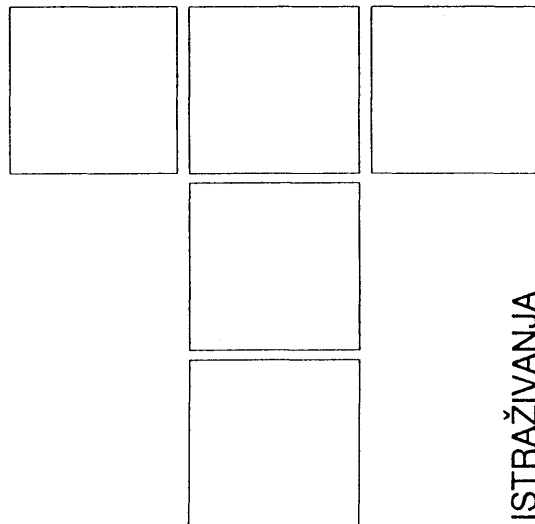


R. JEČMENICA, V. DROBNJAK, R. ĆIRIĆ,
D. GOLUBOVIĆ, M. MILOŠEVIĆ

Tehno-ekonomska analiza opravdanosti primene tehnologije zavarivanja pri proizvodnji zavojnih burgija



ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

U procesima proizvodnje zavojnih burgija danas su u primeni različite tehnologije. Najzastupljenije su tri tehnologije: **glodanjem, brušenjem i valjanjem**. Koja će tehnologija biti primenjena uglavnom zavisi od vrste brzoreznih čelika koji su trenutno u opticaju i ekonomskih ograničenja koja postavljaju kupci alata. Upoređivanjem kvaliteta i cena zavojnih burgija dobijenih po ovim trima tehnologijama, uočavaju se znatne razlike.

U ovom radu analiziraćemo samo uticaj tehnologije zavarivanja, koja se može pojaviti u nekim slučajevima proizvodnje zavojnih burgija, na tehno ekonomske pokazatelje opravdanosti njene primene.

Tehnologija izrade reznih alata, zavarivanjem trenjem (ZT), u Fabrici reznog alata u Čačku, gde je i proizvedena prva mašina za ZT, stara je preko tri decenije. Toliko je otprilike stara i primena ove tehnologije u domaćoj proizvodnji reznih alata. Ovom tehnologijom moguće je, zavisno od vrste alata i postupka njegove izrade, uštedeti znatne količine brzoreznih čelika, zameniti ih sa čelicima za poboljšanje koji su i do 15 puta jeftiniji od brzoreznih. Ovaj pokazatelj je posebno interesantan ako se ima u vidu da se samo u FRA godišnje proizvede preko 60 000 000 komada reznih alata i utroši preko 5 000 tona uvoznog i deficitarnog brzoreznog čelika.

Bez obzira na relativno dugu tradiciju u primeni ovih tehnologija u uslovima domaće proizvodnje reznih alata, može se konstatovati da ona još nije u zadovoljavajućoj

meri zastupljena, pogotovu kod kraćih reznih alata, specijalnih alata, alata manjih dimenzija i alata kod kojih se rezni deo formira toplom plastičnom deformacijom.

Neke od ovih vrsta alata proizvode se masovno i dugoročno. Treba ovom prilikom naglasiti, respektujući napred iznete činjenice, da zbog složenijeg oblika ovih vrsta alata, sve manjeg rastojanja zavarenog spoja od reznog dela alata, izrade ove vrste alata na visokoproduktivnim i specijalizovanim mašinama, primene novih vrsta osnovnih materijala i stalnog trenda pooštavanja zahteva u pogledu uštede materijala i kvaliteta alata, sve je izraženija potreba za **optimizacijom** tehnologije zavarivanja trenjem (ZT).

