

UDK 621.923—50

Razvoj krmilnega sistema za notranje brušenje

F. ROETHEL, J. PEKLENIK, I. GRABEC

1. Uvod

Brušenje je proces, katerega glavni namen je izdelati na obdelovancu kvalitetno površino. Kvaliteto površine lahko zadovoljivo popišemo s statističnimi metodami, izdelanimi v zadnjem desetletju [1]. Transformacija vhodne v izhodno površino, ki poteka med brusilnim procesom, lahko rabi za karakterizacijo procesa samega s transfernimi funkcijami [2].

Med različnimi dejavniki, ki vplivajo na brusilni proces, je pomembna sila, s katero pritiska brus na obdelovanec. Študij vpliva sile na rezalni proces omogoča, da lahko napovemo okoliščine, pri katerih dobimo v najkrajšem času ali na najcenejši način zaželeno transformacijo površine. Zaradi najkjučnih vplivov v procesu je treba za teoretično delo opraviti vrsto preskusov. Cilj takšnega dela je raziskati vpliv sile na brusilni proces. Če hočemo dobiti uporabne rezultate, moramo poskrbeti, da je sila med procesom dobro določena kljub vsem motnjam, ki se lahko v sistemu pojavljajo. To lahko dosežemo s primernim krmiljenjem sile.

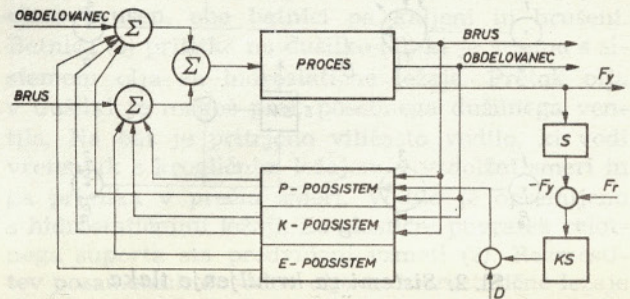
V pričujočem sestavku obravnavamo krmiljenje sile s konstantno poprečno vrednostjo s hidravličnim krmilnim sistemom. V prvem delu obravnavamo samo načelo gradnje krmilnega sistema, v drugem pa njegove lastnosti.

2. Zamisel krmilnega sistema

Na sliki 1 je shematično narisan obdelovalni sistem, v katerega je vključeno krmiljenje konstantne sile. Osnovne enote sistema so: obdelovalni stroj, brusilni proces, senzor sile z ojačevalnikom signala in krmilni sistem. Krmilni sistem krmili silo v skladu z razliko signalov iz sensorja in reference.

V naših raziskavah smo uporabljali stroj za notranje brušenje Bryant 16-C-16. Zanj smo razvili hidravlični krmilni sistem za krmiljenje sile. S tem krmilnim sistemom smo lahko primikali in odmikali suport brusa k obdelovancu ali od njega. V fazi brušenja pa smo z njim krmilili silo.

Primično silo je mogoče regulirati od 0 do 1000 N. Pri konstrukciji smo upoštevali težnjo po dobri regulaciji čim manjše sile, ki je potrebna



Sl. 1. Obdelovalni sistem za notranje brušenje s krmiljeno konstantno silo

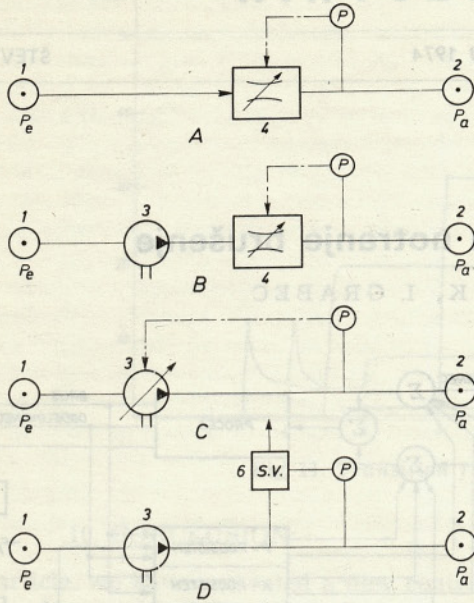
- S — senzor-ojačevalnik
- KS — krmilni sistem
- F_y — normalna sila brušenja
- F_r — referenčna sila
- D — motnje

