

UDK 621.9.01

Soočanje uporabnika in izdelovalca odrezovalnih strojev

PAVEL ŠMARČAN

1. UVOD

Soočanje uporabnika in izdelovalca odrezovalnega stroja je v skrajnostih lahko izrazilo negativno ali izrazilo pozitivno. Negativno sodelovanje bi bilo v primeru, ko vsakdo zastopa skrajno svoje interese. To zanesljivo ne vodi nikamor. Skrajno pozitivno sodelovanje pa je lahko le takrat, ko sta uporabnik in izdelovalec ista institucija. V praksi se pojavlja sodelovanje, ki ni skrajno, ampak nekje vmes in je seveda bolj pozitivno. To pa zato, ker razvoj odrezovalnih strojev močno napreduje. Pri tem sodelovanju je seveda močan pospeševalnik konkurenca na tržišču.

Najbolj izraziti zahtevi, ki ju postavlja uporabnik odrezovalnih strojev, sta: kratki obdelovalni čas in velika natančnost. Ti dve zahtevi sta si nasprotni. Izdelovalec stroja se lahko na prvo zahtevo — krajši časi — odzove le tako, da povečuje rezalne hitrosti in prereze odrezka ter z avtomatizacijo skrajšuje pomožne čase (sl. 1). Večji prerez odrezka in večja rezalna hitrost imata za posledico večje odrezovalne sile in moči motorjev. Na te večje obremenitve se lahko izdelovalec stroja odzove le z večjo togostjo in trdnostjo elementov stroja.

Zahteva uporabnika po večji natančnosti pa tudi prisiljuje izdelovalca k večji togosti in trdnosti. Po obeh linijah se torej pojavlja ista zahteva pri izdelovalcu, kar seveda ni preprost problem.

Z večjo togostjo in trdnostjo naraščata tudi teža in cena stroja, kar je za uporabnika negativno. Vendar je lahko na koncu zaradi večje produktivnosti cena izdelka manjša in je s tem uporabnik zadovoljen.

Poglejmo še, kaj prinaša avtomatizacija, ki jo vključuje izdelovalec stroja (sl. 1). Avtomatizacija stroja na vsak način povečuje še dodatno ceno stroja. Izredno pa skrajšuje pomožne čase in s tem povečuje tisti čas, ko stroj koristno odrezuje. Časovni izkoristek stroja se lahko povečuje od okoli 20 % pri ročnem na okoli 80 % pri avtomatičnem krmljenju.

Imamo pa še avtomatizacijo, ki jo vključuje uporabnik odrezovalnega stroja. To je avtomatizacija priprave proizvodnje, ki seveda tudi vpliva na skrajšanje pomožnih časov pri pripravi proizvodnje in na odrezovalnem stroju.

Vse skupaj mora voditi k večji natančnosti in manjši ceni izdelka, ker bi sicer bilo uvajanje avtomatizacije nesmiselno.