Zavarivanje trenjem je moguće primeniti za zavarivanje danas velikog broja korišćenih materijala ne samo u proizvodnji reznih alata već i šire. Primena ove tehnologije u uslovima domaće proizvodnje znatno zaostaje u odnosu na svetske trendove. Iako je akcenat ovog rada na tehno-ekonomskim aspektima opravdanosti primene ove tehnologije kod proizvodnje zavojnih burgija, neke napomene vezane za kvalitet alata dobijenih zavarivanjem trenjem moramo naglasiti. Naime, u teorijskoj analizi ponašanja osnovnih materijala (OM), brzoreznog čelika Č.7680 i ugljeničnog čelika za poboljšanje Č.1730 pri zavarivanju trenjem potrebno je poći od opšte prihvaćenih stavova o ponašanju ovih materijala pri termičkoj obradi i plastičnoj deformaciji sa zaključnim definisanjem njihovog ponašanja pri zavarivanju trenjem. Kako pojava **pukotina** (prslina) i **krtog loma** neposredno uz spoj na delu od Č.7680 predstavlja najčešću i najtežu grešku, to je neophodna i veoma detaljna analiza uzroka ovih pojava kao i njihova eliminacija ili pak svodenje na minimalno moguće razmere.

R. Ječmenica, D. Golubović, Tehnički fakultet Čačak,
V. Drobniak, R. Ćirić, M. Milošević, FRA Čačak

Dalje, pitanje kriterijuma izbora optimalnih režima zavarivanja trenjem brzoreznih čelika sa čelicima za poboljšanje, pa i Č.7680 sa Č.1730, je i danas veoma aktuelno. Zbog mogućnosti bržeg dobijanja pouzdanih informacija, upotrebljivih u proizvodnji reznih alata, ispitivanja metodama sa i bez razaranja se uglavnom izvode na uzorcima u zavarenom stanju i posle žarenja. Među korišćenim metodama metalografska ispitivanja imaju veoma značajnu težinu. Raspoloživi literaturni i drugi pokazatelji o metalografskoj karakterizaciji trenjem zavarenih spojeva ovih čelika su nesistematizovani, nedovoljni i nepouzdati, pa ovo iziskuje potrebu za definisanjem oblika grešaka koje se mogu pratiti metalografskim postupcima i određivanjem kriterijuma za metalografsko ispitivanje.

Merenje termičkog ciklusa i analiza karaktera plastične deformacije Č.7680 i Č.1730 u oblasti zavarenog spoja pružaju mogućnosti za regulaciju procesa još u toku zavarivanja trenjem i određivanje veze ovih veličina sa parametrima procesa i osobinama zavarenog spoja. Oblik termičkog ciklusa utiče na osobine zone uticaja toplote i sklonost Č.7680 ka pojavi pukotina (prslina). Karakter tečenja materijala utiče na istiskivanje nepoželjnih faza iz spoja, kao i na raspored i oblik karbidne faze. Proučavanje ovih uticaja omogućilo bi potpuniju i korektniju kontrolu procesa zavarivanja trenjem.

Topla plastična deformacija metala pri proizvodnji reznih alata omogućava postizanje značajne uštede na troškovima brzoreznih čelika i povećanja proizvodnosti. Potrebno je ustanoviti uticaj iste na osobine zavarenog spoja kao i ispitati mogućnosti izrade reznih alata sa zavarenim spojem na spiralnom - zavojnomo delu toplom plastičnom deformacijom.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ZAVARIVANJA TRENJEM

Zavarivanje trenjem je postupak zavarivanja pritiskom pri kome se spoj ostvaruje plastičnom deformacijom trenjem zagrejanih dodirnih površina osnovnih materijala. Zagrevanje pri ovoj vrsti varenja vrši se preobraženom mehaničkom energijom, od snage potrebne da bi se savladao torzioni moment sila trenja, u toplotnu energiju. Po svojoj prirodi zagrevanje trenjem je neravnomerno po poprečnom preseku pa se u ovim operacijama mora posvetiti znatna pažnja ovome problemu.

