podjetij z 79 % zaposlenih v kovinski predelovalni industriji živahno avtomatizira obrate [1]. To razmerje kaže, da samo velike tvrdke z množinsko proizvodnjo zmorejo tako visoke investicije, kakršne so združene s tem problemom.

Da razvoj v smeri avtomatizacije ni mogel obstati, ko so bila v načelu rešena vprašanja množinske proizvodnje, je pogojeno s tehniko samo in zahtevami manjših kovinskih podjetij, ki skušajo tudi posamično in maloserijsko proizvodnjo izvajati čimbolj racionalno in si tako zagotoviti obstoj v konkurenčnem boju na tržiščih. Razen tega je treba imeti na umu še en problem, in sicer pomanjkanje visokokvalificirane delovne sile. Če se v množinski proizvodnji skuša proizvajati s čimmanj delovne sile, je to samo eden izmed razlogov v prid avtomatizacije. V posamični in maloserijski proizvodnji pa naj bi avtomatizacija nadomeščala izučene delavce, katerih zelo primanjkuje, s priučenimi.

Sredstva, ki so v rabi v obeh področjih avtomatizacije, v množinski in maloserijski proizvodnji, so zelo različna. Evropska razstava obdelovalnih strojev septembra 1959 v Parizu je pokazala zanimive rešitve in razvojne smeri pri oblikovanju avtomatizacije obdelovalnih postopkov v omenjenih dveh smereh: Medtem ko so v posamični in maloserijski proizvodnji za krmiljenje obdelovalnih strojev glede na posamezne gibe in funkcije umeščeni enostavni nosilci komand, kakor n. pr. perforirane karte in trakovi ter filmski in magnetofonski trakovi, je težišče pri velikoserijski in množinski proizvodnji pri strojih s popolnoma avtomatiziranimi krmilnimi programi, napravami za privažanje in odvažanje obdelovanca k stroju in od njega, napravami za vskladiščevanje, specialnimi obdelovalnimi enotami in krmiljenjem z merilno avtomatiko. Edino obdelava po kopirnem postopku se enako uveljavlja v posamični kakor tudi v množinski proizvodnji. Čedalje širšo uporabo kopirnih naprav na stružnih in frezalnih strojih je pokazala razstava v Parizu. Tudi merilna avtomatika je v zmerom večjem obsegu v rabi pri maloserijski proizvodnji.

Upoštevajoč dandanašnja proizvodna sredstva, ki so ta čas na uporabo inozemski industriji, je neogibno potrebno, da naši kovinski predelovalni obrati skrbno spremljajo zadevni razvoj in vlagajo investicije pravočasno in s perspektivo čedalje hujšega konkurenčnega boja na mednarodnih tržiščih. Zdaj ne gre več za proizvodnjo n. pr. obdelovalnih strojev, prevoznih sredstev, energetskih strojev itd., temveč so postala poglavitna vprašanja kvaliteta proizvodov in njihova racionalna proizvodnja.

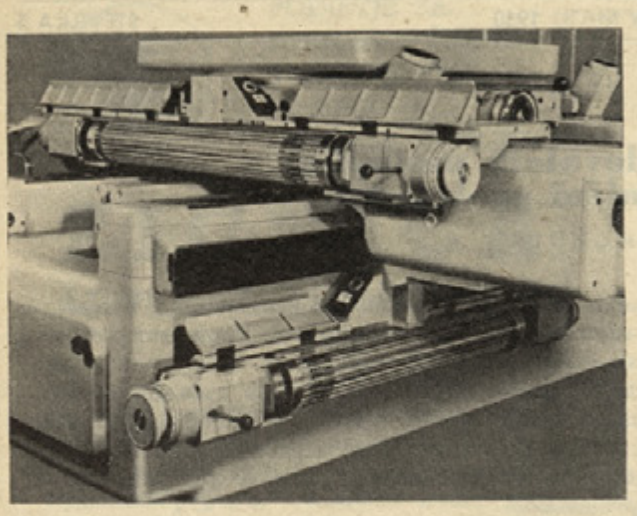
V naslednjem bi hoteli prikazati glede na sedanjo raven tehnike nekatere možnosti, ki omogočajo tako imenovano »malo avtomatizacijo« v obratih s posamično in maloserijsko proizvodnjo. Ta vprašanja so za naše obrate posebno pereča, saj vsa naša industrija po svojih značilnostih teži k malo- in srednjeserijski proizvodnji, ki se v glavnem uveljavlja poleg posamične proizvodnje v posameznih industrijskih vejah.

1. POZICIONIRANO KRMILJENJE OBDELOVALNIH STROJEV

Ta vrsta krmiljenja obdelovalnih strojev omogoča prestavljanje obdelovancev in orodja z največjo natančnostjo v vnaprej določeni delovni položaj. V zadnjih letih je pridobil razvoj celo vrsto rešitev tega problema, ki pa se močno razlikujejo v strukturi programiranja in seveda tudi po ceni.

Načeloma sta se izkristalizirali dve razvojni smeri. Prva je značilna po tem, da se na stroju ročno nastavljajo prisloni, ki se dajo pri obdelavi po določenem vrstnem redu otipati. Položaje prislonov je mogoče otipavati brezstično (n. pr. pnevmatično, induktivno ali pa kapacitivno) ali pa preko natančnih električnih končnih stikal. Tako se podajalno gibanje preklaplja v plazeče, ki ga je mogoče v določeni poziciji odklapljati.

Druga razvojna smer pri pozicioniranih krmilnih sistemih se očituje v rešitvah, pri katerih se poljubna lega orodja ali pa obdelovanca v obdelovalnem območju dosega s pomočjo krmilnih povelj, ki so hranjena v perforiranih kartah ali pa trakovih. Prvi pogoj za izvajanje tega sistema pozi-



Sl. 1. *Kapacitivni pozicionirni sistem »Dixi«, Švica*

cioniranega krmiljenja je, da sta v stroju vdelana natančno merilo in poseben tipalni sistem, ki omogoča pretvarjanje različnih dolžin v električne signale. Te informacije je treba primerjati s tistimi, ki so programirane v hranilniku informacij. Tako se krmili obdelovalna enota v zaželeni položaj.

Kot primer za prvo razvojno smer pozicioniranja s prisloni je prikazan na sliki 1 elektronski hidravlični pozicionirni sistem s kapacitivnim otipavanjem prislonov na koordinatnem vrtalnem stroju »DIXI 7506«. Za vsako od treh koordinat je v stroju nameščen izmenljiv merilni boben s 24 ločnimi utori, v katerih je pritrjen po en merilni prislon. S tem je podana natančna lega sani po pozicioniranju. Merilni prislon tvori skupaj s tipalom diferencialni kondenzator. Sani z merilnim tipalom se prestavljajo s posebnim regulacijskim sistemom tako dolgo v smeri nastavljene položajne vrednosti, dokler obe kapaciteti nista označeni. Nastavitev merilnih prislonov se izvaja preko optičnih elementov, ki so nameščeni v saneh. Položaj prislonov se justira z električnim kazalnim instrumentom tako, da kaže ta natanko ničelni položaj. Sani se nastavljajo pri prvem obdelovancu v ustrezne položaje optično. Obdelava se lahko prične takoj. Pri obdelavi naslednjih obdelovancev se otipava položaj prislonov električno in ni treba nobene dodatne nastavitve. Obdelovalni potek je tedaj avtomatiziran, in sicer z elektronsko-hidravličnim krmiljenjem na voljene položaje brez uporabe optike. Le-ta služi tedaj le kot kontrolni element.

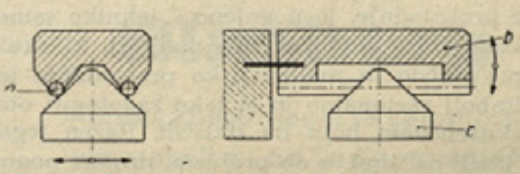
Krmiljenje mize v določen položaj se opravlja tako, da se prenaša merilna vrednost na dvostransko delujoči magnetni hidravlični ventil. Ta krmili oljni pretok v delovni hidravlični valj s povečanjem ali zmanjšanjem rege v ventilu. Če prekorači obdelovalna miza zaželeni položaj, se magnetni ventil krmili tako, da se miza obrača tako dolgo nazaj, da doseže določeno pozicijo.

Kapacitivno otipavanje ima to prednost, da se da avtomatika vsak hip preklopiti na optično nastavitev, ne da bi boben z merilnimi prisloni motil premikanje na druge poljubne koordinate.