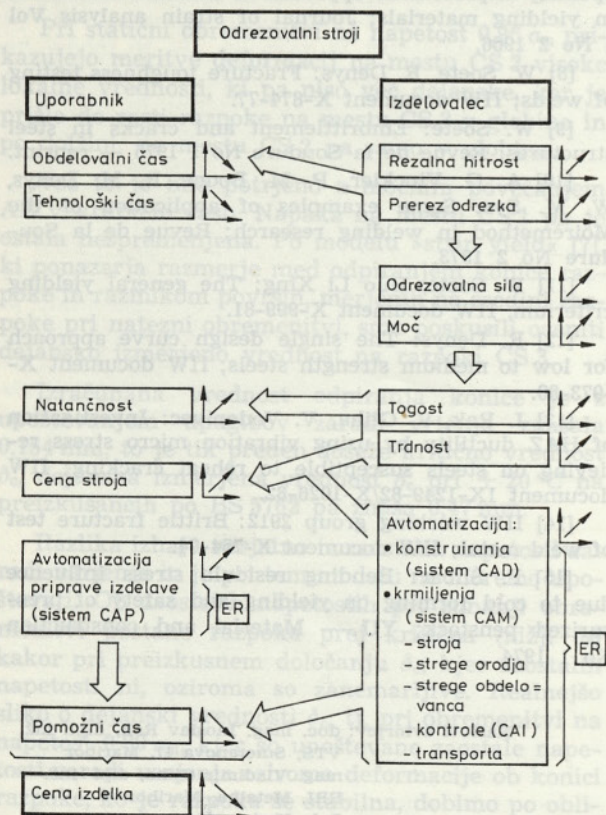
2. OBDELOVALNI ČAS

Na skrajšanje obdelovalnega časa, in to predvsem tistega, ko se pojavlja dejansko odrezovanje materiala, vpliva predvsem velika rezalna hitrost. Dodatno skrajšuje obdelovalni čas tudi velik prerez odrezka. Pri končni ali fini obdelavi je seveda vpliv prereza odrezka manjši. Velike rezalne hitrosti omogočajo današnji zelo kakovostni, odporni in vzdržljivi rezalni materiali. Razvoj na tem področju je bil zadnja leta izredno velik. Podrobneje pa tega tukaj ne bi obravnavali.

Povečana rezalna hitrost in večji prerez odrezka vplivata tudi na krajše tehnološke čase. Zaradi večje globine reza ni treba orodju tolikokrat ponavljati delovne podajalne poti. Zaradi večje časovne vzdržljivosti orodja tega ni treba prepogosto zamenjevati. Je pa res, da je ta vpliv na zmanjšanje pomožnega časa manjši, od vpliva avtomatizacije, ki jo bomo pozneje obravnavali.

3. REZALNE SILE IN MOČI

Povečan prerez odrezka zveča odrezovalno silo in potrebno moč motorjev za glavno in podajalno gibanje. Povečanje rezalnih hitrosti pa še dodatno povečuje moč motorjev. Ta razvoj je torej prispeval, da so sedaj vsi sestavni deli odrezovalnega stroja bistveno močnejše obremenjeni, kakor pred 20 ali 30 leti.



Slika 1

Ker se pa vsa energija, dovedena z motorji, spremeni v toploto, ne narašča le mehanska obremenitev, ampak tudi toplotna. S temi dejstvi se mora konstrukter odrezovalnega stroja sprijazniti in spoprijeti, da bi izvedel zadovoljivo konstrukcijo.

4. NATANČNOST

Zahteva po natančnosti obdelovancev je vedno večja. Tolerance mer se ožijo in kakovost površin povečuje. Večja natančnost obdelovanca je mogoča le, če se odrezovalni stroj čim manj deformira pod vplivom obremenitev med obdelavo. Kakor je bilo že omenjeno, pa obremenitve zaradi večjih sil in moči naraščajo. Manjše deformacije odrezovalnega stroja lahko dosegamo le z večjo togostjo. Večja togost je torej potencirano zahtevana zaradi večjih obremenitev in večjih natančnosti.

5. TOGOST IN TRDNOST

Obremenitve vreten, vlečajanj, vodil, ogrodij in okrovov odrezovalnih strojev se nenehno povečujejo. Zaradi natančnosti pa smejo biti deformacije le neznatne. Tem zahtevam lahko izdelovalci odrezovalnih strojev zadostijo le z večjo togostjo. Togost lahko obravnavamo statično in dinamično. Statična togost je poenostavljen primer dejanskega dogajanja med obratovanjem. Pojavlja se le, ko odrezovalni stroj ne dela. Na prvi pogled pogoji niso realni. Vendar je statična togost obširno obdelana in rabi kot osnova za ugotavljanje kakovosti odrezovalnega stroja. Ker se rezalne hitrosti nenehno povečujejo, naraščajo tudi problemi okoli dinamične togosti. Zato okoli dinamične togosti potekajo obširne raziskave in na voljo so mnogi podatki za konstrukterje in uporabnike.

Poleg togostnih naraščajo seveda tudi trdnostni problemi elementov in sklopov odrezovalnih strojev. Odrezovalne sile in momenti pa tudi naraščajo, kakor smo videli. Vendar menim, da so trdnostni problemi lažje rešljivi od togostnih.