v zadnji fazi iziskrenja. V nam dostopni literaturi [3 do 7 in 17] nismo našli opisanega sistema, ki bi delal v zahtevanih okoliščinah. Za hidravlični sistem smo se odločili zaradi ugodnih možnosti krmiljenja s hidravliko in zato, ker je na stroju tudi ostalo krmiljenje izvedeno s hidravliko. Vsi ležaji, ki bi lahko s trenjem zavirali krmiljenje, so hidrostatični. Hidravlična naprava, ki tišči brus k obdelovancu, je izdelana brez tesnil zato, da se zmanjša trenje na minimum. Osnovna zamisel je uporabiti silo, ki jo izvaja rezultirajoči hidravlični tlak na bat v delovnem valju.

3. Krmiljenje tlaka v hidravliki

Za brušenje pod danimi pogoji smo si morali izbrati čim preprostejši in čim cenejši sistem za regulacijo tlaka. Pri tem imamo na voljo štiri možnosti [3] (slika 2).

Prvi sistem (A) ima na vходу rezervoar (1), ki daje zaradi geodetskih pogojev tlak p_e . Tekočina se pretaka prek dušilnega ventila (4) v porabnik (2), ki naj ima tlak p_a . Dušilni ventil je voden prek kontrolnika tlaka P. Ta sistem za nas ni uporaben, saj bi terjal glede na potrebne tlake prevelike višinsko razliko in stalno višino gladine v rezer-



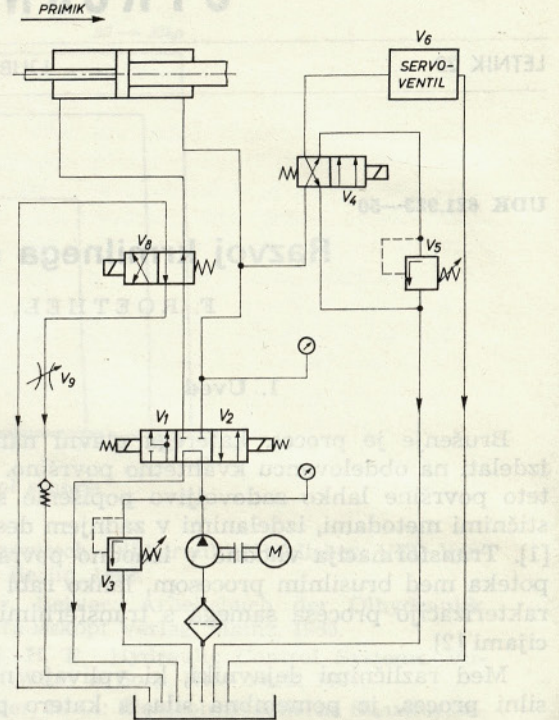
Sl. 2. Sistemi za krmiljenje tlaka

voarju (1). Drugi sistem (B) ima vgrajeno črpalko (3), ki daje dodatni ali osnovni tlak, če nimamo začetnega tlaka p_e . Naš porabnik pa porabi samo toliko olja, kolikor ga gre zaradi netesnosti v izgubo. Ker je gib bata minimalen, povzroča to minimalen pretok. Zaradi tega bi bil vpliv motenj na silo mnogo večji, kakor pa možnost krmiljenja tlaka v sistemu. Tretji sistem (C) upošteva možnost krmiljenja črpalke. Črpalka, ki jo lahko krmilimo, pa je draga in je v domači izdelavi nimamo. Poleg tega jo je težko krmiliti pri majhnih pretokih, ki so potrebni. Dana je možnost, da celotni podajalni sistem vpliva med obratovanjem nazaj, kar onemogoča kontrolirano krmiljenje. Četrta možnost (D) predvideva odtok olja skozi dušilni ventil (6). Ta dopušča pretok večje količine olja skozi sistem. S tem črpalki odvzamemo možnost obratovanja okrog ničelnega pretoka. Lahko si izberemo dovolj velik pretok, ki zagotavlja zadovoljivo količino olja za premike v celotnem sistemu. Odstranjeni so vplivi vztrajnostne mase črpalke, ki bi terjala velike stopnje moči pri celotnem krmiljenju. Zato smo se odločili za četrti sistem, ki je reguliran z ventilom.