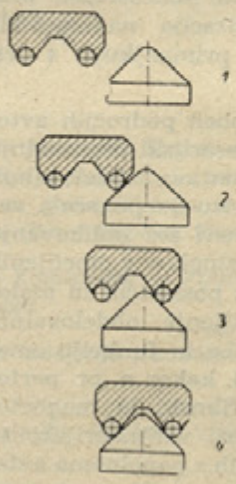
Po elektromagnetnem načelu delujoče pozicionirne naprave na koordinatnih vrtalnih strojih sta razvili tvrdki H. Kolb, Köln, in J. Heidenhain, Trauenreut/Obb. Na mizi je pritrjena letva iz materiala, ki ga je možno dobro magnetizirati. Na mesto, kjer naj se obdelovalna miza pozicionira, se s posebno napravo namesti tako imenovani »magnetni prislon«. Kot tipalo rabi v tem primeru magnetofonski odjemalni glavi podobna naprava. Posebna zahteva pri sprejemu informacije z magnetizirane letve je ta, da mora glava pri vsaki hitrosti mize sprejeti informacijo ravno v sredini magnetnega prislona.

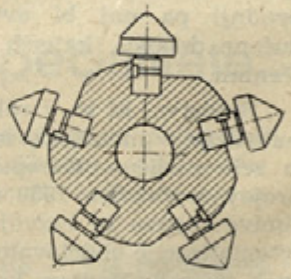
Ta izvedba terja zapleteno elektronsko aparaturo, ki je prav zategadelj precej draga. Natančnost teh pozicionirnih sistemov je zelo velika in sega do 1 μ.

Enostavnejši pozicionirni sistem z odmikali in končnimi električnimi stikali je razvila tvrdka »Scharmann & Co., Rheydt [2]. Odmikalo je stožčaste oblike in omogoča sklopitev kontakta med enim ali dvema kontaktnima sornikoma (slika 2). Potek preklapljanja in odklapljanja premikov je prikazan na sl. 3. V hitrem gibu se približuje kontaktni sornik odmikalu (1. pozicija). Pri dotiku obeh se hitri gib preklopi v normalni gib z obdelovalno podajalno hitrostjo (2. pozicija). Kontaktni sornik drsi po stožčasti površini do vrha odmikala. Po preteku



Sl. 2. *Izvedba odmikala s kontaktnimi sorniki*





Sl. 4. *Namestitev odmikala na krmilnem valju*

Sl. 3. *Časovni potek pozicioniranja z odmikali*

najvišje točke odmikala se preklopi podajalna hitrost v plazečo (3. pozicija). Pri nadaljnjem premikanju se sklopita oba kontaktna sornika in podajanje se odklopi (4. pozicija). Odmikala so nameščena na posebnem valju, ki se da enostavno izmenjati (slika 4). Ta pozicionirna naprava je poceni in enostavna ter razmeroma zelo natančna ($\pm 5\,\mu$).

Če pomeni prva razvojna smer avtomatično pozicioniranje s pomočjo električnega ali pa pnevmatičnega otipavanja prislonov, je druga smer značilna po tem, da se povelja iz perforiranih ali pa magnetofonskih trakov prenašajo na krmilni sistem stroja. Po tej poti je možno doseči:

1. prekinjeno pozicioniranje, to je nastavljanje posameznih koordinat z naslednjo obdelavo ter

2. kontinuirano pozicioniranje, to je obdelavo določeno izoblikovanih kontur na obdelovancih. Nekaj primerov za to razvojno smer je razloženih v naslednjem.

Za avtomatično pozicioniranje mize in sani z vrtalno glavo vertikalnega koordinatnega stroja »Oerlikon« (Švica) je izdelala tvrdka »Contraves« A. G., Zürich, na sliki 5 prikazano krmilno pozicionirno napravo. Koordinatne vrednosti se nastavljajo bodisi preko dekadičnih stikal ali pa se uvajajo preko perforiranih trakov v sistem. Informacije so podane že pri obdelavi prvega obdelovanca in jih ni potrebno shraniti šele med obdelavo v hranilnikih. Na koordinatnem vrtalnem stroju so zasnovani trije tiratroni, ki krmilijo servomotorje in elektromehanične merilne naprave za vrtalne sani in mizo. Optične odčitalne naprave delujejo v glavnem za kontrolne namene. Kot tipalo za informacije, ki so posnete na perforiranih trakovih, je v tehniki daljinskega pisanja v rabi dobro znani teleprinter. Ta dela po mednarodno veljavnem 5. kodeksu. Pozicioniranje mize in vrtalnih sani je možno izvajati ločeno na šestmestnih dekadičnih stikalih. Razen tega omogočajo ta stikala med avtomatičnim potekom programske obdelave po perforiranem traku nastavljanje posebnih dodatnih vrednosti. Miza in vrtalne sani se lahko prestavljajo tudi ročno, in sicer tako, da se vrtijo določeni gumbi. Celotno območje podajalne hitrosti med 2 mm/min do 2400 mm/min je mogoče nastavljati brezstopenjsko, in sicer v dveh smereh gibanja mize.

Pri avtomatičnem pozicioniranju s perforiranim trakom je delovni potek naslednji:

1. S startnim gumbom se vključi avtomatično podajanje perforiranega traku.

2. Številčne vrednosti x— in y— koordinate se volijo druga za drugo s posebnim volilnim potenciometrom in hranijo v posebnem hranilniku. Izvoljena števila se dajo lahko odčitavati na stikalni skrinjici.

3. Ko je postopek hranjenja opisanih koordinat končan, prejmeta servomotorja mize in vrtalnih sani

Sl. 5. *Pozicionirni sistem »Contraves«, Švica*

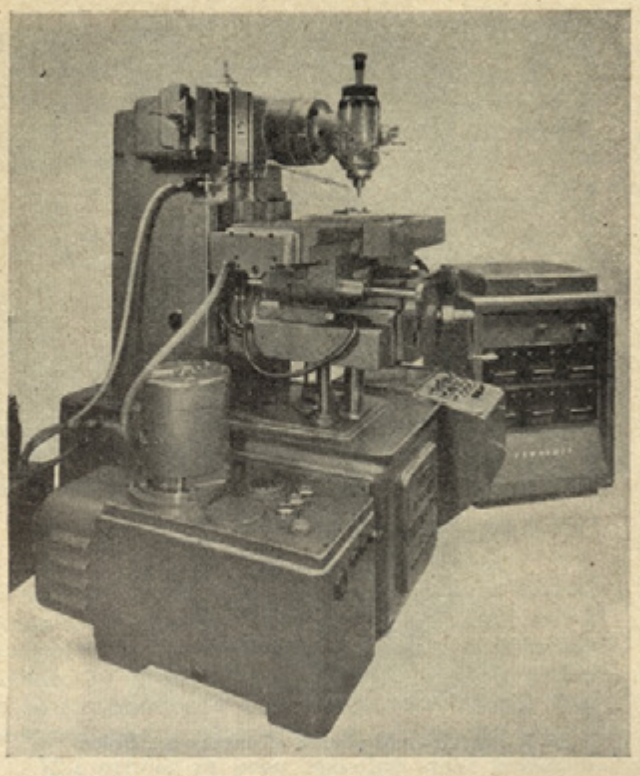
od perforiranega traku startno povelje. Oba elementa se premikata istočasno v izvoljeni položaj. Na kazalnem instrumentu se kontrolira, kdaj se vsakokratni položaj sani ujame z zahtevanim. Brž ko je izpolnjen ta pogoj enakosti med hranjeno in dejansko koordinato, se miza ali pa sani avtomatično pritrdijo.

4. Ko so izpolnjena programska povelja ene delovne faze, se s posebnim poveljem ustavi podajanje perforiranega traku.

Odčitavanje meril oziroma pretvarjanje signalov se izvaja pri takšnih funkcijsko pozicionirnih napravah lahko analogno ali pa digitalno. V modernih obdelovalnih napravah se uporabljata obe možnosti. Vsekakor kažejo razvojne težnje, ki so se pokazale na pariški razstavi, da je kombinirana rešitev najprimernejša. Kot primer naj navedemo tole: dolžina pozicionirnega območja naj bo 500 mm. Ta se razdeli v dolžine po 100 mm, kar ustreza digitalnemu načinu pozicioniranja. Območje 100 mm pa se premosti z analognimi elementi, n. pr. precizijskimi potenciometri.