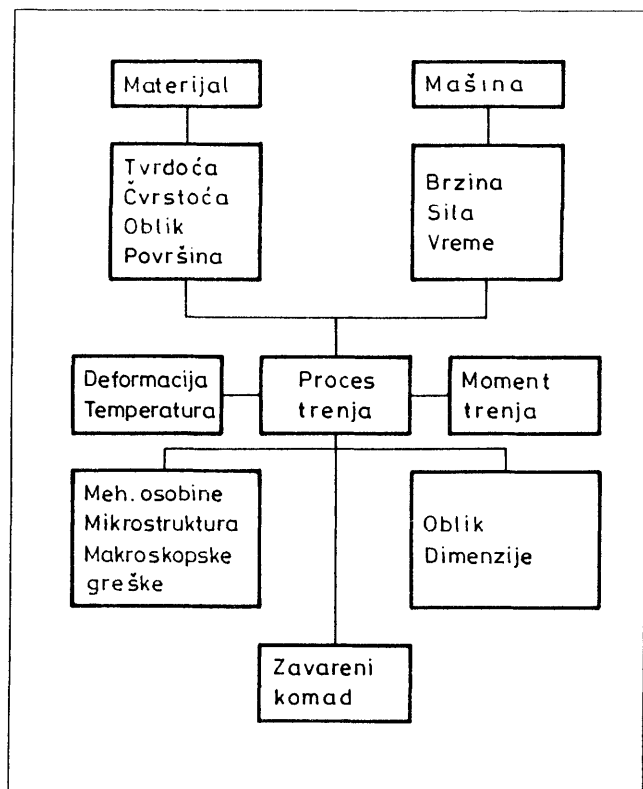
Najjednostavniji slučaj zavarivanja trenjem je čeonono zavarivanje okruglih delova punog ili prstenastog poprečnog preseka, ali se u principu mogu variti i profili znatno složenijih preseka. U procesu zavarivanja obično se okreće jedan deo, moguće je i oba ali je to ređe, pri čemu u toku procesa obrtanja na njih deluju aksijalne sile istih pravaca a suprotnih smerova, (vidi sliku 3).

U odnosu na druge postupke zavarivanja, ovaj postupak ima niz prednosti pored ostalog i zbog odsustva tečne faze i zagrevanja samo malog dela zapremine zavarivanih delova.

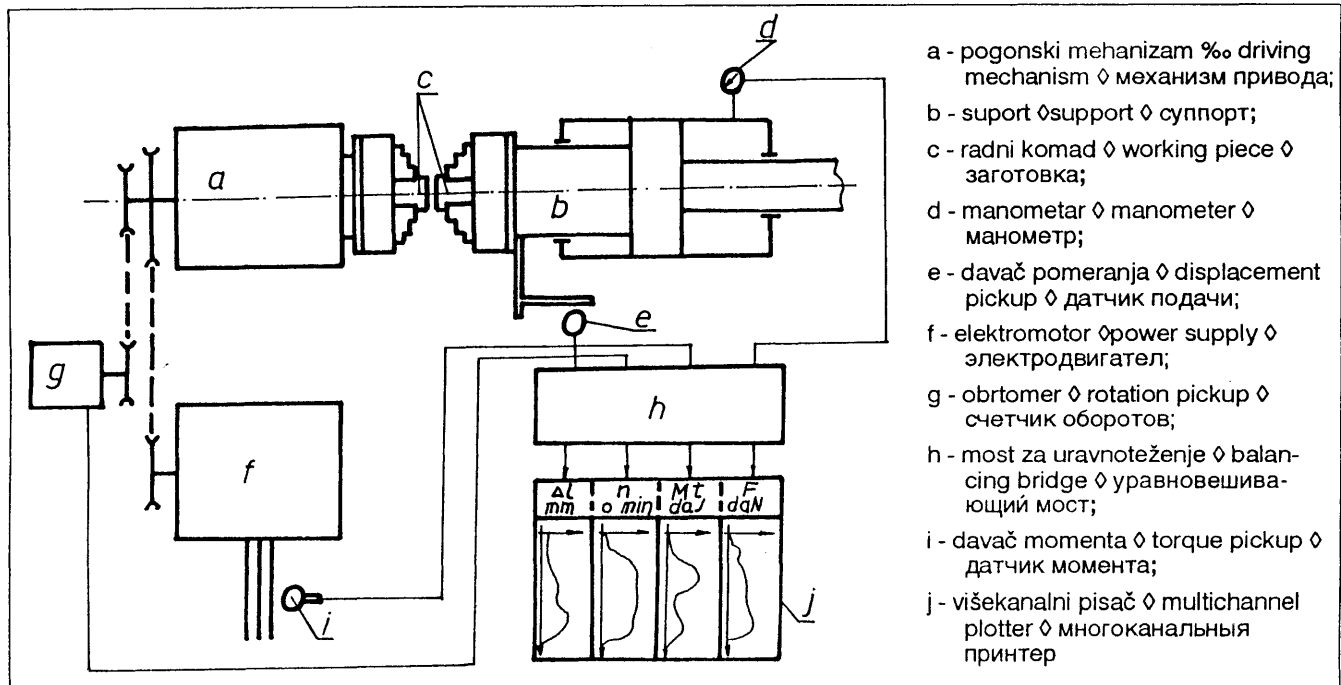
Zavarivanje trenjem, u principu, može se obaviti u nekoliko varijanti:

- **zavarivanje sa kontinualnim pogonom**, gde se toplotna energija generiše u zoni trenja obrtanjem jednog ili pak oba zavarivana dela, posle čega se obrtanje prekida a delovi izlažu delovanju aksijalnih sila sučeljavanja. Osnovni parametri procesa su: *obimna brzina v* zavarivanih komada, pritisak trenja P_t , vreme trenje T_t , pritisak sabijanja P_s i vreme sabijanja T_s .
- **inerciono zavarivanje**, gde se rotirajući delovi mašine sa uzorkom pre početka trenja ubrzavaju do nekog kritičnog broja obrtaja i u toku trenja predaju energiju zavarivanim delovima. Osnovni parametri pri ovoj vrsti varenja su: početni broj obrtaja n , masa rotirajućih delova M , pritisak sabijanja P_s i vreme delovanja pritiska sabijanja T_s .
- **kombinovano zavarivanje** trenjem predstavlja kombinaciju prethodna dva zavarivanja i može se izvesti u niz varijanti. Osnovni parametri ovog procesa su: broj obrtaja n , pritisak trenja P_t , vreme trenja T_t , vreme kočenja T_k , pritisak sabijanja P_s i vreme sabijanja T_s .

Regulacija procesa zavarivanja trenjem obavlja se preko parametara vezanih za performanse mašine, osobina materijala koji se zavaruju, promenljivih veličina koje prate ovaj proces i kontrolom zavarenih spojeva videti sledeću shemu:



Sl. 1 Shematski prikaz uticajnih parametara na proces zavarivanja trenjem
Influential parameters for friction welding process
Параметры, влияющие на процесс сваривания трением



Sl. 2 Shema jednog obradnog sistema za zavarivanje
 Machining system for friction welding
 Обрабатывающая система для сварки трением

Brojne vrednosti navedenih parametara uglavnom i najvećim procentom zavise od prirode osnovnih materijala, oblika i kvaliteta površina po kojima se vrši spajanje delova i na kraju od tehničkih karakteristika uređaja na kome se navedeno zavarivanje vrši.

Obimna brzina v , izražava se preko brojeva obrtaja zavarivanih predmeta i treba da se kreće u granicama

$$v = \pi \cdot d \cdot n = (1.2 - 6.0) [o/min] \quad (1)$$

gde je: d [mm] srednji prečnik zavarivanih delova,
 n [ob/min] broj obrtaja zavarivanih delova

U slučaju zavarivanja ugljeničnih i legiranih čelika, što je upravo slučaj pri proizvodnji reznih alata, ova vrednost treba da je oko $3 \cdot 10^4$ o/min.