4. Hidravlični sistem za krmiljenje

Hidravlični krmilni sistem je prikazan na sliki 3. Ta sistem povzroča silo na suport brusa s hidravličnim diferencialnim batom. Tlak olja v delovnem valju krmilimo s sistemom ventilov, ki ga vodita dva krmilna sistema:

1. diskretni, ki skrbi za vodenje delovnih faz in
2. analogni, ki skrbi za krmiljenje sile med posamezno fazo dela.



Sl. 3. Hidravlični sistem za krmiljenje

Analogni signal, ki je vodilna veličina v hidravličnem sistemu, dobimo z okrepitevijo razlike referenčne napetosti in napetosti iz dinamometra [16]. Faze dela, ki jih ročno ali avtomatično diskretno krmilimo s sklopom stikal, so naslednje:

1. faza primika suporta,
2. faza brušenja,
3. faza prehoda z brušenja na iziskrenje,
4. faza iziskrenja,
5. gib suporta nazaj.

Takšen tok delovanja smo dosegli takole: črpalka črpa olje prek filtra in ga tlači v razvodni ventil $V_1(V_2)$. V stranski veji sta varnostni ventil V_3 in merilnik tlaka. Merilnik je navaden manometer na Bourdonovo cev. V prvi fazi odpremo ventil V_1 . Dovod olja je prost na obe strani bata in naprej prek ventila V_4 na nastavitveni ventil V_5 . Ventil V_5 vzdržuje tak tlak v sistemu, da se bat s primerno hitrostjo premakne naprej in pristavi suport. Končno stikalo omeji gib tako, da prek krmilnega sistema odpre ventil V_4 . S tem se pričinja druga faza — to je brušenje. Hkrati začne regulacijski ventil V_6 na izpustu regulirati tlak. Servoventil V_6 je analogno voden prek vodilne veličine in krmilnega sistema. Po končani fazi brušenja, ki ga izklopi merilna naprava za izdelavo na mero ali pa časovni rele, pridemo v zelo kratko prehodno fazo. Ta je pomembna zato, ker hidravlični del konstrukcije zaostaja za električnim delom. Električni dajalnik

z ojačevalnikom namreč že preklopi območje tlaka olja, v sistemu pa ta ne pade v hipu. Zato povzročimo najprej padec tlaka, nato pa se preklopi merilno območje in začne se faza iziskrenja. Po končani četrti fazi signal preklopi ventil V_4 , izklopi se regulacijski krog sistema (V_6) in priklopi ventil V_2 ter ventil V_8 . Pri tem smo dobili tlak pred batom v velikosti tlaka, ki ga vzdržuje ventil V_5 . Ta daje tlak za pomik nazaj. Zadnja stran bata, ki je bila prej namenjena za primik, je sedaj povezana prek ventila V_8 in izpusta, ki je dušen z dušilko V_9 . S to dušilko lahko krmilimo primerno hitrost za vračanje bata v prvotno mirovno lego. Končno stikalo K_2 izklopi ves delovni proces.