Perforirani trak se je zelo uveljavil kot nosilec povelj v krmilni tehniki obdelovalnih strojev, najsi bo pri zapletenih ali enostavnih obdelovalnih programih. Dvoje prednosti, ki sta odločilnega pomena za uporabljanje tega nosilca informacij, je potrebno poudariti, in sicer:

1. Izmenjavo programa na stroju je možno izvesti zelo hitro, ker je treba izmenjati samo perforirani trak. Največkrat se lahko trak izdela v zaključeni obliki, to je brez konca. Program se po-



Sl. 6. *Krmilni sistem na vertikalnem frezalnem stroju, sistem »Ferranti«, Anglija*

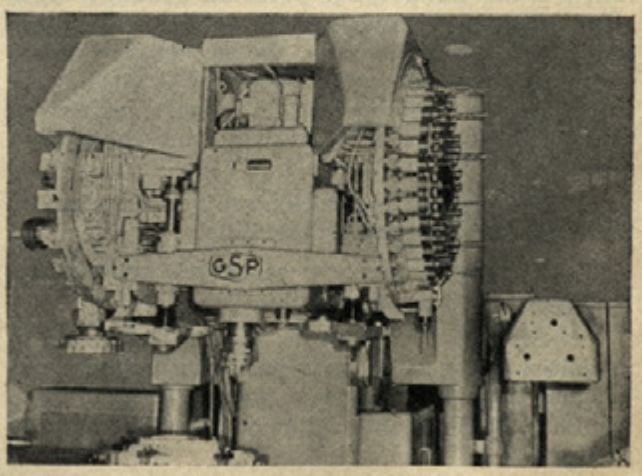
navlja tako večkrat in poljubno. Če pa se trak navija na poseben boben, ki je nameščen v oddajniku, je mogoče na enem odseku programirati več sto položajev mize oz. obdelovalne enote.

2. Pri perforiranih trakovih z mednarodnim teleprinterskim kodeksom je prenašanje programa razmeroma preprosto. Kot pisalni stroj se lahko uporablja običajni teleprinter ali pa enostaven luknjač.

S števili na tastaturi se nanašajo na trak koordinatne točke kot dekadične številčne vrednosti v mm. Pri tem se izštancajo posamezne luknje v traku. Črke se uporabljajo za krmiljenje ostalega programa stroja, kakor n. pr. preklapljanje rezalne hitrosti ali stezanje obdelovancev. Vsaki črki ustreza določeno povelje, ki je programirano na perforiranem traku.

Naslednja možnost za krmiljenje, ki se v zadnjih letih uveljavlja čedalje močneje, je krmiljenje z magnetofonskim trakom, ki rabi kot nosilec programa. Krmilni sistem »Ferranti« (slika 6), ki se uporablja na vertikalnih frezalnih strojih, je zgrajen samo iz transistorjev. Za pogon mize v treh koordinatah služijo hidravlični servomotorji s storilnostjo 3 KS. Novi merilni sistem sestoji v glavnem iz podolgovate, optične mreže; njene črte stoje pravokotno na smer premikanja. Ta namestitev vrst se otipava kontinuirano s posebno rotirajočo stekleno ploščo, v katero je vdelan vzorec, ki ima obliko spirale. Senčna slika, ki nastaja iz obeh elementov — optične mreže in spirale — se otipava s foto celico. Tako nastaja izhodni signal v približni obliki sinusa. Za pogon koluta s spiralo je potreben sinhronski motor, ki je gnan z magnetofonskega traku z določeno izhodiščno frekvenco. Frekvenca izhodnega signala je tedaj proporcionalna vrtilni hitrosti motorja in podajalni hitrosti sani. Ta frekvenca se v regulacijskem krogu primerja s frekvenco, ki je hranjena na magnetofonskem traku. Frekvenca na magnetofonskem traku je proporcionalna zahtevani vrednosti. Če se pojavlja določena diferenca obeh frekvenc, krmili proporcionalni signal servomotor v zaželeni položaj. Natančen vsakokratni položaj sani se ugotavlja pozneje z dodatno meritvijo obeh faz. Pri programiranju se informacije, ki so potrebne za izdelavo obdelovanca po določenem ključu, programirajo v poseben perforirani trak. Podatki se preko računskega stroja hranijo avtomatično na magnetofonskem traku.

Da se magnetofonski trakovi ne uporabljajo samo pri kontinuiranem pozicioniranju, kaže izvedba univerzalnega vrtalnega, frezalnega in navojnega stroja, pri kateri se n. pr. tudi menjava orodij krmili s pomočjo magnetofonskega traku. Francoska tvrdka »Guillemin-Sergot et Pégard« je prikazala na sliki 7 predstavljeni avtomat. S pomočjo elektroničnega krmilnega sistema je omogočena natančna ustavitev podajanja mize in vrtalnih sani na vnaprej določenih koordinatah. Za vsako smer podajanja se nastavlja zahtevana vrednost na vrtilnih stikalih s petimi dekadami. Pri zapletenih obdelovalnih postopkih se pozicioniranje opravlja avtomatično preko perforiranega traku. Kot trak se uporablja normalen filmski trak širine 35 mm z 10 vštancanimi perforiranimi odseki. S kombinacijami po pet lukenj v eni vrsti se števila in ostale informacije kodificirajo. Izhodišče koordinatnega sistema se lahko premakne tudi med obdelavo. Na sliki 8 je prikazana odčitalna naprava z vloženim filmom. Če je na traku zasnovana izmenjava enega orodja,



Sl. 7. *Univerzalni vrtalni in frezalni stroj s krmiljenjem s filmskim trakom (Guillemin-Sergot et Pegard)*

n. pr. frezala ali svedra, se stroj avtomatično ustavi, nato pa se lahko vstavi novo orodje.

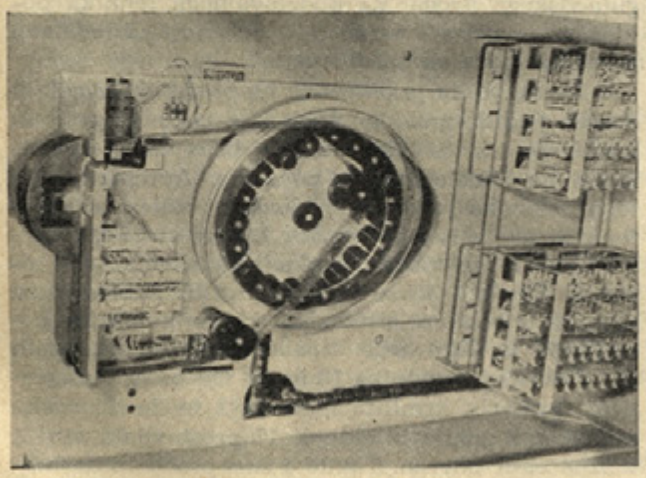
Sistemi, s katerimi se v elektronično krmiljenih obdelovalnih strojih odčitujejo merila, se lahko enako uporabljajo za merjenje izgotovljenih obdelovancev. Tako je n. pr. pri elektroničnem merilnem stroju tvrdke »Ferranti Ltd.« Edinburg (slika 9).

Obdelovanec, ki ga je treba izmeriti, se pritrdi na mizo. S posebnim tipalom, ki je vležajeno v krogličnih vodilih, se obdelovanec otiplje po celotni konturi. Premikanje tega tipala, ki je tudi vgrajeno v Ferrantijevem krmilnem sistemu, se s pomočjo črtaste mreže spreminjajo fotoelektrično v električne impulze. V transistorskih dekadah se ti impulzi štejejo in registrirajo na kazalnem instrumentu. Tako je možno enostavno, pri tem pa natančno in hitro izmeriti različne dolžinske mere, premere izvrtin itd., kar je posebno zanimivo za obdelovalne proge, po katerih pomenijo merilne postaje veliko težavnih problemov.

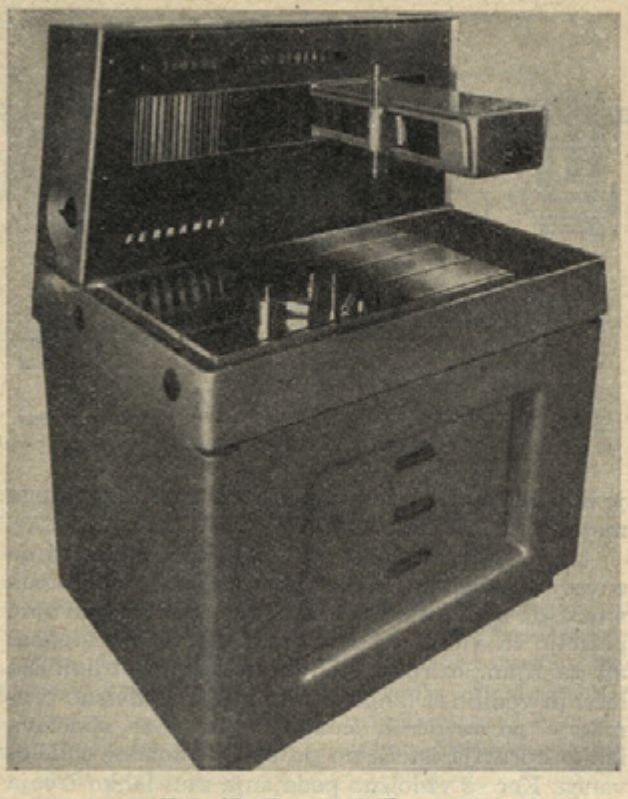
Teh nekaj kratkih izvajanj naj bi bilo osvetlilo najnovejša dognanja na področju pozicionirnih naprav.