Aksijalna brzina v_a , treba da se kreće u granicama 1.5 do 2 [m/s].

Pritisak trenja P_t treba da se kreće u granicama od 10 do 200 [N/mm²].

Vreme trenja, koje je pored pritiska trenja jedan od veoma uticajnih parametara na kvalitet zavarenih spojeva u kome se generiše veoma velika količina toplote, kreće se u granicama 1 do 50 [sek].

Vreme sabijanja T_s , obično iznosi 2 do 3 [sek] mada je kod zavarivanja konstruktivnih čelika sa legiranim alatnim čelicima sa velikim sadržajem ugljenika, wolframa, molibdena i kobalata ovo vreme nešto duže.

Toplotna energija Q , generisana u procesu trenja, računa se na osnovu sledećeg empirijskog obrasca:

$$Q = \frac{2 \cdot p \cdot n \cdot d \cdot \mu \cdot t}{1281.60} \quad (2)$$

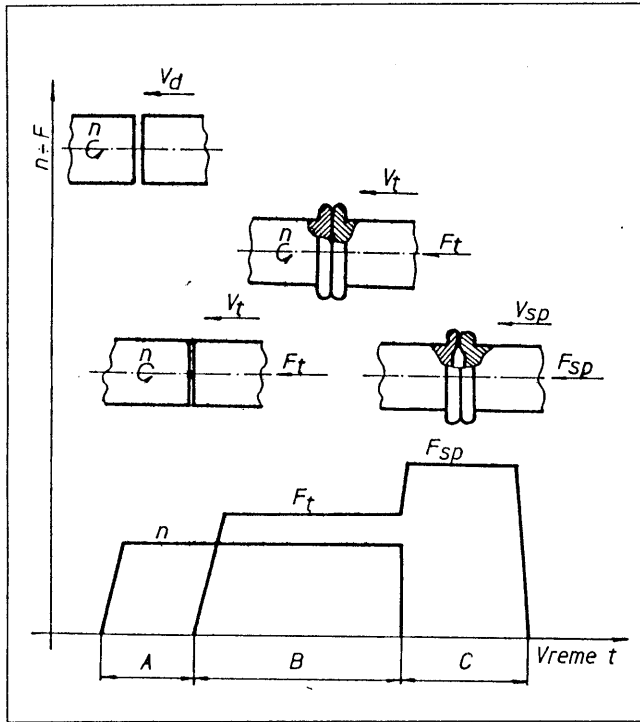
gde je: p [N/mm] - srednji aksijalni pritisak,
 n [o/min] - broj obrtaja varenih elemenata,
 d [mm] - srednji prečnik varenih elemenata,
 μ - koeficijent trenja,
 t [s] - vreme trajanja procesa varenja

Da podvučemo još jednom, zavarivanje trenjem spada u grupu zavarivanja pod pritiskom pri čemu su osnovni materijali, materijali koji se spajaju, u čvrstom stanju. Metali koji su dovoljno plastični, kao naprimer što su Al, Cu, Si, ..., zavaruju se na hladno, dok se kod drugih materijala plastičnost veštački povećava zagrevanjem kontaktnih površina na temperaturu koja je niža od temperatura topljenja. Mehanička energija se delimično transformiše u toplotnu, što uzrokuje smanjenje energetskih gubitaka, a pored toga energija je lokalizovana na uske zone odnosno površine koje se spajaju.

2.1 Obradni sistem i tehnološki proces zavarivanja trenjem

Na slici 2. prikazan je jedan obradni sistem za zavarivanje trenjem, koji nećemo posebno komentarisati.