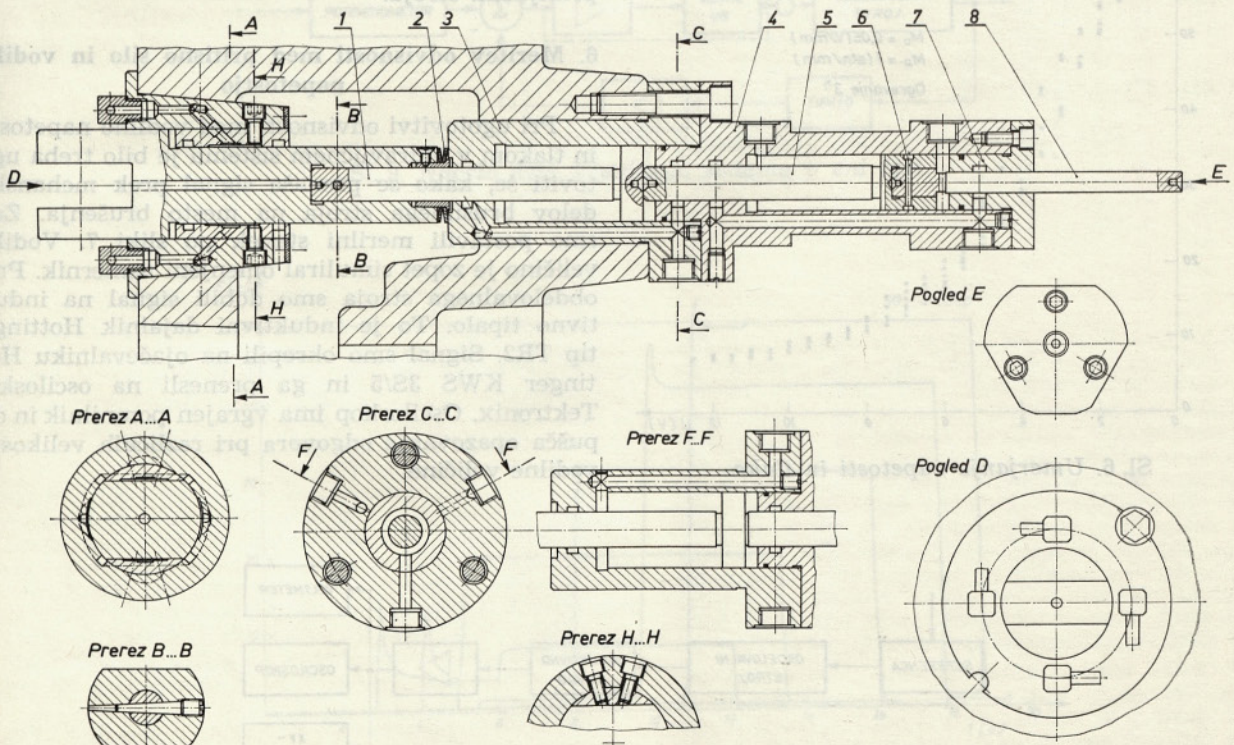
Hidravlični del omogoča ne samo različen tlak med obdelavo, temveč tudi primik suporta k obdelovancu in povraten gib. Za povzročanje tlaka smo izbrali vijajčno črpalko, ki daje tlak za majhnim lastnim nihanjem. Tako smo skušali čim bolj odpraviti nezaželene vibracije. Krmilni ventili imajo električni pogon. Zaradi tega lahko hitro in obenem poceni obratujejo.

Delovni valj ima diferencialni bat (slika 4). Z njim dosežemo mehko obratovanje pri gibih naprej in nazaj in majhno delovno ploskev.

Majhna delovna ploskev terja zopet večjo razliko v tlakih za različno primično silo. S tem dose-

žemo natančnejše definiranje sile. Na valju in batu ni nobenih tesnil. Glede na izvedbo valja tesnila niso potrebna. Na valju so predvideni posebni kanali za olje, ki lahko prodre skozi netesna mesta.

Konstrukcija valja je razvidna s slike 4. Okrovje delovnega valja (4) je pokrito s pokrovom (7), ki je obenem vodilo batnice (8), na katero lahko montiramo končna stikala. Bat je vezan na batnico s sornikom (6). Na obeh straneh bata je izdelana diferencirana batnica, ki omogoča predvsem močno silo za primik vretenja. Olje dovajamo v delovni valj hkrati na obeh straneh. Da ne gre preveč olja v izgubo, in zaradi natančnosti, je bil valj (4) precizno brušen, obe batnici pa kaljeni in brušeni. Batnica (5) pritiska na dušilko (3), ki je vezana s sistemom olja za hidrostatične ležaje. Pretok olja v dušilki je mogoč prek posebnega dušilnega ventila. Na bat je pritrjeno viličasto vodilo, ki vodi vretenjak s krogličnim ležajem v vzdolžni smeri in ga primika v prečni smeri. Vodilo je opremljeno s hidrostatičnimi ležaji. Za elastični povratek celotnega suporta sta predvideni vzmeti (2). Razmestitev posameznih dovodov olja za hidrostatične ležaje je posebej razvidna na sliki v pogledu D. Prerez F...F kaže dovod in odvod olja v dušilki, ki je bila že opisana [15].