2. KOPIRNE NAPRAVE

Kopirne naprave se uporabljajo v posamični in maloserijski, prav tako pa tudi v množinski proizvodnji. Približno 75 % razstavljenih kopirnih agregatov deluje po čisto hidravličnih načelih. Kot krmilni sistem se uporabljajo vedno pogosteje sistemi z več krmilnimi robovi. Veliko napora zastavljajo za to, da bi povečali natančnost teh sistemov in bi kopirne agregate glede na nihanja izvedli stabilneje. Pri določenih udarnih obremenitvah povzročajo sistemi trajna nihanja, ki jih je zelo težko dušiti z znanimi mehaničnimi sredstvi. Iz tega razloga je tvrdka Brinker Maschinenfabrik, Hannover v sodelovanju z britansko tvrdko Sperry Gyroscope Company izdelala kopirni agregat stružnice, pri katerem deluje samo servomotor po hidravličnem načelu. Tipalo je izvedeno kot analogen električni



Sl. 8. *Odčitalna naprava za filmski trak (Guillemin-Sergot et Pegard)*

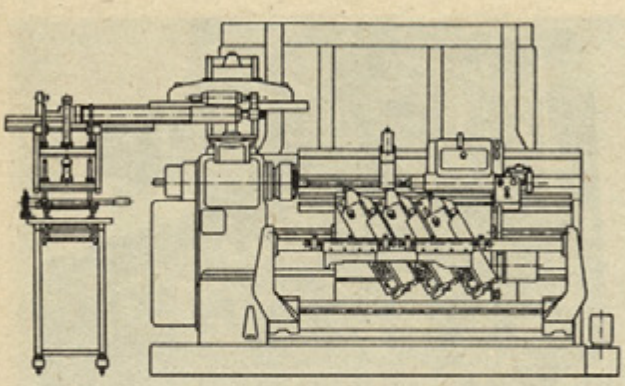


Sl. 9. *Merilni stroj (Ferranti)*

sistem. Tako je bilo mogoče z regulacijsko-tehničnimi sredstvi brez posebnih težav povečati stabilnost agregata, ne da bi bilo pri tem potrebno zmanjšati njegovo natančnost.

Področje, na katerem se uporabljajo hidravlični kopirni sistemi, so predvsem majhni in srednji stroji. Na težkih obdelovalnih strojih, kakor karuselnih stružnicah, težkih frezalnih strojih itd. prevladuje elektro-mehanično načelo s kontaktnimi tipali in elektromagnetnimi sklopkami.

Kot eno bistvenih teženj pri gradnji stružnic s kopirnimi agregati je potrebno omeniti večje število kopirnih orodij, ki so zdaj zasnovana na stružnicah. Le-ta delujejo pri obdelavi enega obdelovanca neodvisno drugo od drugega. Poti, kakršne so se pokazale tukaj, so deloma nove. Zanimive rešitve je prinesla tvrdka Georg Fischer, A. G., Schaffhausen. Znani kopirni stroj KDM-11 je opremljen s specialnimi podajalnimi sanmi, na katerih sta nameščena dva ali trije kopirni agregati. Nagib osi agregata je možno ustrezno spreminjati (slika 10). Za vsak kopirni agregat je zamišljena posebna šablona. Z istočasnim potekom več operacij se bistveno zmanjša obdelovalni čas. Slaba stran te izvedbe je, da ni mogoče kopirnih sani izrabiti za obdelavo po celotni dolžini obdelovanca. Te so namreč v končnih položajih druga drugi na poti. Hidravlična črpalka se poganja z električnim motorjem z močjo 6 KS in je nameščena na vzdolžnih saneh. Zaradi večje potrebne storilnosti na vretenu

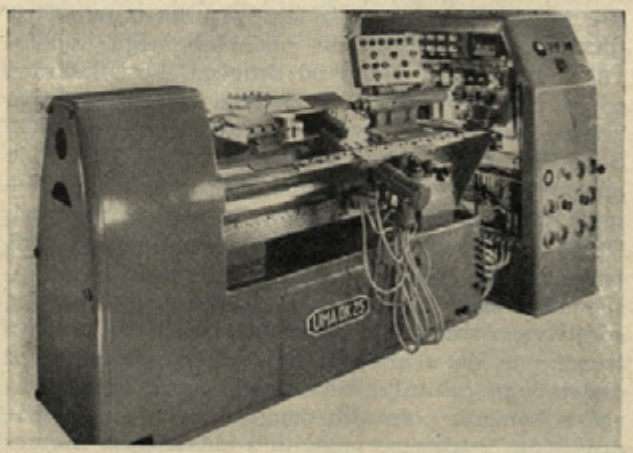


Sl. 10. *Stružni stroj — KDM 11 — z več kopirnimi agregati (G. Fischer, Švica)*

je bilo potrebno povečati efektivno moč pogonskega motorja za 15 odstotkov.

Nadaljnja možnost za istočasno obdelovanje z večjim številom kopirnih orodij se je pokazala s tem, da so konstruirali stružnice z deljeno dvojno posteljo in vodili, ki leže pred glavnim vretenom ali za njim, oziroma pod njim ali nad njim. Na ločenih vodilih se lahko kopirne sani neodvisno premikajo po različnih šablonah. Tako se obdelava lahko opravlja istočasno po celotni dolžini obdelovanca. Ker se vzdolžno podajanje sani lahko izvaja v isti smeri ali pa v nasprotni, je mogoče obenem stružiti tudi ploskve, ki leže pravokotno na vrtilno os, in sicer v obeh smereh. Tako se lahko izvaja veliko število obdelovalnih operacij na obdelovancu, in sicer največkrat tako, da obdelovancev ni treba prepenjati. S tem se prihranjuje mnogo dodatnih strojev, transportnih naprav in delavniškega prostora.

Kopirni stroj z dvema posteljama je pokazala tvrdka UMA-Werke, Karl Müller & Söhne, K. G., Uhingen (slika 11). Postelja je izoblikovana v obliki strehe in ima na sprednji in zadnji strani vodil po en kopirni suport. Podobno namestitev kopirnih suportov je bilo videti na kopirnem avtomatu

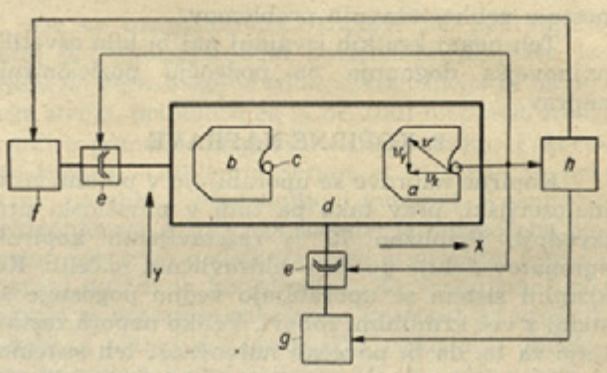


Sl. 11. *Kopirni stružni stroj UMA-DK 25 (Müller, Uhingen, Nemčija)*

DA-150 SD tvrdke L. Löwe & Co., Berlin in na vertikalni stružnici Vertimat tvrdke Martin iz Offenburga.

Pri električnih kopirnih sistemih je dandanes brez posebnih vprijemov težje, že dosežemo natančnost še povečati. Ena možnost za povečanje kopirne natančnosti in obdelovalne hitrosti je v tako imenovanem tangentnem kopiranju. Čeprav je postopek že dalj časa znan, se je šele sedaj uveljavil na električno-hidravličnih kopirnih frezalnih strojih. Na sliki 12 je prikazano načelo tangentne kopirne naprave.

