

UDK 621.73.016:681.3

## Vrednotenje masovne proizvodnje hladno kovanih delov z mikroprocesorjem\*

IVAN KODRIČ

*V prispevku je prikazan izsek dela, ki je bilo opravljeno v ISKRI — Industriji avtoelektričnih izdelkov, Nova Gorica na področju razvoja proizvodnje hladno kovanih delov. Prizadevanja so bila strnjena v razvojno inovacijski nalogi pod pokroviteljstvom Raziskovalne skupnosti Slovenije ob sodelovanju Fakultete za strojništvo v Ljubljani.*

### UVOD

Opogumljeni z uspešnim uvajanjem serijske proizvodnje hladno kovanih sestavnih delov za zaganjalnike z majhnimi močmi ter ob spoznanju, da moramo delo v prihodnje postaviti na kakovostno višjo raven, smo se v ISKRI v Novi Gorici odločili za delo pri razvoju izkovkov za družino zaganjalnikov velikih moči. Nesporen vzpon tehnologije hladnega preoblikovanja ter dejstvo, da nekaterih specifičnih sestavnih delov zaganjalnika skoraj ni mogoče izdelovati s klasično tehnologijo odrezavanja, nam pri vrednotenju različnih načinov izdelave ni dopuščalo velike izbire. Odločili smo se za hladno preoblikovanje s pomembno novostjo: z vrednotenjem proizvodnje z računalniško krmiljenim mikroprocesorjem.

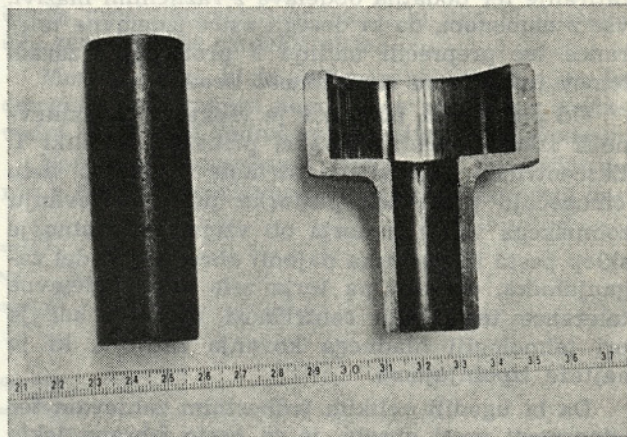
Okoliščini, da smo prav pri uvajanju kontrolnega sklopa imeli v redni proizvodnji serijo z vhodnim materialom priznanega zahodnonemškega proizvajalca jekel za masovno preoblikovanje ter domač vhodni material JMP-10, gre zahvala, da so se stroški za nabavo merilnega sistema povrnili v dobršni meri že kar pri prvem obsežnejšem testiranju. Rezultati testiranja prve preoblikovalne faze — nakrčevanja so namreč nakazovali dve različni kakovosti uvoženega materiala. Jeklo JMP-10 je bilo homogeno, vendar z opazno izraženim odstopanjem od preoblikovalnih lastnosti enakovrednega uvoženega materiala.

Odstopki so bili tako veliki, da bi surovci, pomešani med seboj, povzročili v drugi preoblikovalni operaciji, ko ni več mogoče ločenje po kakovosti, zelo velik odstotek izmeta. Ko sedaj končujemo prvo fazo dela in so izkovki že v redni proizvodnji, smo kljub težavam, ki so bile pravzaprav večje, kakor smo pričakovali, zadovoljni z rezultati naloge ter možnostmi, ki se nam odpirajo pri prihodnjem delu.

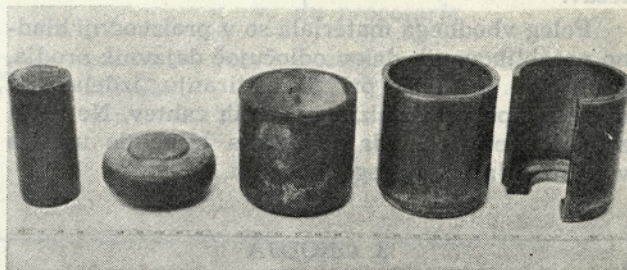
### 2. IZKOVKI IN PROCES IZDELAVE

Izdelki, ki so predstavljeni v besedilu (sl. 1, 2 in 3), so vgrajeni v družino zaganjalnikov velikih moči in so tipični primeri hladno preoblikovanih

