

PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE VIŠEOPERACIONOG DUBOKOG IZVLAČENJA CILINDRIČNIH ELEMENATA

**Miodrag Manić,
Velibor Marinković,
Aleksandar Pantović,
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu**

Projektovanje tehnološkog procesa dubokog izvlačenja tradicionalno se zasniva na "trial and error" metodu, koji je u većini slučajeva neracionalan, jer je dugotrajan i skup. Savremeni pristup projektovanju uopšte, pa i projektovanju tehnoloških procesa, podrazumeva primenu računara i odgovarajućih programskih paketa i alata. Pri tome se postupak projektovanja može automatizovati i izvršiti optimizacija tehnoloških parametara procesa. U radu je prezentovana aplikacija za projektovanje tehnologije višeoperacionog dubokog izvlačenja cilindričnih elemenata (posuda), koja treba da predstavlja deo kompleksnog programa za projektovanje tehnologije i alata za duboko izvlačenje. Aplikacija je kreirana u paketu Visual Basic za personalne računare.

Ključne reči: oblikovanje limova, duboko izvlačenje, cilindrični elementi, Visual Basic

UVOD

Pod dubokim izvlačenjem se podrazumeva proces obrade deformisanjem u kojem se ravan limeni pripremak transformiše u posudu rotacionog ili kutijastog oblika. Proces se realizuje dejstvom pokretnog dela alata - izvlakača na pripremak i njegovim izvlačenjem kroz otvor nepokretnog dela alata - prstena za izvlačenje (Slika 1.) [1], [2], [3].

Duboko izvlačenje limenih elemenata (posuda) se može izvoditi kao:

- a) duboko izvlačenje bez redukcije debljine lima (stanjenja);
- b) duboko izvlačenje sa redukcijom debljine lima ("kombinovano" duboko izvlačenje).

Najjednostavniji limeni elementi dobijeni dubokim izvlačenjem jesu cilindrične posude (bez venca i sa vencem).

Plitke cilindrične posude ($H/d < 1$) mogu se dobiti u jednoj operaciji dubokog izvlačenja. Za dobijanje dubokih cilindričnih posuda potreban je veći broj operacija izvlačenja (ponekad i preko deset) [2], [3], [4], [5].

Manuelni postupak projektovanja i proračuna tehnologije višeoperacionog dubokog izvlačenja je dugotrajan, zamoran i skopčan sa mogućim greškama. Kako je procedura projektovanja ovakvog tehnološkog procesa

poznata i u priličnoj meri "jednoznačna", lako je utvrditi precizan algoritam proračuna, a zatim, kreirati adekvatnu aplikaciju u nekom od standardnih softverskih paketa.

U opštem slučaju računarska podrška projektovanju ne sastoji se samo u drastičnom skraćanju vremena, smanjenju fizičkih napora i eliminisanju grešaka pri proračunu, već i u mogućnosti trajnog memorisanja i čuvanja podataka (dokumentacije), lakog menjanja parametara procesa (modela), odnosno višestrukog ponavljanja procedure, te lakog i brzog nalaženja optimalnog rešenja. Pogodnost primene računara u ove svrhe je i u tome što većina softverskih paketa omogućava i grafičku (vizuelnu) prezentaciju rezultata projektovanja (2D/3D prikazi), a neki od njih i simulaciju procesa obrade deformisanjem [6], [7].

Primenom računara rad projektanta se usredsređuje na kreativni deo posla, dok se zamorne i ponovljive sekvence prepuštaju računaru [8].

PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG PROCESA

Na slici 1.a) je data šema dubokog izvlačenja bez promene debljine lima za prvu operaciju, na slici 1b) za drugu i naredne peracije, a na slici 1c) za poslednju (n-tu) operaciju dubokog

izvlačenja. Prikaz sa slike 1 odgovara uobičajenom ("standardnom") sistemu projektovanja tehnologije i alata za višeoperaciono duboko Izvlačenje. Naime, u ovakvom sistemu se za prvu operaciju koristi izvlakač sa konusom i prsten za izvlačenje sa radijusom, za naredne operacije i prstenovi i izvlakači sa konusom, a u zadnjoj operaciji prsten sa konusom i izvlakač sa radijusom. Ugao nagiba konusa prstenova za duboko izvlačenje iznosi najčešće 45° .