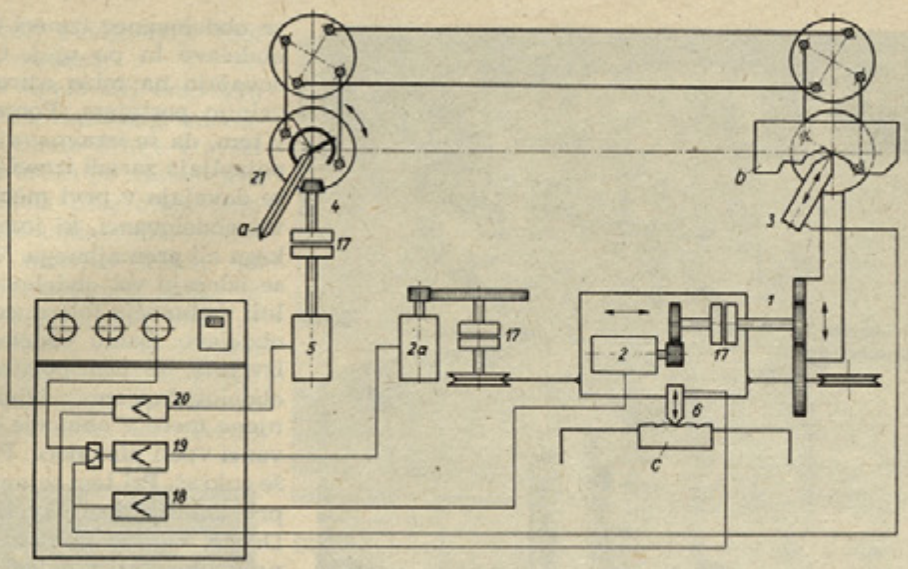
Kot nadaljnja izpopolnitev je k normalnemu kopirnemu sistemu z električnimi sklopkami zamišljeno še posebno tangentno računalo. S pomočjo tega računala se krmili vrtilna hitrost pri podajalnih motorjih in tako dosega minimalna frekvenca pri preklapljanju sklopk. Če je ta frekvenca enaka



Sl. 12. *Načelo tangentnega kopiranja*

ničli, tedaj leži rezultanta iz podajalne hitrosti v x- in y- smeri tangencionalno k šabloni in s tem tudi tangencionalno k obdelovancu. S posebnimi vprijemi je možno to rezultirajočo podajalno hitrost obdržati na konstantni višini. To se lahko brez vsega doseže s sinus- ali kosinus-potenciometri. Tako je bilo možno precej povečati stabilnost regulacijskega kroga. Za obdelovalnega tehnika pomeni to povečanje natančnosti možnost za obdelavo z večjimi podajalnimi hitrostmi.

Znano je, da je potrebno na profilnih brusilnih strojih voditi tipalo po šabloni z roko in pri tem vrteti njegovo os tako, da stoji brus vedno pravokotno na obdelovančevo površino. Avtomatizacijo tega postopka je omogočil krmilni sistem »Diktator«, ki ga je razvila tvrdka Diametal-Biel, Švica. Na sliki 13 je vidna regulacijska shema tega sistema. Tipalo 3, ki se vozi po profilni šabloni, ima vgrajen induktivni sistem, ki oddaja položajne koordinate in lego tega tipala v obliki analognih signalov v ojačevalnika 18 in 19. Od tu se v ustreznem razmerju krmilita motorja 2 in 2a, ki preko zobniškega gonila in sklopk 17 prestavljata sani 1 v označenih smereh. Tipalo 6 se s posebnim induktivnim sistemom, ki je pritrjen na saneh 1, pri tem vozi po programski šabloni. Ta je izoblikovana



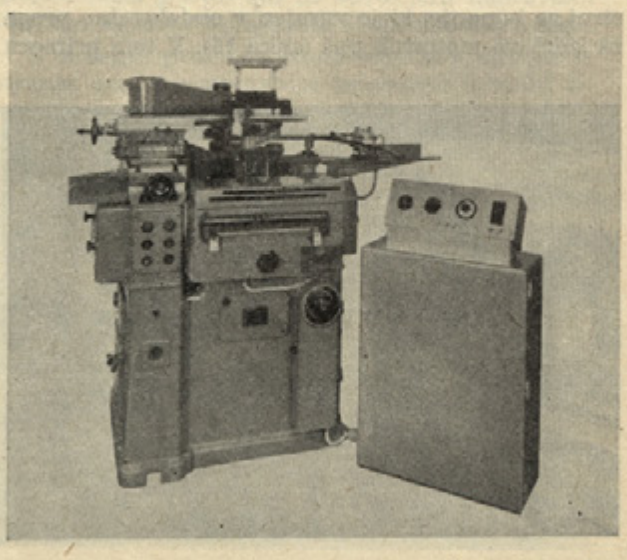
Sl. 13. *Krmilni sistem »Diktator« za profilni brusilni stroj (Diametall, Biel, Švica)*

tako, da so nagibni koti konture enaki oni na profilni šabloni. Sprememba analogne veličine, n. pr. električne napetosti, se prenaša v ojačevalnik 20, preko katerega se krmili motor 5. Preko sklopke 17 se s pomočjo zobniškega gonila 4 vrti kolut, na katerem je nameščen potenciometer. Ta se zavrti za kot, ki je podan v dovedeni informaciji s programske šablone. Preko paralelograma se istočasno s tega mesta zavrtita za določen kot tipalo 3 in brus. Na sliki 14 je prikazana ta krmilna naprava na profilnem brusilnem stroju tvrdke Studer, Švica.

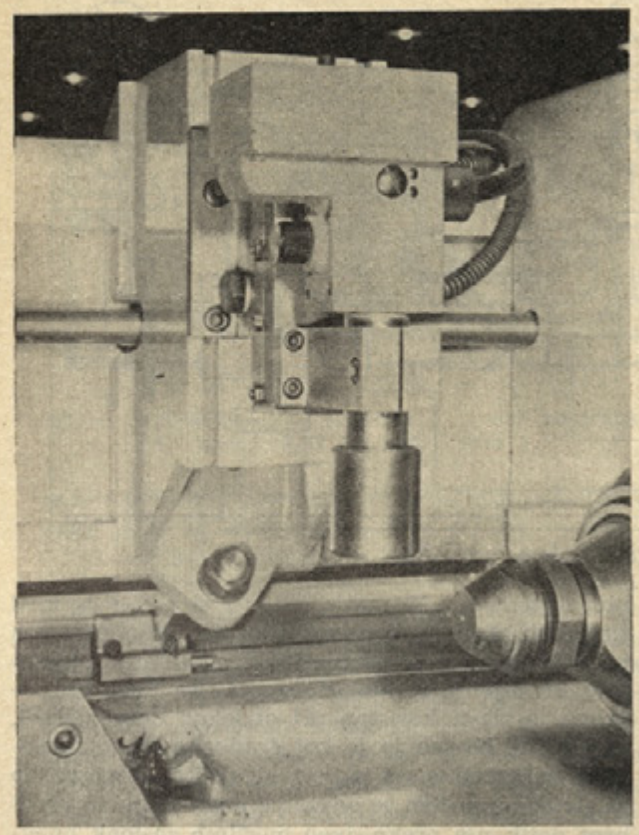
3. TOLERANČNO KRMILJENJE

Tolerančno krmiljenje se kot sredstvo za povečanje natančnosti obdelovancev in produktivnosti v obdelovalni tehniki uveljavlja čedalje bolj [3]. Uporaba tolerančnega krmiljenja na posameznih področjih se v glavnem ni premaknila. Največkrat se uporabljajo ti krmilni sistemi na strojih za fino obdelavo, posebno na brusilnih in stružnih strojih. V zadnjem času se je pojavilo tolerančno krmiljenje tudi v večjem obsegu pri kopirnem struženju. Na sliki 15 je prikazana kopirna stružnica s kapacitivnim merilnim tipalom, kakršno proizvaja tvrdka Utita Este, Italija. Kapacitivni tipalni sistem, ki meri določeno dimenzijo po obdelavi, je nameščen na vertikalni postelji. Izvedba tega tipalnega sistema je toliko neugodna, ker je izveden kot sistem z eno merilno točko. Zaradi toplotnih deformacij in drugih vplivov je možno, da se merilna baza premakne, kar ima za posledico nenatančnost pri obdelavi. Velika težava pri uporabi teh krmilnih sistemov na stružnicah se pojavlja zato, ker pri obdelovalnem postopku odrezki večkrat vplivajo na potek merjenja in njegovo natančnost, poškodujejo tipalni sistem itd.