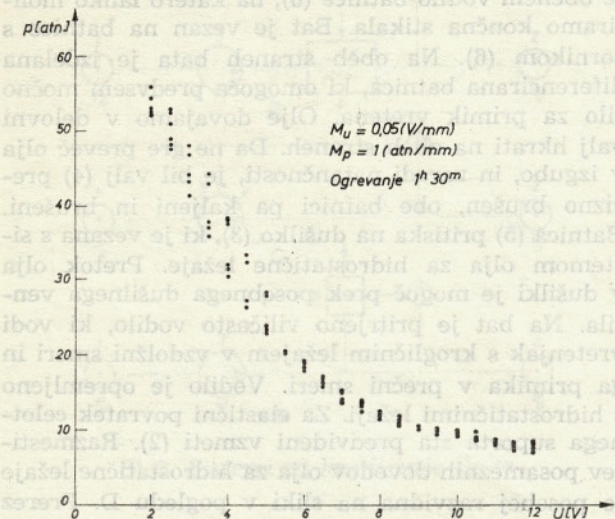


Slika 4

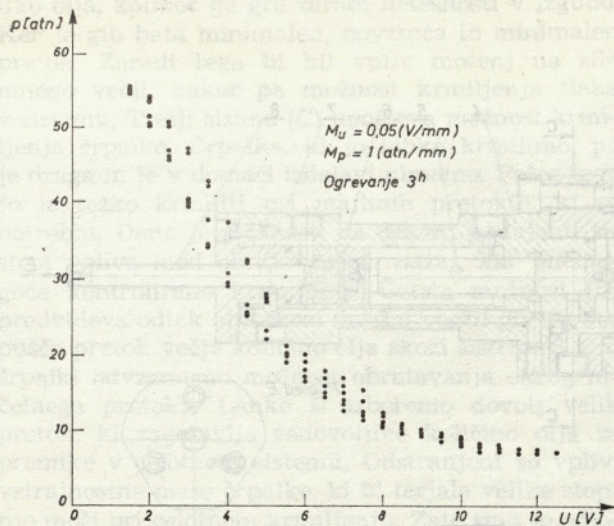
5. Meritev odvisnosti med vodilno napetostjo in tlakom v sistemu

Po izdelavi smo preskusili obdelovalni sistem z vgrajeno hidravliko za primično silo.

Pred poskusom delovanja hidravličnih naprav smo preskusili delovanje električne instalacije. Iz-



Sl. 5. Umerjanje napetosti in tlaka



Sl. 6. Umerjanje napetosti in tlaka

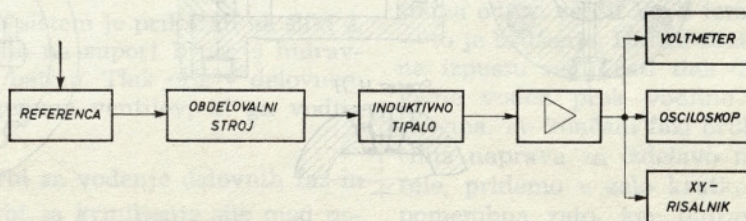
merili smo vse izhodne električne napetosti na ventilih. Regulacijski ventil V_6 je bil priklopljen na stabilizirani usmernik, ki pomeni vodilno veličino. V prvi fazi preskušanja smo preskušali s hidravliko regulacijski ventil. Določili smo območje obratovanja, ki je znašalo od 2 do 10 V, kar ustreza tlaku v hidravliki od 10 do 80 atn. Ustrezno izračunu mora biti v hidravliki tlak 12 atn za začetek primika. Pri preskusu se je izkazalo, da lahko tlak v hidravliki niha v odvisnosti od temperature olja v hidravliki. Zato smo izmerili še odvisnost tlaka od vodilne veličine in temperature olja. Rezultati meritev so razvidni na sliki 5.

Pri tej meritvi smo ogrevali hidravlično olje 1,5 ure. Diagram prikazuje, da ima regulacijski ventil razmeroma veliko histerezo, ki neugodno vpliva na krmiljenje. Izvedli smo 6 meritev. Napetost in tlak sta v obratnem sorazmerju. Pri drugi meritvi smo napravo ogrevali 3 ure. Pokazalo se je (slika 6), da v diagramu ni bistvenih sprememb, vendar so ustrezni tlaki in vodilne veličine napetosti nekoliko premaknjeni. Ta premaknitev je odvisna od temperature olja v sistemu.