Vzemimo skupino materialov — jeklo. Trdnostno je izbor jekel izredno širok. Marsikak element lahko trdnostno rešimo, če vzamemo trdnostno boljše jeklo, ne da bi spremenili dimenzije. Ker pa ima celotna skupina jekel le en modul elastičnosti, ki je odločilen za togost (predvsem statično), nimamo bolj ali manj togega jekla. Če hočemo spremeniti togost, moramo spremeniti dimenzije. Seveda lahko izberemo materialno skupino z drugim modulom elastičnosti. Izbira je pa mnogo manjša, kakor pri trdnosti.

6. CENA STROJA

Vse do sedaj omenjene zahteve uporabnika odrezovalnega stroja in vsi dosedaj omenjeni prijemi izdelovalca odrezovalnega stroja, da zadosti zahtevam uporabnika, nujno pripeljejo do zvišanja cene stroja. Ker naj bi se cena izdelka na tem dražjem

stroju ne povečala, je izhod edino v povečani produktivnosti. Za povečanje produktivnosti pa to, kar smo do sedaj omenjali, navadno ne zadostuje. Problem lahko rešujemo le s povečano avtomatizacijo. Avtomatizacija na odrezovalnem stroju seveda zvišuje ceno stroja. Mora pa biti dvig produktivnosti tolikšen, da se cena izdelka znižuje.

7. AVTOMATIZACIJA

Avtomatizacijo lahko danes zelo široko vključujemo okoli odrezovalnega stroja in na njem. Povsod je več ali manj neposredno ali posredno vključen računalnik.

Začnemo lahko že pri projektiranju, snovanju in konstruiranju odrezovalnega stroja. Na voljo so obširne datoteke risb, sklopov in izvedb, ki jih je mogoče na podlagi različnih predpostavk poklicati na konstrukcijske zaslone. Tukaj je mogoče spreminjati, prilagojevati, trdnostno in togostno preračunavati in optimirati, simulirati obdelave ter časovno in finančno optimirati. Tako dobljena konstrukcija odrezovalnega stroja je seveda mnogo bližje idealni izvedbi prototipa ali unikata, kakor pa po starem »peš postopku«, ki je še marsikje v veljavi. Zato so potrebni računalniki, programi in konstrukterji, ki znajo s tem upravljati. Seveda je vedno bolj nujno, da pridemo hitreje in ceneje do dobre konstrukcije in ostanemo konkurenčni.

Naslednja naloga izdelovalca odrezovalnega stroja je vključevanje avtomatizacije okoli odrezovalnega stroja in na njem. Že desetletja poznamo avtomatizacijo krmiljenja procesa obdelave, avtomatizacijo strege z orodjem in z obdelovancem (stružilni avtomati) in avtomatizacijo transporta obdelovancev od stroja do stroja (obdelovalne proge). Krmiljenje je bilo v glavnem izvedeno mehanično, električno (jaki tok), hidravlično in pnevmatično. Z uporabo numeričnega krmiljenja in računalnika v te namene se je avtomatizacija na odrezovalnem stroju dvignila do neslutnih višin. Ta razvoj pa še zdaleč ni končan.

S tem načinom krmiljenja so omogočeni in se vedno bolj uveljavljajo različne sprotne kontrole poteka obdelovalnega procesa. Vedno več imamo kontrol natančnosti in kakovosti obdelovanca, kontrol obremenitev, temperatur, obrab in drugih parametrov med obdelavo. Zaradi te sprotne kontrole je mogoče proces obdelave sproti optimirati časovno in/ali finančno. Take kontrole včasih brez človeka sploh niso bile mogoče. Sprotnega optimiranja pa tudi človek ni zmoget. To zmore le v proces vključen računalnik. Seveda so tudi tu še neslutene možnosti razvoja in proizvodne tovarne brez človeka niso več utopija.