Merjenje obdelovanca med struženjem se vprav iz teh razlogov ni moglo dovolj uveljaviti. Zanimivo rešitev tega problema je prvič pokazala tvrdka Wohlenberg—Hannover, s tolerančnim krmilnim sistemom »Diamatic (sl. 16), ki omogoča med finim struženjem kontinuirano merjenje premera pri obdelovancu in po merilnem rezultatu ustrezajoče krmiljenje rezalnega orodja. Ta dodatna naprava je zlasti koristna pri obdelavi dolgih gredi, valjev itd. Možno jo je kot gradbeno enoto nameščati neposredno na suport stružnice. Neposredno za stružnim nožem se odvzame mera valja ali gredi brez dotikanja preko dveh merilnih zaslonk pnevmatičnega merilnika (slika 17). V primeru, da dejanska mera gredi ali valja ne ustreza več nastavljeni vrednosti, tedaj se preko prestavnega gonila korigira položaj stružnega noža. Tako je možno izravnavati vse napake, ki bi nastale zaradi obrabe orodja, napak pri vodilih na postelji itd. Mogoče je doseči natančnost $\pm 1{,}5\,\mu$, kar pomeni za gredi s premerom nad 500 mm izredno dober razred natančnosti. Stružni nož se vodi v valjčnih vodilih, ker



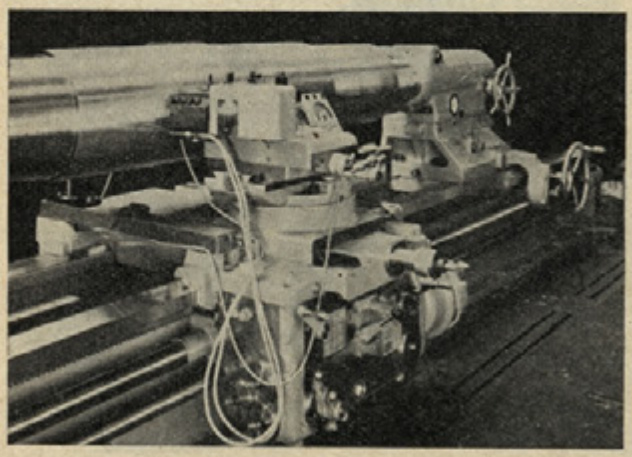
Sl. 14. *Profilni brusilni stroj »Studer«, Švica, s krmilno napravo »Diktator«*



Sl. 15. *Tolerančni krmilni sistem na kopirni stružnici (Utita, Italija)*

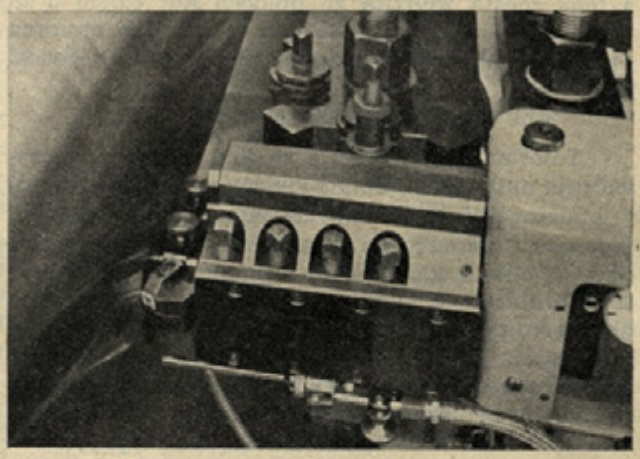
je samo tako mogoče doseči tako majhne premike, da leže okoli 1 μ. Fina nastavitev noža je dosegljiva s pomočjo posebnih mikrometrskih vijakov. K temu je pripomniti, da se v tem primeru kot rezalni material uporablja keramika.

Tudi pri honanju je mogoče uporabljati tolerančne krmilne sisteme. Kot primer naj navedemo stroj za honanje, ki je vgrajen v obdelovalno progo za izdelavo motornih puš (slika 18). V tem primeru



Sl. 16. *Tolerančna krmilna enota »Diamatic« (Wohlenberg, Nemčija)*

se obdelovanec izmeri in avtomatično sortira pred obdelavo in po njej. Obdelovanci se avtomatično dovajajo na mizo oziroma k merilnim in obdelovalnim postajam. Pomen obdelave s honanjem je v tem, da se izravnavajo dimenzijske napake, ki se pojavljajo zaradi izmečka pri kaljenju. Obdelovanci se dovajajo v prvi merilni položaj, kjer se izločajo vsi obdelovanci, ki imajo enega premerov prevelikega ali premajhnega. V drugem merilnem položaju se izločajo vsi obdelovanci, katerih premer izvrtin leži v območju tolerance, ker tu ni treba več nobene obdelave. Samo obdelovanci, ki imajo premajhne izvrtine, se transportirajo v delovni položaj, kjer obdelovalna enota izhona izvrtino tako, da gredo njene mere v območje toleranc. Pri tem so obdelovanci vpeti plavajoče. Po obdelavi se izvrtina izmeri še enkrat. Pri tem se zopet izločajo tisti obdelovanci, pri katerih leži izvrtina v predpisani toleranci. Druge, katerih izvrtina je premajhna, je treba ponovno privesti v delovni položaj obdelovalne enote. Kot merilna tipala v orodjih za honanje se uporabljajo pnevmatične naprave, ki delujejo po načelu visokih tlakov. To je tudi v skladu s splošno težnjo, ki gre za tem, da bi se pri tolerančnem krmiljenju uveljavile samo merilne glave, ki delujejo z visokimi zračnimi tlaki (2 do 5 at), kakor n. pr. Etamic, Deltameter itd., medtem ko je merilnih glav, ki delujejo z nizkimi tlaki (0,5 at), kakor n. pr. Solex,



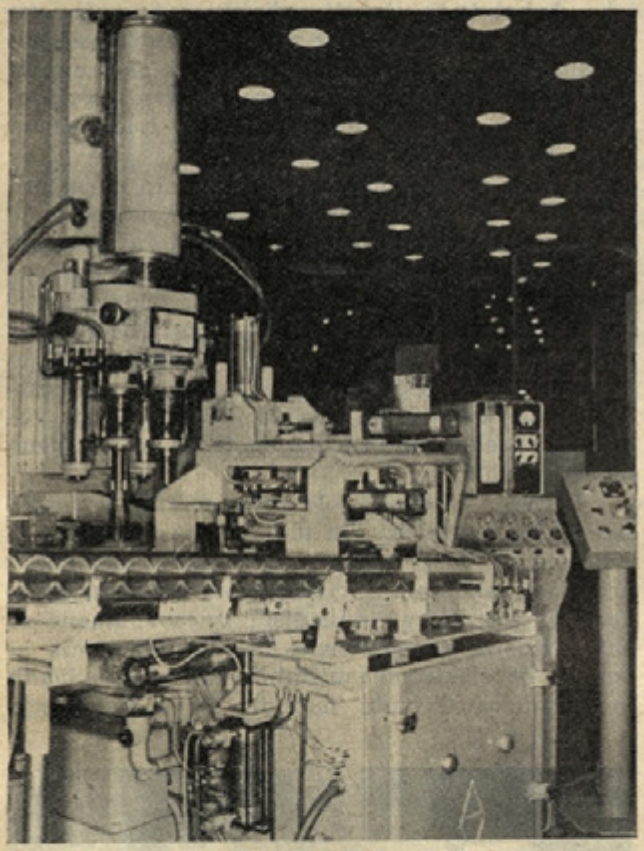
Sl. 17. *Odvzemanje mere med struženjem s pomočjo pnevmatičnega merilnega sistema krmilne naprave »Diamatic«*

vedno manj na teh napravah. Zato pa so kot merilni sistemi za merjenje po obdelavi še zmerom precej v uporabi. Na sliki 18 je videti v ozadju merilno postajo sistema, ki sestoji iz po ene merilne naprave Solex in EAM, delujoče po kapacitivnem načelu.

Pri merilnih napravah z električnimi kontakti se kaže težnja, da bi v tipala vgradili večje število kontaktov. S tega mesta je možno neposredno krmiliti stroj in s tem obdelovalni potek, se pravi pristavljanje brusa in podajanje obdelovanca po določenem programu. Razen krmilnih sistemov z elek-

tričnimi kontakti se čedalje bolj uveljavljajo tudi induktivni kapacitivni tipalni sistemi.