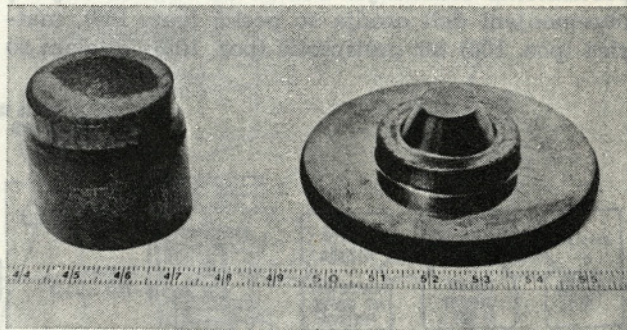
\* Izdelano v Projektivnem biroju ISKRE — Industrije avtoelektričnih izdelkov TOZD DES v okviru razvojno inovacijske naloge št. U-248/3880 pod mentorstvom Republiške raziskovalne skupnosti Slovenije ter ob sodelovanju Fakultete za strojništvo Ljubljana.



Sl. 1. Najzahtevnejši izkovek, ki je vgrajen v zaganjalnike velikih moči  
Vhodni material je paličasto jeklo  $\varnothing 28$ , Č.4320. Največja dosežena deformacija je 1,45



Sl. 2. Preoblikovalne faze za lonc stikala  
Prvi dve operaciji: nakrčevanje in protismerno iztiskanje sta obsežnejše obdelani v prispevku



Sl. 3. Končni preoblikovalni operaciji za stranico stikala zaganjalnika  
Dosežena deformacija je 1,30. Uporabljen je material JMP-10

delov z visoko stopnjo deformacije. Za nekatere dele bi lahko celo dejali, da so po zahtevnosti med težjimi v tej tehnologiji izdelave. Vhodni materiali za izdelavo teh podsklopov so jekla za poboljšanje različnih kakovosti, ki so primerna za masovno preoblikovanje ter jeklo za cementiranje Č.4320.

Vhodni surovci so nasekani iz hladno vlečenih palic. Da bi dosegli najugodnejše preoblikovalne lastnosti pri visokih stopnjah deformacije, smo palice med določenimi stopnjami preoblikovanja žarili v talnih plinskih pečeh z nevtralno atmosfero. Pred vsakim preoblikovalnim ciklom sledi še fosfatiranje ter dodatna obdelava z različnimi mazivi, vse z namenom, da bi dosegli ostre izdelavne tolerance ter preprečili motnje v proizvodnji zaradi lomov in prehitre izrabljenosti orodij.

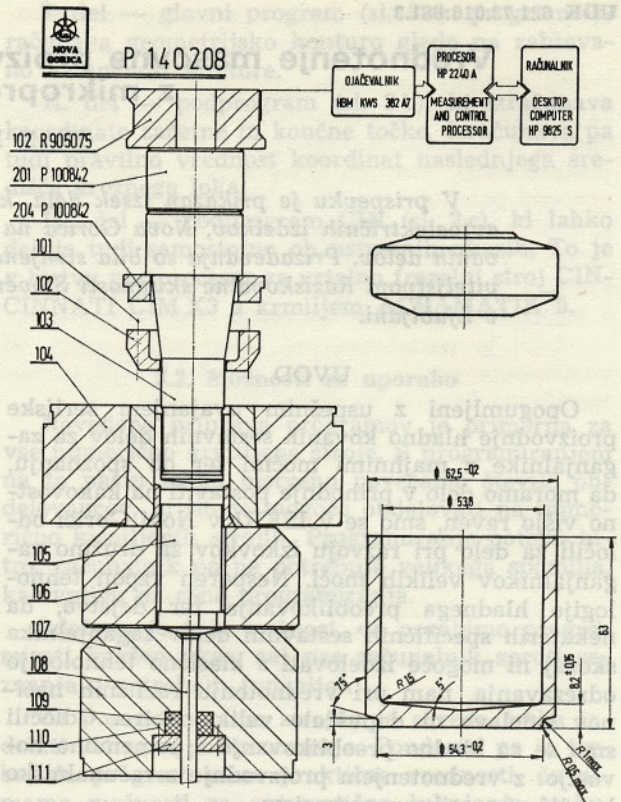
Od prikazanih izkrovkov je vsekakor najzahtevnejši izkovek pesta sklopke, prikazan na sliki 1. Ekscentrično postavljene strmine v širšem delu omogočajo prost tek pastorka pri prehitevanju zobniškega venca motorja ob vžigu. Trdnostno je sklop pesta in pastorka najbolj obremenjen del zaganjalnika, obenem pa terja zelo ostre izdelavne tolerance ter veliko centričnost izkovka, kar je pri tehnologiji hladnega kovanja zahteva, ki jo najteže izpolnjujemo.