Avtomatizacija krmiljenja izredno znižuje pomožne obdelovalne čase. Vendar vedno tudi ni dovolj znižati ceno izdelka. Tudi uporabnik obdelovalnega stroja mora z vključevanjem svoje avtomatizacije prispevati določen delež. Tu je mišljena av-

tomatizacija priprave proizvodnje. Z uporabo računalnika je mogoče izdelati delovne načrte, obdelovalne programe, terminske načrte, pretok materiala, obremenitev strojev, obdelovalne stroške ipd. Pripravo proizvodnje je mogoče tako skrajšati in optimirati. To seveda neposredno in posredno vpliva na skrajšanje pomožnih časov.

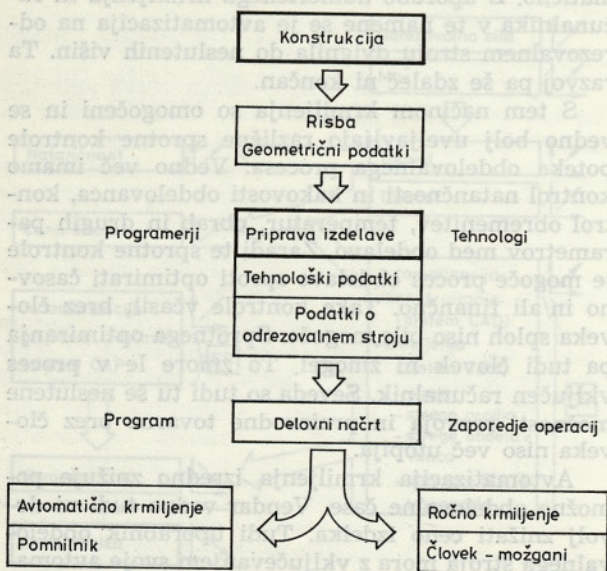
8. CENA IZDELKA

Celotno omenjeno sodelovanje med uporabnikom in izdelovalcem odrezovalnega stroja se mora nagibati k temu, da se cena izdelka pri porastu kakovosti relativno znižuje. Iz tega izhaja, da mora biti med seboj usklajenih mnogo dejavnikov in da že en neupoštevani faktor lahko podre ves sistem, zniža produktivnost in zviša ceno. Kdor tega ne upošteva je hitro izključen iz dandanašnjega brezobzirnega konkurenčnega boja.

9. RAZVOJ ODREZOVALNIH AVTOMATOV

Iz zgoščenega pregleda sodelovanja uporabnika in izdelovalca odrezovalnega stroja in vpliva na razvoj, naj nekoliko podrobneje obdelam razvoj avtomatizacije krmiljenja odrezovalnega stroja. Obenem bi rad napravil primerjavo utečenih pojmov v obdelovalni tehnologiji z novimi pojmi, ki so prišli od računalnikov v tehnologijo obdelave. Ti novi pojmi so ponekod v začetku naredili precej zmede in povzročili določen odpor pri uvajanju. Nekateri so mislili, da imamo opraviti s povsem novimi dejavnostmi, ki jih do takrat nihče ni opravljal.

Vajeni smo, da pride iz konstrukcije, razvoja, projektive, kakor se pač ti oddelki imenujejo, risba obdelovanca v pripravo proizvodnje (sl. 2). Dandanes ni več nujno, da pride ta risba v klasični obliki na papirju. Risbo je mogoče arhivirati tudi v računalniku in jo priprava proizvodnje lahko dobi na računalniški zaslon. To je zelo praktično pred-



Slika 2

vsem tam, kjer so že uvedli računalnik kot pomoč pri konstruiranju. Zato tudi pogosto govorimo namesto o risbi o geometričnih podatkih, ki pa niso popolnoma enaki z izrazom risba. Na risbi imamo poleg geometričnih podatkov (oblika, mere, toleranice, kakovost) še podatke o materialu, termični obdelavi, površinski zaščiti ipd.