Na podlagi te meritve smo vgradili v krmiljeni hidravlični sistem dva električna grelnika z diskretnim omejevalnikom temperature, ki vzdržuje temperaturo 40 ± 3 °C. Ta omejitev je zadostovala. Krmiljena temperatura ustreza ogrevanju celotnega hidravličnega sistema po treh urah obratovanja v mrtvem teku. Z dodatnim ogrevanjem pa smo dosegli zeleno temperaturo že v desetih minutah po priklopu stroja.

6. Meritev odvisnosti med pritiskno silo in vodilno napetostjo

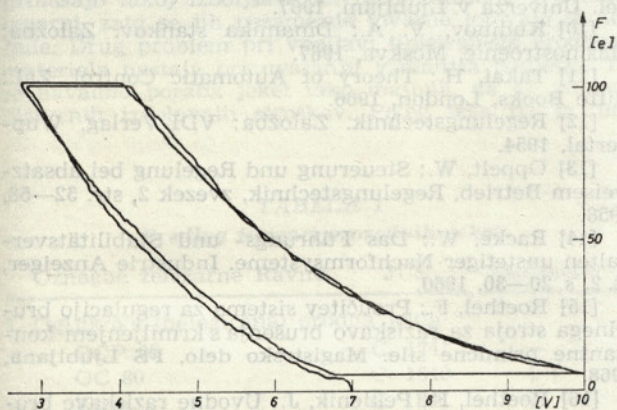
Pri ugotovitvi odvisnosti med vodilno napetostjo in tlakom v hidravličnem sistemu je bilo treba ugotoviti še, kako se prenaša signal prek mehanskih delov brusilnega stroja na mesto brušenja. Zato smo postavili merilni stavek po sliki 7. Vodilno veličino je zopet simuliral omenjeni usmernik. Prek obdelovalnega stroja smo dobili signal na induktivno tipalo. To je induktivni dajalnik Hottinger tip TR2. Signal smo okrepili na ojačevalniku Hottinger KWS 3S/5 in ga prenesli na osciloskop Tektronix. Osciloskop ima vgrajen pomnilnik in dopušča opazovanje odgovora pri različnih velikostih vodilne veličine.



Sl. 7. Merilni sistem za merjenje odvisnosti med vodilno napetostjo in primično silo

Po ugotovitvah in razbirkih na skali ojačevalnika smo priključili XY risalnik Honeywell in izvedli meritve (slika 8).

Silo smo registrirali v enotah merilnega ojačevalnika v odvisnosti od napetosti. Iz meritve je razvidno, da ima sistem precejšnjo histerezo. Razlog je že v histerezi samega regulacijskega ventila V_6 in v dodatni histerezi mehanskega sistema.

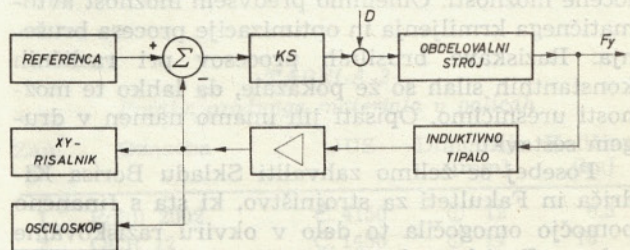


Sl. 8. Primična sila v odvisnosti od sprememb reference

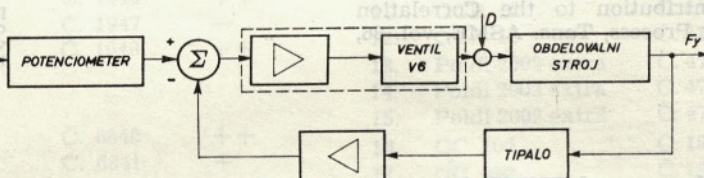
7. Krmilni sistem

Po dosedaj navedenih meritvah in njihovih rezultatih smo preskusno izdelali več variant regulatorja. Načelo dela krmilnega sistema je razvidno na sliki 9. Za delo v dveh fazah smo pri krmiljenju predvideli dva potenciometra, ki se na prehodu delovnih faz preklapljata.