Da bi ugodili velikim trdnostnim zahtevam ter odpornosti proti obrabi, je za pesto izbrano jeklo za cementiranje Č.4320. Uporabljamo domači material — hladno vlečene palice  $\varnothing 28$ , ki pa je zaradi slabih preoblikovalnih lastnosti povzročil obilo težav.

Poleg vhodnega materiala so v proizvodnji hladno preoblikovanih delov odločujoče dejavniki orodja, za katera je treba pri projektiranju, izdelavi in uporabi upoštevati niz specifičnih zahtev. Ne velja zaman ugotovitev, da so orodja ključ do uspeha v proizvodnji hladnega kovanja.

### 3. ORODJA

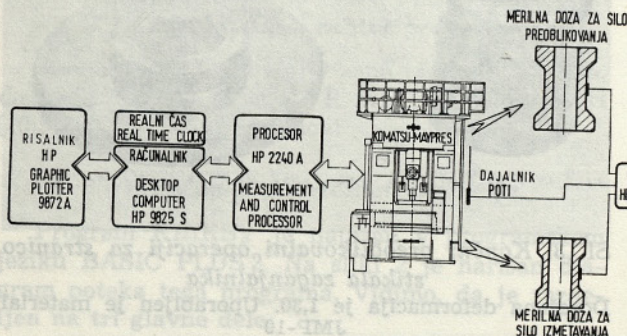
Orodje, ki je prikazano na sliki 4, je značilni zastopnik največkrat uporabljanega tipa orodij za protismerno iztiskanje. Glavni in obenem najbolj obremenjeni deli orodja so pestič (poz. 103), matrica (poz. 104) ter protipestič (poz. 105). Izdelani so



Sl. 4. Sestavnica orodja za protismerno iztiskanje Merilna doza, ki je vgrajena nad pestič, je omogočila neposredno spremljanje hitrega preoblikovalnega cikla

iz hitroreznih jekel razen krčnega obroča matrice, ki je izdelan iz materiala Č.4751 in kaljen na 48 HRC.

Vložek iz hitroreznega jekla ima tako veliko nadmero — več ko 0,5 mm na premeru, da je potrebno nakrčevanje v segret krčni obroč matrice. Tehnika nakrčevanja vložkov v krčni obroč matrice omogoča dovolj veliko prednapetost sklopa, ki tako prenaša velike preoblikovalne sile. Kot zanimivost bi omenili, da pokanja krčnih obročev, kar bi bilo posebej nevarno pri obdelavi na brusilnih strojih, do sedaj nismo opazili, kar kaže na skrbno izdelavo v domači orodjarni. Doba trajanja matric je



Sl. 5. Merilni sklop, ki omogoča obdelavo in prikaz električnega signala merilne doze med redno proizvodnjo pri 36 udarcih v minuti

nadpovprečno dolga, česar pa ne moremo trditi za trne — posebej za pestiče za protismerno iztiskanje.

V preteklem letu smo prvič dosledno opazovali vzroke lomov delov orodij in opravili obdelavo na računalniku HP 9825 S. Obdelava je pokazala nekaj zanimivosti. Očitno imata izreden pomen za dobo trajanja pestičev — pravilen postopek kaljenja hitroreznih jekel ter pravilna tehnologija izdelave orodja, predvsem brušenja.

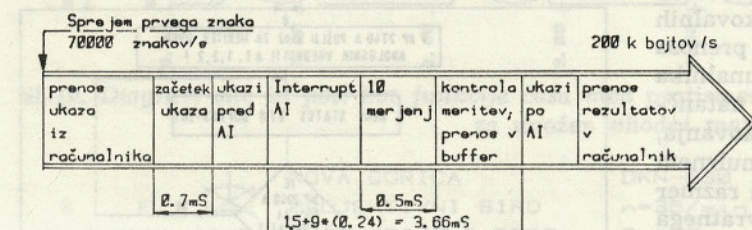
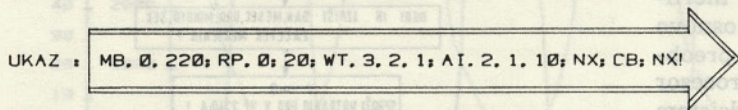
#### 4. MERILNI SKLOP

Pri projektiranju orodja in poznejšem vrednotenju preoblikovalnega cikla se projektantu postavljata dve glavni nalogi: pravilna vnaprejšnja določitev sil ter skupnega dela, potrebnega za preoblikovalni cikel. Za osnovne načine preoblikovanja v hladnem — nakrčevanje, protismerno tečenje ter istosmerno iztiskanje — obstajajo dovolj natančne računske metode za približno določanje