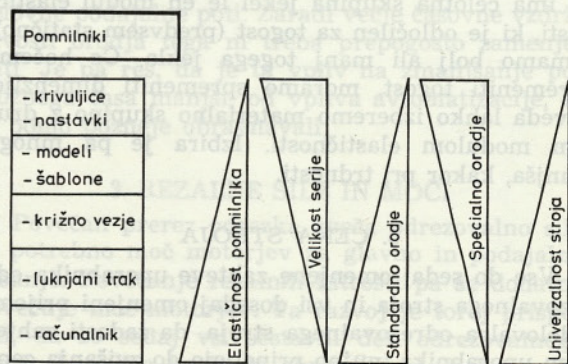
Tehnologi v pripravi proizvodnje naredijo po risbi delovni načrt, zaporedje operacij z vsemi podatki o režimih in orodjih. Na voljo morajo imeti kataloge, banko o tehnoloških podatkih in orodjih ter podatke o odrezovalnem stroju, na katerem bo obdelava potekala. Z uvajanjem numerično krmiljenih strojev (mogoče že nekoliko prej) se je začel pojavljati izraz program, namesto delovni načrt, in za tistega, ki ga je izdelal pojem programer. Ni pa nikakor nujno, da ima programer pri izdelavi programa opraviti z računalnikom. Večino programov dandanes še vedno izdelujemo po ročnem programiranju — klasično.

Mogoče je pa izdelati obdelovalni program tudi z računalnikom. Programer, ki mora biti na vsak način dober tehnolog, mora v tem primeru biti več tudi za delo z računalnikom.

Pri izdelavi programa je treba poleg tehnologije upoštevati tudi, kako bo odrezovalni stroj krmiljen. Grobo razlikujemo dva načina: avtomatično ali ročno krmiljenje. Pri avtomatičnem krmiljenju moramo pri izdelavi programa upoštevati, kakšen pomnilnik je na stroju, ob stroju, ali skupen pomnilnik več strojev. Pri ročnem krmiljenju pa je treba pripraviti program za človeka, za njegov pomnilnik (možgani).

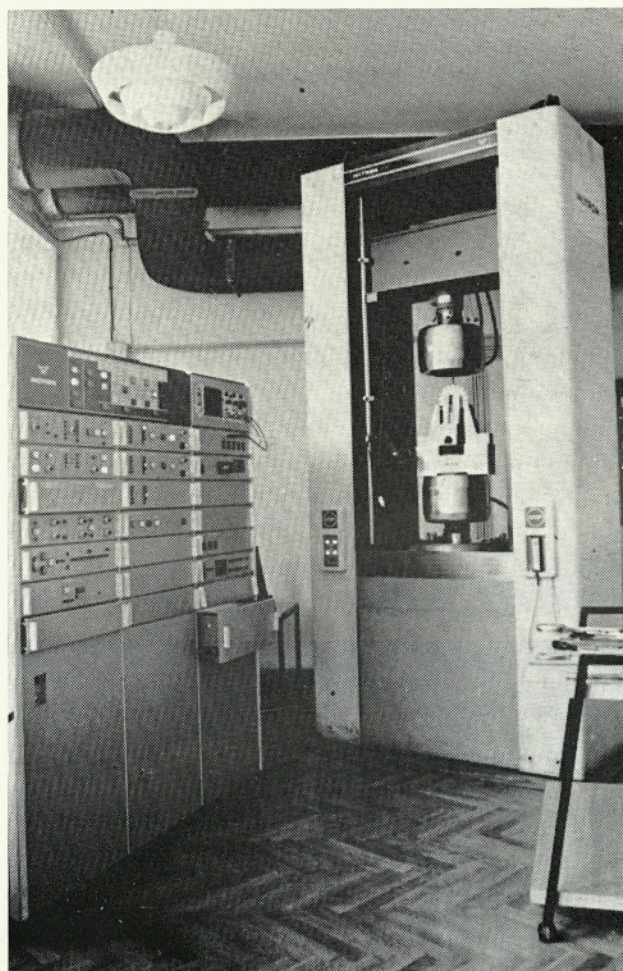
Kakor vidimo ni v celotnem poteku nič novega, le nekaj novih izrazov smo uvedli. Ti izrazi niti niso boljši, ker tudi vedno povsem ne zadenejo celotnega pomena. So se pa mednarodno močno utrdili in mnogo prispevajo k lažjemu strokovnemu sporazumevanju.