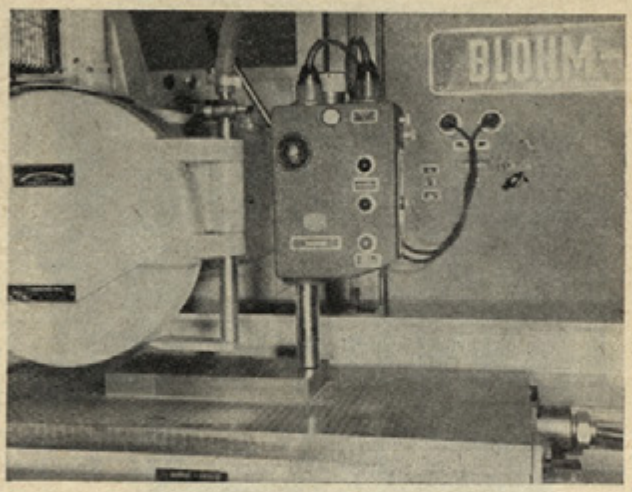
Kot primer za kontaktno tipalo naj omenimo novo konstrukcijo tvrdke Blohm, Hamburg, imenovano »Tastolut« (slika 19). To tipalo deluje v zvezi z avtomatičnim pristavljanjem brusa po naslednjem programu: obdelovanec se obdela brez otipavanja z grobim brušenjem. Ko doseže obdelovanec določeno višino, začne delovati merilno tipalo, ki otipava obdelovanec in ga izmeri vselej, kadar je miza v skrajnem desnem položaju. Kakor hitro se dejanska mera približa zahtevani, se zmanjšuje velikost pristavljanja brusa, in sicer v več stopnjah tako dolgo, dokler mera ni dosežena. Za tem se stroj avtomatično odklopi. Slaba stran teh izvedb



Sl. 18. *Stroj za honanje s tolerančnim krmiljenjem (Régie Nationale des Usines Renault, Francija)*

je, da otipavajo samo z eno točko. Zaradi tega se merilna baza lahko s časom prestavi.

Pri do sedaj omenjenih izvedbah se merilne glave nastavljajo s pomočjo končnih meril, kalibrov itd. Kador koli je potrebno brusiti nasade z različnimi tolerancami, se kot izhodiščna mera jemlje izvrtina obdelovanca, v katerem je zasnovan nasad. Na sliki 20 je prikazan brusilni stroj z možnostjo tako imenovanega parnega krmiljenja pri brušenju. Obdelovanec (zunanji premer) se med obdelavo otipava s kapacitivnim tipalom. Merjeni premer se kontinuirano primerja s premerom izvrtine, ki se



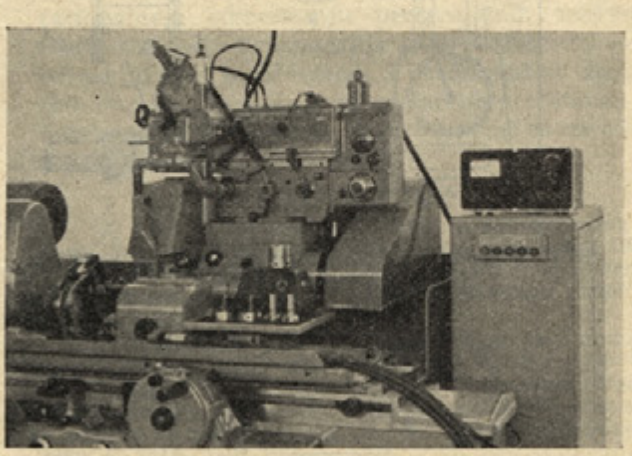
Sl. 19. *Kontaktno tipalo »Tastolut« (R. Blohm, Hamburg)*

otipava z ustrezajočim merilnim tipalom za izvrtine. Na sliki 20 je videti ta merilni trn poleg konjička. Ko je dosežena mera na obdelovancu, se ustavi podajalno gibanje brusa. Natančnost te naprave je zelo velika. Za parno brušenje do 60 mm je podana natančnost do 1 μ.

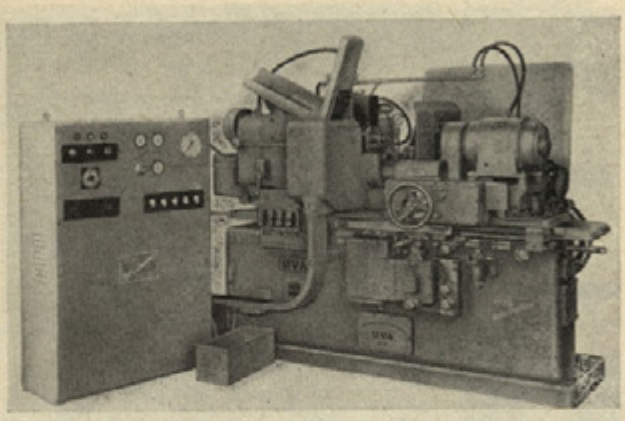
Podobno napravo je vedno pogosteje opažati tudi na brusilnih strojih za notranje brušenje. Načeloma delujejo te krmilne naprave po enakem načelu, kakor je opisano zgoraj. Na sliki 21 je viden brusilni stroj za notranje brušenje, ki ga je izdelala tvrdka UVA, Švedska, in je prirejen za brušenje ležajnih obročev za stožčaste valjčne ležaje. Kot tipalna glava se uporablja Deltameter, ki deluje po pnevmatično-kontaktnem načelu.

S pomočjo kontaktov, ki jih sklapljajo pnevmatični ojačevalnik in relejni stiki, se z obdelovalnega mesta krmili celoten brusilni postopek. Potek brušenja je popolnoma avtomatiziran. S primernimi transportnimi privoznimi in odvoznimi napravami je možno ta stroj vgrajevati v obdelovalne proge.

V mnogih primerih se na brusilnih strojih za notranje brušenje uporablja tolerančni krmilni si-

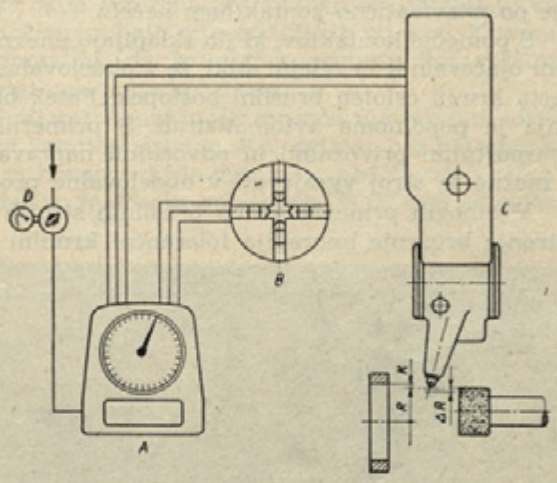


Sl. 20. *Parno tolerančno krmiljenje pri brušenju (Schaudt, Nemčija)*

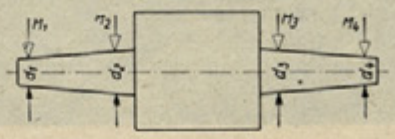


Sl. 21. *Tolerančno krmiljenje na avtomatiziranem brusilnem stroju za notranje brušenje (UVA, Švedska)*

stem, kakršnega prikazuje slika 22. Položaj diamanta za ostrenje brusa se jemlje kot baza za notranjo mero obdelovanca. Ker pa se položaj diamantne konice lahko spremeni, in sicer zaradi temperaturnih vplivov, obrabe diamanta itd., je potrebno po brušenju obdelovanec izmeriti. Merilna glava, ki sestoji iz pnevmatičnega kazalnega instrumenta A in merilnega kalibra B, pri prekoračenju tolerančne oz. varnostne meje korigira položaj diamanta. Tako je omogočena zelo natančna obdelava izvrtin. Krmilna naprava ni draga, ker je razmeroma preprosta. Delavčeva naloga pri tem je, da polaga obdelovance na merilni trn, vse ostalo pa opravlja stroj sam.



Sl. 22. *Tolerančno krmiljenje na brusilnem stroju za notranje brušenje*

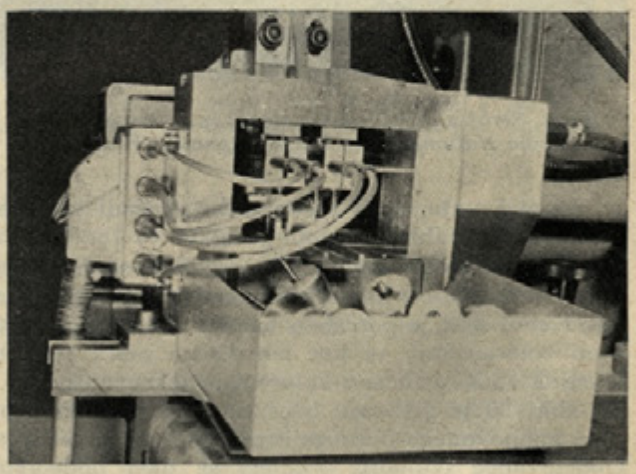


Sl. 23. *Rotor elektromotorja v merilni poziciji*

Za največje zahteve glede natančnosti še ne zadošča, če merimo samo en premer ali eno dimenzijo posameznega obdelovanca. Večkrat je potrebna velika natančnost krožne oblike in koničnost določenega dela na valjastem obdelovancu. Zanimivo rešitev glede tolerančne krmilne avtomatike je pokazala v Parizu tvrdka Herminghausen, Hannover na brezkončnem brusilnem stroju. Obdelovanci so gredi majhnih električnih motorjev, ki so razvidni s slike 23. Merilne glave M 1 ... M 4 so nameščene tako, da merijo premere gredi $d_1 \ldots d_4$, in sicer glede na natančnost premerov in krožne oblike ter na koničnost dela gredi med d_1 in d_2 oziroma d_3 in d_4. Med merjenjem krožne oblike se rotor s pomočjo posebnega tornega pogona počasi vrti. Po dve merilni glavi sta električno sklopljeni tako, da kažeta koničnost gredi, ki je v tem primeru potrebna. Na sliki 24 je ponazorjena tolerančna krmilna naprava s štirimi merilnimi glavami, ki delujejo po induktivnem načelu. Meri se po obdelavi. Kadar koli ena mera ne leži v tolerančnem polju, se stroj odklopi.