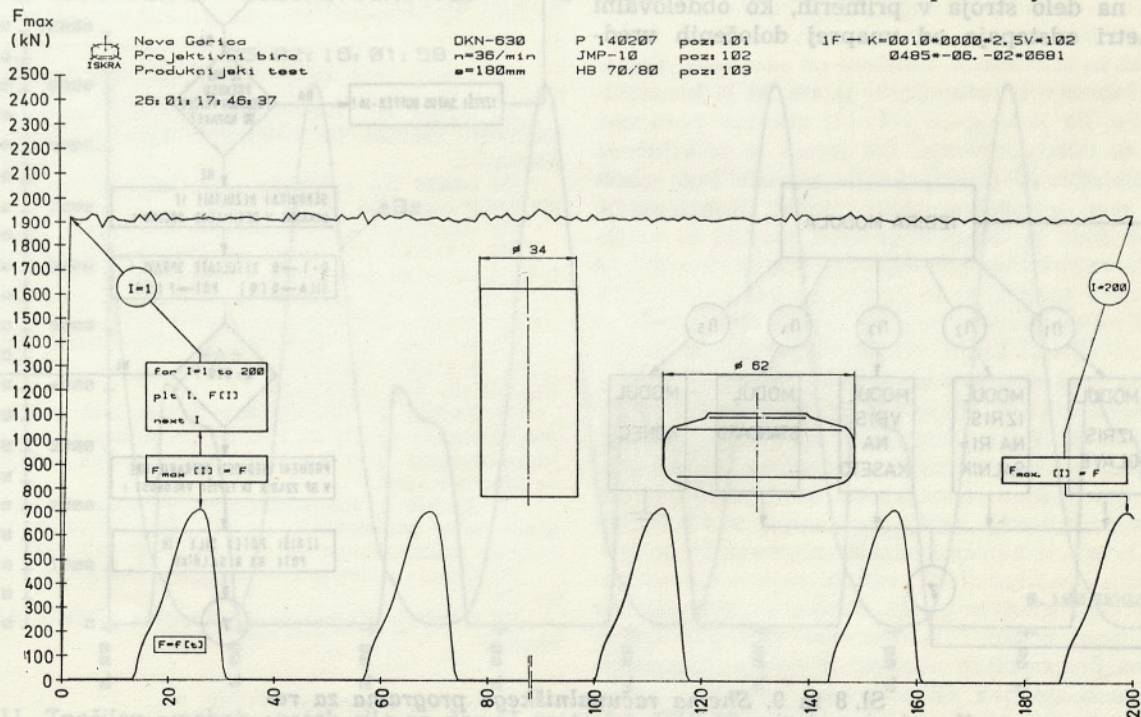
tako največjih preoblikovalnih sil kakor tudi preoblikovalnega dela. Preračuni postanejo nekoliko manj zanesljivi, ko preidemo iz laboratorijskih predpostavk v trde razmere serijske proizvodnje. Dodatni faktor nezanesljivosti je uporaba različnih domačih maziv ter jekel za masivno hladno preoblikovanje, ki še nimajo popolnoma izoblikovanih ter potrjenih preoblikovalnih lastnosti. Kako se je v praksi reševalo projektiranje orodij s tako nezanesljivimi vstopnimi parametri? V veliki meri s postopkom *poskušanja!* Velikoserijska proizvodnja ter obremenitve orodij, ki so blizu mejnim vrednostim, pa kar kličejo po nekakšni rentgenski sliki hitrih preoblikovalnih operacij, ki naj bi omogočila zanesljivejše projektiranje.

Merilni sklop, ki je prikazan na sliki 5, nam je omogočil prav takšen neposreden vpogled v proizvodni cikel med redno velikoserijsko proizvodnjo.

Podobnega opazovanja razmer pri preoblikovanju v domači jugoslovanski serijski proizvodnji do-



Sl. 6. Časovni prerez skozi enega izmed osnovnih ukazov mikroprocesorja, s katerim dosežemo zelo hitro zaporedno zapisovanje vrednosti na analognem vходу procesorja