Ogledali bi si še nekaj značilnih pomnilnikov odrezovalnih avtomatov (sl. 3). Zaporedje pomnilnikov: krivuljice in nastavki, šablone in modeli, križna vezja, luknjani trak, računalnik. Razvrščeni so približno po starosti nastanka. Najstarejši so pomnilniki s krivuljicami in nastavki. Še dandanes

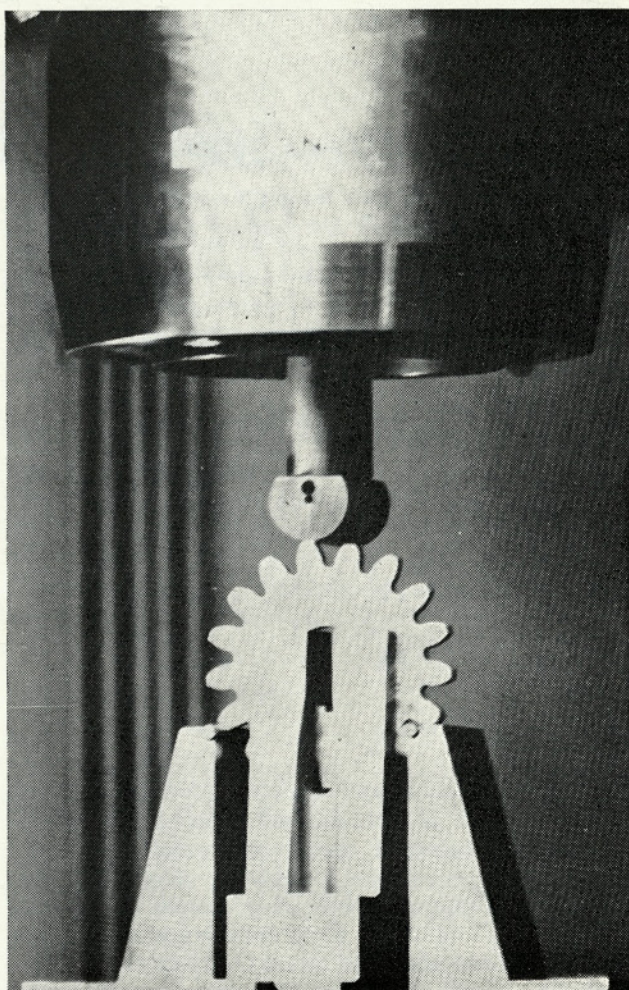


Slika 3

25 let
VISOKA TEHNIŠKA ŠOLA
MARIBOR
VTO STROJNIŠTVO

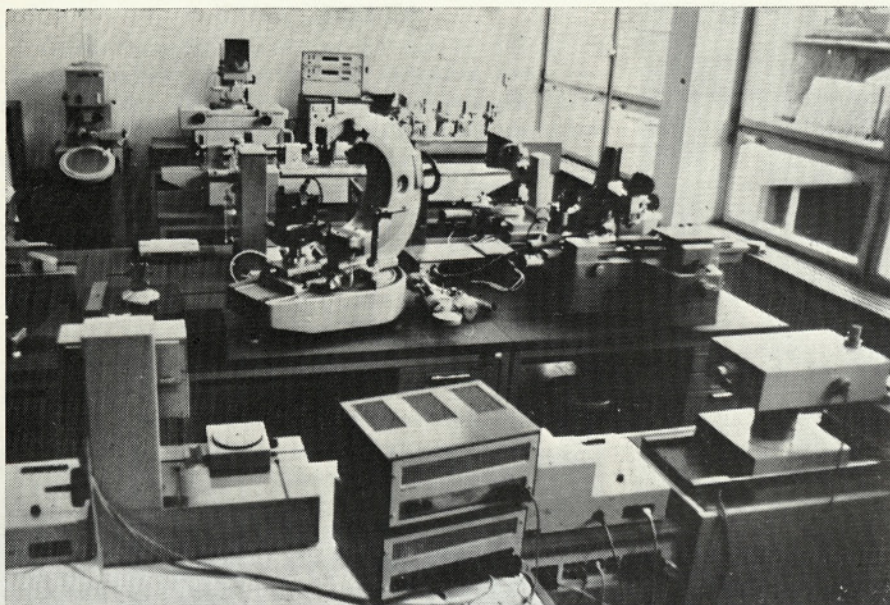


Računalniško številsko krmiljena naprava za trdnostne preizkuse INSTRON

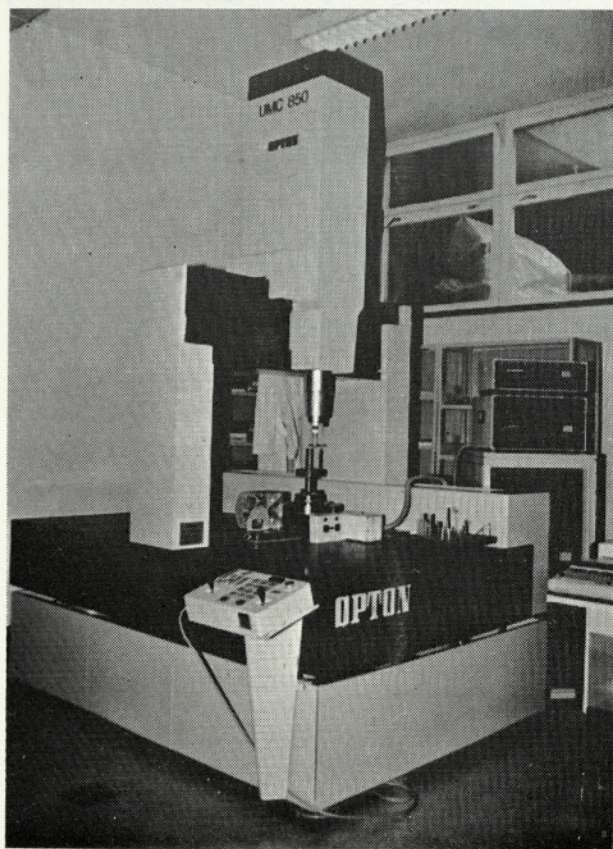


Merjenje deformacij zob na zobniku (detajl)

25 let
VISOKA TEHNIŠKA ŠOLA
MARIBOR
VTO STROJNIŠTVO



Laboratorij za tehnološke meritve



*Številsko krmiljeni trikoordinatni merilni stroj
OPTON UMC 850*

se veliko uporabljajo pri strožilnih avtomatih. Šablone in modele še tudi veliko uporabljamo pri poobličnih avtomatih. Pred 30 leti smo poznali praktično le prvi dve vrsti pomnilnikov. Potem so se začele pojavljati razne različice križnega vezja, kar je prišlo že od računalnikov. Obenem sta se pojavila tudi izraza program in programer. Luknjan trak se je pojavil hkrati z numeričnim krmiljenjem, ker je bil od vseh vrst prenosnih pomnilnikov najbolj primeren za razmere v delavnicah. V numeričnem krmilju se je začel takoj tudi uveljavljati računalnik kot predelovalec informacij in kot notranji pomnilnik.

Prikazani razpored pomnilnikov ni le razvojno pogojen, ampak ima še nekatere lastnosti. Elastičnost pomnilnika je dana s hitrostjo zamenjave informacij s pomnilnikom ali v njem. Elastičnost zelo naraste od krivuljnega do računalniškega pomnilnika. Ekonomična velikost serije pa se manjša od krivuljnega do računalniškega pomnilnika. Možnost za uporabo standardnega orodja narašča, nujnost za uporabo specialnega orodja pa se zmanjšuje od krivuljnega do računalniškega pomnilnika.