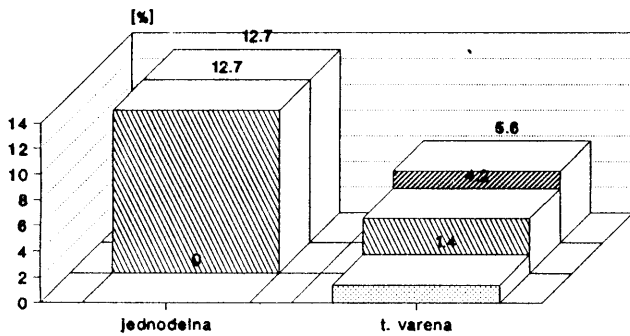
Elementi koji se zavaruju postavljaju se u čeljusti obradnog sistema. Jedan od elemenata počinje da se okreće dok se drugi aksijalnom silom F_t pritiska uz njega. Zbog sila trenja čela elemenata se brzo zagreju do stanja plastičnosti. Posle vremena trenja T_t , obrtanje se zaustavlja i dodatnom silom F_{sp} , u toku vremena sabijanja T_p , elementi se čvrsto spoje. Tok tehnološkog procesa zavarivanja sa parametrima koji ga definišu prikazan je na shemi broj 3.



Sl. 3 Shema toka tehnološkog procesa zavarivanja trenjem
 Technological process of friction welding
 Технологический процесс сварки трением

3. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PRIMENE VARENJA TRENJEM

TROSKOVI MATERIJALA U CENI ALATA za burgiju $\phi 15$

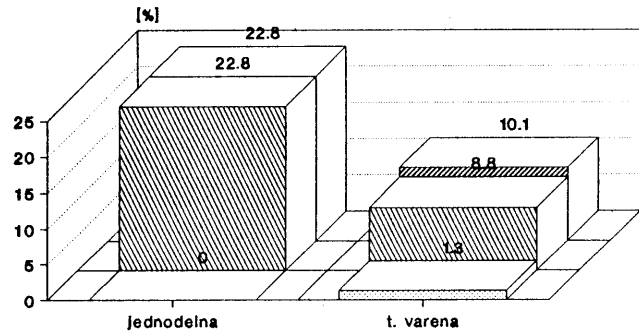


Troškovi materijala u ceni alata za burgiju $d=15$ mm
 Material costs in tool price for drill $d=15$ mm
 Расходы материала в стоимости инструмента для сверла $d=15$ мм

4. ZAKLJUČAK

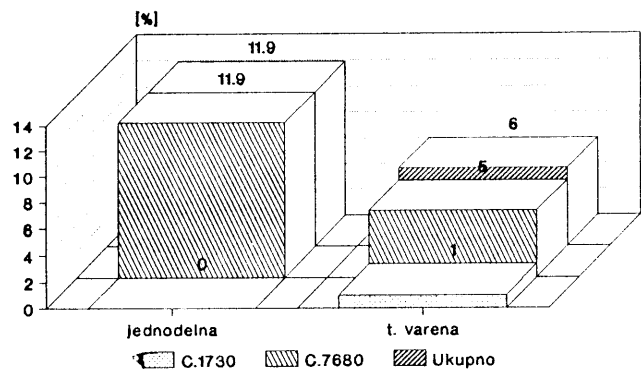
- Proces spajanja metala korišćenjem toplote nastale trenjem je znatno ekonomičniji od ostalih procesa zavarivanja,
- Zavarivanje trenjem se obavlja sa relativno malim utrošcima električne energije, vreme zagrevanja je veoma kratko, retko prelazi 40 sek po zahtvu,

TROSKOVI MATERIJALA U CENI ALATA za burgiju $\phi 100$



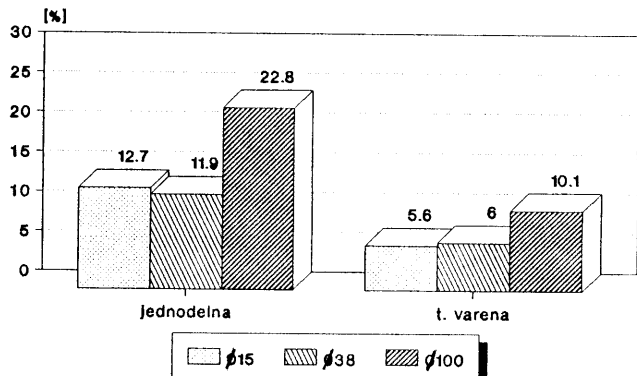
Troškovi materijala u ceni alata za burgiju $d=100$ mm
 Material costs in tool price for drill $d=100$ mm
 Расходы материала в стоимости инструмента для сверла $d=100$ мм