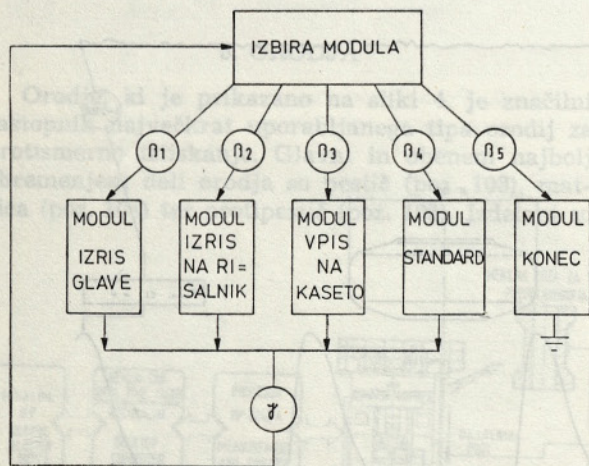


Sl. 7. Zapisano nihanje največje sile preoblikovanja v fazi nakrčevanja  
Opravljeno je bilo dvesto zaporednih meritev

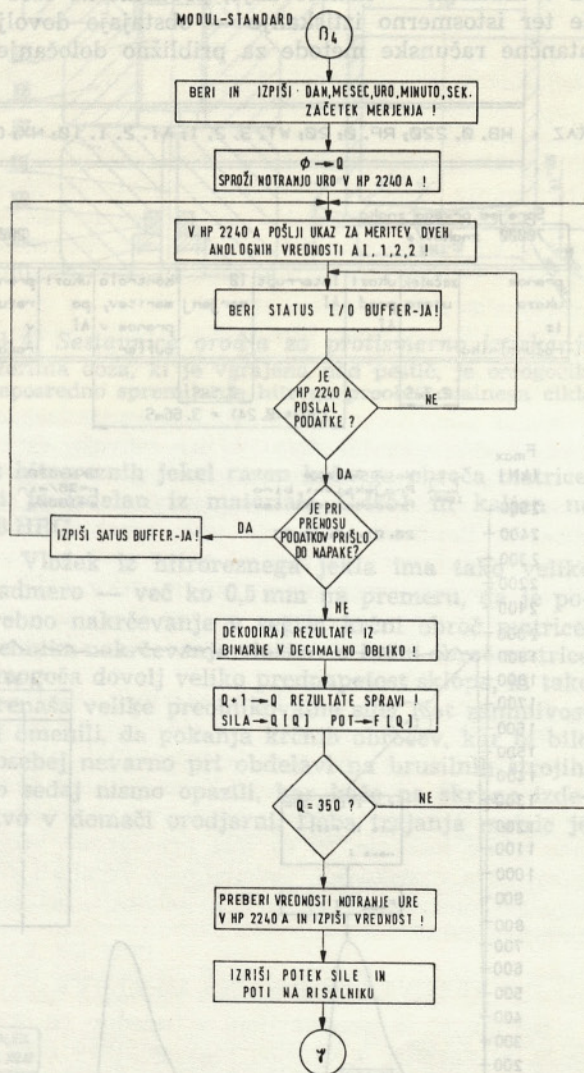
slaj še ni bilo. Prvi rezultati kažejo izredno uporabnost sistema pri optimiranju dela in s tem zniževanju stroškov proizvodnje. Predvsem pa vrednoteni rezultati omogočajo nedvoumno ocenitev preoblikovalnega cikla pri različnih vstopnih parametrih. Izbira najprimernejših sestavin sklopa ter prvi pristop k meritvam sta bila opravljena s pomembno pomočjo Inštituta za preoblikovanje univerze v Stuttgartu ter ob sodelovanju Katedre za preoblikovalno tehniko Fakultete za strojništvo v Ljubljani. Projektiranje orodij ter merilnih doz je bilo v celoti opravljeno v Projektivnem biroju ISKRE, medtem ko je bila prilagoditev mehanične stiskalnice za razvojno raziskovalno delo izvedena v birojih proizvajalca Komatsu — Maypres.