Zaradi obrabe brusov, termičnih in elastičnih premikov v sistemu obdelovanec-stroj-orodje je potrebno kdaj pa kdaj korigirati položaj oziroma točko za odklopitev podajanja brusov. Zato je potrebno posebno pristavno gonilo, ki omogoča postopne prestavitve mize v velikosti 1 μ. Obdelovalne sani z brusi se vodijo v valjčnih vodilih, ker je le tako mogoče doseči natančne korekture velikostnega reda nekaj μ. Na sliki 25 je konstrukcija vodila za obdelovalne brusilne enote, ki so vležajene na kroglicah.

Bistvena za uspeh tolerančne merilne avtomatike je torej med drugim tudi skrbna izvedba pristavnega gonila in posameznih vodilnih elementov pri obdelovalni enoti. Pri tem mora biti dana možnost za pristavitve čimmanjših iznosov. Znane so najrazličnejše konstruktivne izvedbe teh gonil, ki temelje na elektromehaničnih, elektro-hidravličnih in magnetostriktivnih načelih. Te z gotovostjo



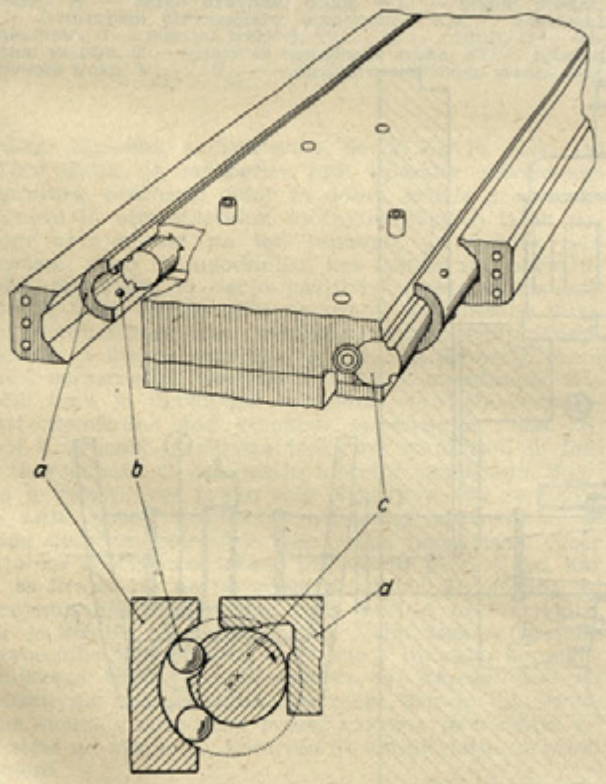
Sl. 24. *Merilna enota za tolerančno krmiljenje brezkoničnega brusilnega stroja (Herminghausen, Nemčija)*

omogočajo konstantno doseganje korekturnih iznosov od 1 μ in celo do 0,5 μ. S pomočjo temperaturne kompenzacije termičnih raztezanj je mogoče dosegati v proizvodnji tolerance med 1 do 3 μ, ne da bi moral delavec pri tem izvajati posebno škrbne prijeme med obdelovalnim postopkom.

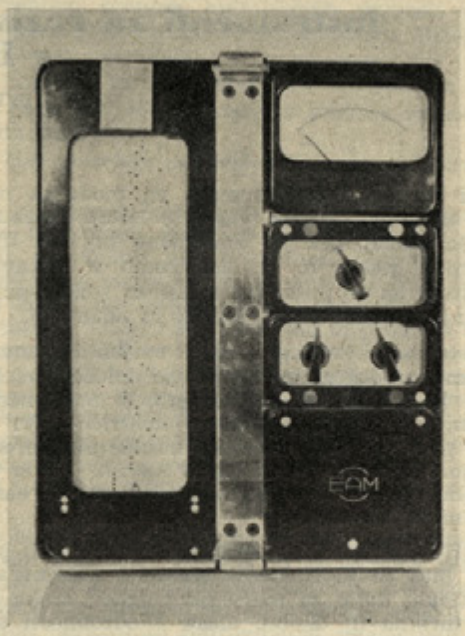
Za kontrolo proizvodnega procesa, to je poteka posameznih mer v tolerančnem področju, je pri avtomatičnem tolerančnem krmiljenju marsikdaj velikega pomena, da poznamo potek teh mer. Francoska tvrdka E. A. M. Clamart (Seine) je izdelala kombinirano krmilno napravo, ki omogoča avtomatično zapisovanje poteka mer (slika 26). Iz tega je razvidna velikost slučajnih kakor tudi smer in velikost sistematičnih napak. Tako je mogoče vplivati na potek proizvodnje z ustreznimi merami, kakor n. pr. na izmenjavo orodij, umerjanje merilne glave, temperaturno kompenzacijo itd.

4. NEKAJ ZAKLJUČNIH MISLI

S temi kratkimi izvajanji o sedanjih možnostih za avtomatiziranje posamične maloserijske proizvodnje smo poskusili pokazati praksi, kakšne možnosti so za rešitev te naloge. Poplava vseh mogočih izvedb na področju avtomatiziranja obdelovalnega postopka je že tako razsežna, da si je težko ustvariti objektivno sodbo o dejanskem razvoju in tako izvajati neogibno potrebne posledice. Te so predvsem investicijskega in ekonomskega pomena. Okoliščina, ki pa jo je treba poudariti vprav pri perspektivnem planiranju v naših obratih, pa je: ta čas ni



Sl. 25. *Vodila brusilnega stroja s krmilno avtomatiko (UVA, Švedska)*



Sl. 26. *Registrirna naprava za kontrolo natančnosti pri proizvodnji*

več mogoče iti mimo razvoja obdelovalne tehnike, ki je v bistvu ključ za vsako progresivno industrializacijo.

Temu vprašanju bo treba slej ko prej posvečati veliko večjo pozornost tudi pri nas, ker dobiva razvoj v tej smeri v visoko industrializiranih državah vse večji poudarek. Moderne metode obdelovalne in regulacijske tehnike so prvi pogoj za uspešno avtomatiziranje naše industrije. Mlademu tehničnemu kadru v šolah in na univerzi ter tudi delavskemu kadru, ki se želi poglobiti v to problematiko, je treba ustvariti vse možnosti za teoretično in eksperimentalno udejstvovanje. Le tako bo mogoče presaditi v naše industrijske obrate večjo dinamiko, zrelejše planiranje in globlje razumevanje, ki so potrebni za intenzivnejši industrijski razvoj. Uspehi, ki jih dosega jugoslovanska industrija, so sicer veliki, vendar ne temeljijo vselej na najbolj racionalnem izkoriščanju proizvajalnih sredstev. Obrtniški način proizvajanja je še razmeroma precej priljubljen in udomačen v predelovalnih kovinskih obratih. Vztrajanje pri zastarelih predstavah je dandanes ne samo nerazumljivo, temveč za narodno gospodarstvo celo škodljivo.

5. LITERATURA

[1] Bericht über den Stand der Automatisierung in den USA Rationalisierungskuratorium, Frankfurt 1957.

[2] Piekenbrink R.: Ein neuer Koordinatenspeicher für Werkzeugmaschinen, Industrie-Anzeiger, 1959/12, S. 1563—1566.

[3] Peklenik, J.: Razvojne smeri v gradnji obdelovalnih strojev, Strojniški vestnik, 1958, št. 3/4, str. 59—64.

[4] Bericht WZL-Aachen: Die spanenden Werkzeugmaschinen auf der 6. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Paris. Industrie-Anzeiger, 1959, S. 1415—1492.

Avtor: dr. ing. Janez Peklenik, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der T. H. Aachen