TROSKOVI MATERIJALA U CENI ALATA za burgiju $\phi 38$



Troškovi materijala u ceni alata za burgiju $d=38$ mm
 Material costs in tool price for drill $d=38$ mm
 Расходы материала в стоимости инструмента для сверла $d=38$ мм

TROSKOVI MATERIJALA U CENI ALATA za burgije



Troškovi materijala u ceni alata za burgije
 Material costs in tool price for drills
 Расходы материала в стоимости инструмента для сверла

- Mehanička i druga svojstva zavarenih spojeva ne razlikuju se od svojstava osnovnih materijala,
- Proces spajanja se izvodi sa malim tehnološkim dodacima za mehaničku obradu, što je veoma bitan pokazatelj

telj imajući u vidu da se kod proizvodnje reznih alata radi o masovnoj ili velikoserijskoj proizvodnji,

- Mašine za varenje trenjem ne zahtevaju visokokvalifikovanu radnu snagu, a priprema i eksploatacija ovih obradnih sistema su relativno proste

Ako se respektuju svi napred izneti pokazatelji i napomene učinjene u vezi sa brzoreznim čelicima kao generalni zaključak može se izvesti da se ovoj tehnologiji proizvodnje reznih alata mora posvetiti znatno veća pažnja kako u pogledu širenja spektra njene primene tako i rada na razvoju i daljem unapređenju iste. Tehno-ekonomski pokazatelji, koji su ovde samo naznačeni, to nedvosmisleno potvrđuju.

LITERATURA

- [1.] VILJ V. I.: Svarka metalov trenjem, Mašinstroenie, Moskva, 1970,
- [2.] A. N. DOBROVIDOV: K voprosu o vibore optimalnih režimov svarki trenjem bistrorežušćej stali, R6M5, SP 3/1975.
- [3.] ČIRIĆ R.: Prilog analizi osobina trenjem zavarenih spojeva Č.7680 sa Č.1730, Mag. rad, TMF, Beograd, 1986.
- [4.] JEČMENICA R.: Tribološke karakteristike zavojnih burgija dobijenih različiti tehnologijama izrade, Mag. rad, Mašinski Fakultet Kragujevac, 1980.
- [5.] JEČMENICA R.: Prilog razvoju modela za tehno-ekonomske analize efektivnosti proizvodnih sistema mašinogradnje, Doktorska disertacija, TF, Čačak, 1986.
- [6.] DROBNJAK V.: Toplotne pojave pri brušenju spiralnih burgija iz punog, Doktorska disertacija, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1984.

Techno-economic Analysis of Justification for Application of Friction Welding in Manufacturing of Spiral Drills

Today different technologies are applied in spiral drills production processes. The most common are three technologies: milling, grinding and rolling. Which one is to be applied depends, to a great extent, on the type of available highspeed steels and economic limitations imposed by the customers. In comparing the quality and prices of spiral drills obtained by these three technologies, considerable differences are observed.

We shall analyze only the effect of welding technology, applied only in some cases of spiral drills production, on techno-economic indicators of its justified application.

Техноэкономический анализ целесообразности применения технологии сварки при изготовлении спиральных свёрл

В настоящее время при изготовлении спиральных свёрл применяются различные технологические способы, среди которых наиболее частыми являются фрезерование, шлифование и накапывание. Какой из них будет применяться преимущественно зависит от типа имеющихся быстрорежущих требований, предъявляемых заказчиком. Сравнение качества и себестоимости полученных таким образом свёрл обнаруживает явные различия. В настоящей работе анализируется влияние технологии сварки, применяемой лишь в некоторых процессах изготовления винтовых свёрл, на техникоэкономические показатели целесообразности её применения.