## 5. MIKROPROCESOR

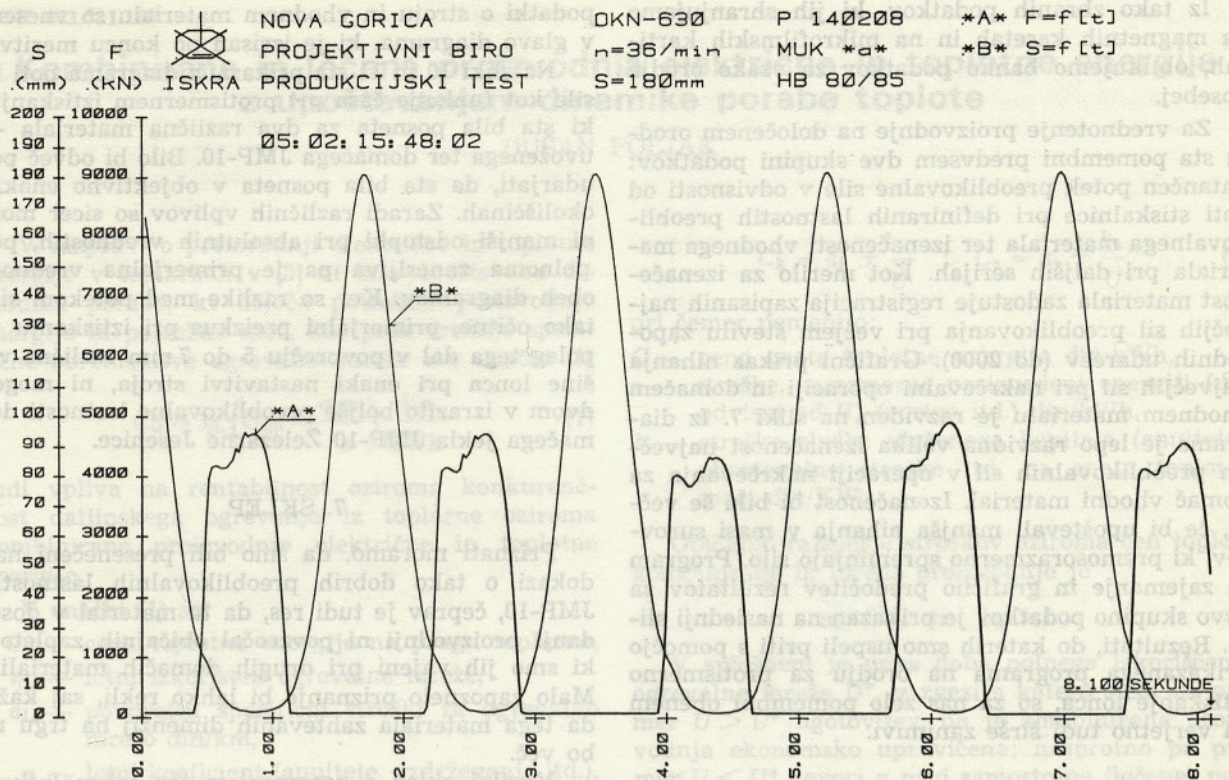
Mikroprocesor, povezan v merilni sklop z računalnikom, risalnikom, ojačevalnikom ter merilnimi dozami pomeni, kakor smo že omenili, osnovo za objektivno zbiranje podatkov o procesu preoblikovanja. Ugotoviti pa je mogoče še več! Procesor je kot inteligentni analožno-digitalni podsistem pravzaprav ključ do registracije preoblikovalnih sil. Zmogljivost pri odbiranju ter hitrost prenosa podatkov iz procesorja v pomnilnik računalnika mora biti tolikšna, da omogoča zadovoljivo natančnost pri posnetju hitrih procesov preoblikovanja, posebej še obremenitvenih konic pri kontinuirnem delu na stroju. Iz kontinuirnega opazovanja razmer pri kovanju izhaja seveda tudi možnost povratnega vpliva na delo stroja v primerih, ko obdelovalni parametri odstopajo od vnaprej določenih vrednosti.