UDK 621.9.012:621.9.014:621.025

Načrtovanje preizkusov in izračun eksponentov za optimiranje odrezovanja

ADOLF ŠOSTAR — FRANCI ČUŠ

Načrtovanje in izvajanje preizkusov v sodobnih razmerah raziskovalnega dela moramo opremiti z ustrežno metodo, ker je uporaba običajnih matematičnih teorij povezana z velikimi stroški. Še posebej sta pomembna pravilna izbira preizkusov in izračun eksponentov pri oblikovanju bank tehnoloških podatkov na področju odrezovanja, kjer je treba večje število vplivnih veličin pri spremenljivih razmerah ustrezno razvrstiti in vrednotiti.

V uporabi so naslednje metode: metoda latinskega kuba, BOX-Wilsonova gradijentna metoda, metoda simpleks ipd.

V predloženem sestavku želimo na podlagi metode latinskega kuba predstaviti postopek za izračun eksponentov in drugih veličin preizkusov pri optimiranju veličin odrezovanja, npr. rezalne hitrosti, podajanje in globine rezanja.

Za izhodišče bo rabila Taylorjeva formulacija izračuna časa obstojnosti rezalnega roba orodja T v minutah oz. izračuna rezalne hitrosti v_c v m/min (po ISO 3658) pri struženju:

$$T = C_T \cdot v_c^{\frac{l}{m}} \cdot a^{\frac{x}{m}} \cdot f^{\frac{y}{m}} \quad (1)$$

$$v_c = C_y \cdot T^G \cdot a^F \cdot f^E \quad (2)$$

kjer pomenijo:

f — podajanje v mm/vrt,

a — globino rezanja v mm,

C_T in C_y — konstanti.

Univerzalnost odrezovalnega stroja narašča od krivuljnega do računalniškega pomnilnika. Če ta dejstva upoštevamo pri izračunu cene izdelka, ugotovimo, da nobena vrsta pomnilnika še ni zastarela. Tudi ročno krmiljenje bo še dolgo imelo ekonomsko upravičenost. Pomembno pa je, da pri nakupu opreme skrbno izbiramo in računamo, kaj je najbolj primerno.

10. SKLEP

Podan je zgoščen orientacijski pregled medsebojnega vpliva uporabnika in izdelovalca odrezovalnega stroja, možnosti in želje, ki jih morata uskladiti. Podana je primerjava nekaterih novih izrazov, ki so prišli od računalnika, s starejšimi utečenimi izrazi. Nadalje je podan kratek razvoj pomnilnikov in njihov upravičen obstoj in uporabnost. To bi lahko bilo ogrodje, okoli katerega bi bilo mogoče podrobneje obdelati posamezne elemente.

Avtorjev naslov: dr. Pavel Šmarčan, dipl. inž.
redni profesor, VTO Strojništvo
VTS Maribor,
Smetanova ulica 17

Eksponente $\frac{l}{m}, \frac{x}{m}, \frac{y}{m}, G, F, E$, ki določajo vplive rezalnega materiala, materiala obdelovanja, obrabe, specifičnih rezalnih sil itd., ovrednotimo na podlagi rezultatov praktičnih preizkusov.

Enačbo (1) logaritmiramo in dobimo nov izraz:

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 \quad (3)$$

pri čemer pomenijo

$$\begin{aligned} Y &= \ln T & B_0 &= \frac{1}{m} \ln C_T \\ x_1 &= \ln v_c & B_1 &= -\frac{1}{m} \\ x_2 &= \ln a & B_2 &= -\frac{x}{m} \\ x_3 &= \ln f & B_3 &= -\frac{y}{m} \end{aligned} \quad (4)$$

Iz vrednoteni rezultati preizkusov rabijo za izračun regresijskih koeficientov b_0, b_1, b_2 in b_3 , ki pomenijo teoretično oceno vrednosti koeficientov B_i . Veličine b_i določimo z metodo najmanjših kvadratov po domnevi, da dosežemo najugodnejše približevanje aproksimirajoče funkcije $Y_2 = f(x)$ z rezultati preizkusov takrat, ko znaša vsota kvadratov odstopkov izračunanih vrednosti $f(x_1) \dots f(x_n)$ od preizkušanih po izrazu