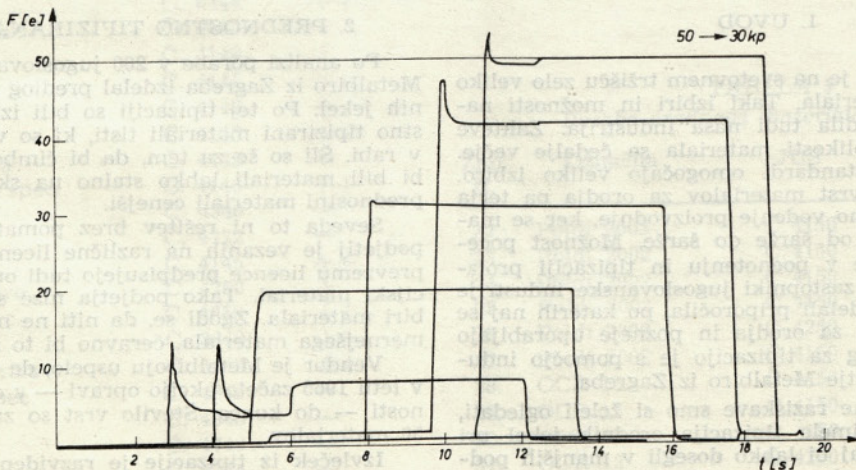
Krmilni sistem smo izdelali v domačem laboratoriju in ga po izdelavi preskusili. Pri tem smo postavili merilni stavek po sliki 10. Z referenco (stabiliziranim usmernikom) smo povzročili v sistemu napetost, ki je ustrezala posameznim vrednostim želene sile. Odgovor krmilnega sistema na vodilno veličino smo zrisali na risalniku Honeywell. Rezul-



Sl. 10. Merilni sistem za določanje prehodne funkcije krmilnega sistema
KS — krmilni sistem
D — motnje



Sl. 9. Načelo dela krmilnega sistema v eni fazi



Sl. 11. Prehodne funkcije krmilnega sistema

tati so razvidni s slike 11. Silo na diagramu smo navedli v enotah skale ojačevalnika. S slike je razvidno, da dobimo po kratkem prehodu konstantno primično silo.

8. Sklep

S tem sestavkom smo prikazali nov sistem za krmiljenje primične sile v brusilnem sistemu, ki ga uporabljamo za nadaljnje raziskave brušenja. Obenem smo hoteli opozoriti na izvedbo, ki omogoča z zadovoljivo natančnostjo krmiliti silo v vsakem obdelovalnem sistemu. Seveda bo treba merilni sistem in krmilne naprave vedno prilagajati zahtevanim okoliščinam. Prikazana izvedba ponuja določene možnosti. Omenimo predvsem možnost avtomatičnega krmiljenja in optimizacije procesa brušenja. Raziskave brusilnih procesov pri različnih konstantnih silah so že pokazale, da lahko te možnosti uresničimo. Opisati jih imamo namen v drugem sestavku.

Posebej se želimo zahvaliti Skladu Borisa Kidriča in Fakulteti za strojništvo, ki sta s finančno pomočjo omogočila to delo v okviru raziskovalne naloge »Raziskava brušenja s krmiljeno konstantno primično silo« in izdelavo potrebnih naprav.

LITERATURA

[1] Peklenik, J.: New Developments in Surface Characterization and Measurements by Means of Random Process Analysis, Poročilo na konferenci Properties and Metrology of Surface, Oxford 1968.

[2] Peklenik, J.: Contribution to the Correlation Theory for the Grinding Process, Tans. ASME, vol. 86, s. 97, 1964.

[3] Profos, P.: Regulirovanie parosilovih ustanovok. Založba: Energija, Moskva, 1967.

[4] Chaimowitsch: Ölhydraulik. Založba: VEB-Verlag Technik, Berlin, 1963.

[5] Panzer, Beitler: Arbeitsbuch der Ölhydraulik. Založba: Krausskopf Verlag, Mainz, 1965.

[6] Merrit, H. E.: Hydraulic Control Systems. Založba: John Wiley & Sons, New York, 1967.