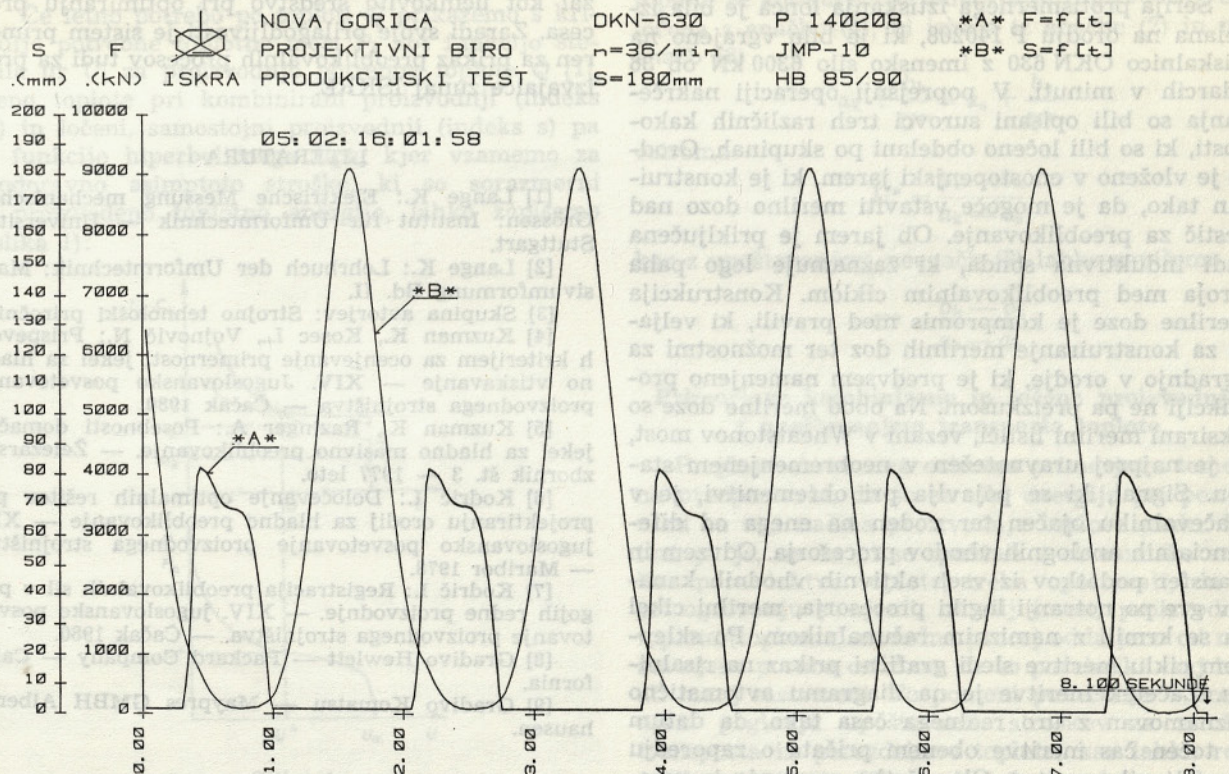
Pri razčlenitvi enega od osnovnih ukazov (sl. 6), ki ga procesor lahko opravi med odvijanjem programa, je razvidno, da je zajemanje in shranjevanje podatkov merjenja izredno hitro, vsekakor dovolj hitro za natančno predočitev diagrama sile med preoblikovanjem. Prikazan ukaz je eden najpreprostejših. Nedvomna velika prilagodljivost procesorja nam je povzročila največ dela in problemov pri sestavljanju programov za delo, kar je razumljivo, saj je v programu potrebno uskladiti odbiranje na več kanalih, vrednotenje ukazov in rezultatov s transferom podatkov med procesorjem in računalnikom ter povratnimi ukazi na izhodu procesorja. S programerji Inštituta za avtoelektriko nam je uspelo razviti dva programa, ki bosta osnova za praktično uporabo procesorja v redni proizvodnji.



Sl. 8 in 9. Shema računalniškega programa za registracijo in prikaz preoblikovalne sile ter poti paha stiskalnice



Sl. 10. Diagram sile in poti kot funkcije časa med protismernim iztiskanjem lonca na orodju P 140208 za uvožen vhodni material



Sl. 11. Značilen »mehak« potek sile za domač material JMP-10 v primerjavi z diagramom na sliki 10, ki je bil posnet v enakih okoliščinah

Iz tako zbranih podatkov, ki jih shranjujemo na magnetnih kasetah in na mikrofilmskih karticah, oblikujemo banko podatkov za vsako orodje posebej.

Za vrednotenje proizvodnje na določenem orodju sta pomembni predvsem dve skupini podatkov: natančen potek preoblikovalne sile v odvisnosti od poti stiskalnice pri definiranih lastnostih preoblikovalnega materiala ter izenačenosti vhodnega materiala pri daljših serijah. Kot merilo za izenačenost materiala zadostuje registracija zapisanih največjih sil preoblikovanja pri večjem številu zaporednih udarcev (do 2000). Grafični prikaz nihanja največjih sil pri nakrčevalni operaciji in domačem vhodnem materialu je razviden na sliki 7. Iz diagrama je lepo razvidna velika izenačenost največjih preoblikovalnih sil v operaciji nakrčevanja za domač vhodni material. Izenačenost bi bila še večja, če bi upoštevali manjša nihanja v masi surovcev, ki premosorazmerno spreminjajo silo. Program za zajemanje in grafično predočitev rezultatov za prvo skupino podatkov je prikazan na naslednji sliki. Rezultati, do katerih smo uspeli priti s pomočjo prikazanega programa na orodju za protismerno iztiskanje lonca, so za nas zelo pomembni obenem pa verjetno tudi širše zanimivi.