[7] Himmler, R. C.: Elektrohydraulische Steuersysteme. Založba: Krausskopf Verlag, Mainz, 1967.

[8] Shinnars, S. M.: Control System Design. Založba: John Wiley & Sons, New York, 1964.

[9] Cajhen, R.: Osnove regulacijske tehnike, I. in II. del. Univerza v Ljubljani, 1967.

[10] Kudinov, V. A.: Dinamika stankov. Založba: Mašinstroenie, Moskva, 1967.

[11] Takai, H.: Theory of Automatic Control. Zal.: Iliffe Books, London, 1966.

[12] Regelungstechnik. Založba: VDI-Verlag, Wuppertal, 1954.

[13] Oppelt, W.: Steuerung und Regelung bei absatzweisem Betrieb. Regelungstechnik, zvezek 2, str. 52—58, 1958.

[14] Racke, W.: Das Führungs- und Stabilitätsverhalten unstetiger Nachformsysteme. Industrie Anzeiger, št. 2, s. 20—30, 1960.

[15] Roethel, F.: Proučitev sistema za regulacijo brusilnega stroja za raziskavo brušenja s krmiljenjem konstantne primične sile. Magistrsko delo, FS Ljubljana, 1968.

[16] Roethel, F., Peklenik, J.: Uvodne raziskave brušenja s krmiljeno primično silo. Strojniški vestnik, št. 2, str. 49—54, 1969.

[17] Himmler, C. R.: Untersuchungen an druckregelnden Servoventilen und Triplex-Redundanzsystem. Ölhydraulik und Pneumatik, št. 3, str. 87—95, 1968.

Naslov avtorjev: doc. dr. ing. Franc Roethel, prof. dr. ing. Janez Peklenik, doc. dr. Igor Grabec, vsi: Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani

UDK 621.9.025:65.011.4

Ali lahko racionaliziramo porabo orodnega materiala v naši industriji?

FRANC ROETHEL

1. UVOD

V zadnjem času je na svetovnem tržišču zelo veliko vrst orodnega materiala. Taki izbiri in možnosti nabave se je prilagodila tudi naša industrija. Zahteve industrije po raznolikosti materiala so čedalje večje. Že jugoslovanski standardi omogočajo veliko izbiro. Izdelava različnih vrst materialov za orodja pa terja od železarn zapleteno vodenje proizvodnje, ker se materiali spreminjajo od šarže do šarže. Možnost pocenitve materialov je v poenotenju in tipizaciji proizvodnje. Zato so se zastopniki jugoslovanske industrije odločili, da bodo izdelali priporočila, po katerih naj se izdelujejo materiali za orodja in pozneje uporabljajo v industriji. Predlog za tipizacijo je s pomočjo industrije izdelalo podjetje Metalbiro iz Zagreba.

V okviru majhne raziskave smo si želeli ogledati, kakšen učinek bi imela tipizacija orodnih jekel pri naši industriji in kaj bi lahko dosegli v manjših podjetjih. Ogledali smo si porabo orodnega materiala v tovarni Mehanika iz Trbovelj.

2. PREDNOSTNO TIPIZIRANA JEKLA /1/

Po analizi porabe v 200 jugoslovanskih podjetjih je Metalbiro iz Zagreba izdelal predlog za tipizacijo orodnih jekel. Po tej tipizaciji so bili izbrani kot prednostno tipizirani materiali tisti, ki so v industriji največ v rabi. Šli so še za tem, da bi čimbolj zožili izbor, da bi bili materiali lahko stalno na skladišču in bi bili prednostni materiali cenejši.

Seveda to ni rešitev brez pomanjkljivosti. Mnogo podjetij je vezanih na različne licenčne pogoje, ki ob prevzemu licence predpisujejo tudi orodni in konstrukcijski material. Tako podjetja niso samostojna pri izbiri materiala. Zgodi se, da niti ne morejo izbrati primernejšega materiala, čeravno bi to želela.

Vendar je Metalbiroju uspelo, da pri podjetju Iskra v letu 1965 začeto akcijo opravi — v okviru danih možnosti — do konca. Število vrst so zmanjšali s 500 na 50 materialov.

Izvleček iz tipizacije je razviden iz tabele 1. Vsa ostala orodna in druga tipizirana jekla najdemo v literaturi. [1]