## 6. PRIKAZ REZULTATOV MERITEV

Serijski protismernega iztiskanja lonca je bila izdelana na orodju P 140208, ki je bilo vgrajeno na stiskalnico OKN 630 z imensko silo 6300 kN ob 36 udarcih v minuti. V poprejšnji operaciji nakrčevanja so bili opisani surovci treh različnih kakovosti, ki so bili ločeno obdelani po skupinah. Orodje je vloženo v enostopenjski jarem, ki je konstruiran tako, da je mogoče vstaviti merilno dozo nad pestič za preoblikovanje. Ob jarem je priključena tudi induktivna sonda, ki zaznamuje lego paha stroja med preoblikovalnim ciklom. Konstrukcija merilne doze je kompromis med pravili, ki veljajo za konstruiranje merilnih doz ter možnostmi za vgradnjo v orodje, ki je predvsem namenjeno produkciji ne pa preizkusom. Na obod merilne doze so fiksirani merilni lističi, vezani v Wheatstonov most, ki je najprej uravnotežen v neobremenjenem stanju. Signal, ki se pojavlja pri obremenitvi, je v ojačevalniku ojačen ter voden na enega od diferencialnih analognih vhodov procesorja. Odvzem in transfer podatkov iz vseh aktivnih vhodnih kanalov gre po notranji logiki procesorja, merilni cikel pa se krmili z namiznim računalnikom. Po sklepnem ciklu meritve sledi grafični prikaz na risalniku. Začetek meritve je na diagramu avtomatično zaznamovan z uro realnega časa tako, da datum in točen čas meritve obenem pričata o zaporedju opravljenih meritev. Ob začetku merjenja je sprožen tudi tisočinski števec procesorja, ki označuje časovni potek meritve. Vsi ti podatki, kakor tudi

podatki o stroju in vhodnem materialu so vneseni v glavo diagrama, ki je izrisan po koncu meritve.

Na sliki 10 in 11 sta prikazana diagrama poti in sile kot funkcije časa pri protismernem iztiskanju, ki sta bila posneta za dva različna materiala — uvoženega ter domačega JMP-10. Bilo bi odveč poudarjati, da sta bila posneta v objektivno enakih okoliščinah. Zaradi različnih vplivov so sicer možni manjši odstopki pri absolutnih vrednostih, popolnoma zanesljiva pa je primerjalna vrednost obeh diagramov. Ker so razlike med potekom sile tako očitne, primerjalni preizkus pri iztiskanju je poleg tega dal v povprečju 5 do 7 mm različne višine lonca pri enaki nastavitvi stroja, ni mogoče dvom v izrazito boljše preoblikovalne lastnosti domačega jekla JMP-10 Železarne Jesenice.

## 7. SKLEP

Priznati moramo, da smo bili presenečeni nad dokazi o tako dobrih preoblikovalnih lastnostih JMP-10, čeprav je tudi res, da ta material v dosežani proizvodnji ni povzročal običajnih zapletov, ki smo jih vajeni pri drugih domačih materialih. Malo zapoznelo priznanje bi lahko rekli, saj kaže, da tega materiala zahtevanih dimenzij na trgu ne bo več.

Merilni sklop s procesorjem ter računalnikom se je zaradi svoje priročnosti ter robustnosti, saj je z lahkoto vzdržal težaško delo v kovačiji, pokazal kot učinkovito sredstvo pri optimiranju procesa. Zaradi svoje prilagodljivosti je sistem primeren za prikaz preoblikovalnih procesov tudi za proizvajalce zunaj ISKRE.

## LITERATURA

- [1] Lange K.: Elektrische Messung mechanischer Größen: Institut für Umformtechnik — Universität Stuttgart.
- [2] Lange K.: Lehrbuch der Umformtechnik: Massivumformung Bd. II.
- [3] Skupina avtorjev: Strojno tehnološki priročnik.
- [4] Kuzman K., Kosec L., Vojnovič N.: Prispevek h kriterijem za ocenjevanje primernosti jekel za hladno vtiskavanje — XIV. Jugoslovansko posvetovanje proizvodnega strojništva — Čačak 1980.
- [5] Kuzman K., Razinger A.: Posebnosti domačih jekel za hladno masivno preoblikovanje. — Železarski zbornik št. 3 — 1977 leto.
- [6] Kodrič I.: Določevanje optimalnih rešitev pri projektiranju orodij za hladno preoblikovanje — XII. jugoslovansko posvetovanje proizvodnega strojništva — Maribor 1978.
- [7] Kodrič I.: Registracija preoblikovalnih sil v pogojih redne proizvodnje. — XIV. jugoslovansko posvetovanje proizvodnega strojništva. — Čačak 1980.
- [8] Gradivo Hewlett — Packard Company — California.
- [9] Gradivo Komatsu — Maypres GMBH Albershausen.

Avtorjev naslov: Ivan Kodrič, ing.,

ISKRA — Industrija avtoelektričnih izdelkov, Nova Gorica