Kada u procesu dubokog izvlačenja postoji opasnost od stvaranje nabora (gužvanja) lima, pripremak se tada mora da pridržava držačem lima. Po pravilu, pri dubokom izvlačenju relativno debelih limova ova opasnost ne postoji, pa ugradnja držača lima nije neophodna. Tada se konstrukcija alata i tehnološki postupak uprošćavaju, a cena gotovih delova snižava. Inače, potreba za držačem lima može da postoji u svim ili samo pojedinim operacijama dubokog izvlačenja [3], [4], [5], [9].

PREDMET ISTRAŽIVANJA

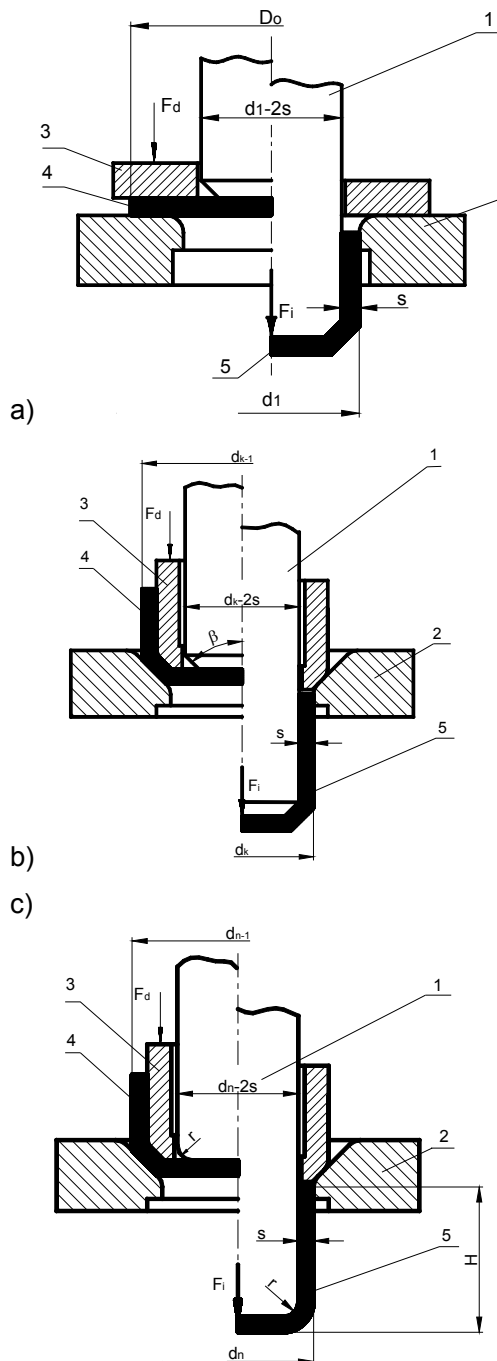
U ovom radu je kreirana aplikacija koja automatizuje projektovanje i proračun tehnologije višeoperacionog dubokog izvlačenja bez redukcije debljine lima cilindričnih posuda (bez venca i sa vencem).

Jedan od važnih ciljeva ovog rada bio je da se kreira takav korisnički program čije će se izlazne informacije i podaci smeštati u odgovarajuću bazu podataka, na osnovu kojih će biti moguće (parametarsko) projektovanje odgovarajućeg seta alata primenom nekog od raspoloživih CAD paketa. Pri tome se ima u vidu da se CAD programi mogu povezivati sa korisničkim programima (u ovom slučaju sa kreiranom aplikacijom), tako da se svaka modifikacija unutar njih, koja utiče na geometriju alata, direktno prenosi na model u CAD programima i menjaju ga.

Primarni zadatak projektovanja tehnologije višeoperacionog dubokog izvlačenja podrazumeva određivanje:

- dodatka za obrezivanje;
- prečnika pripremk;
- broja operacija izvlačenja;
- dimenzija obratka (limene posude) po operacijama dubokog izvlačenja;
- pritiska i sile držača lima po operacijama izvlačenja (ukoliko su držači potrebni);

- napona tečenja po operacijama;
- radnih napona za usvojeni broj operacija dubokog izvlačenja;
- maksimalnih sila za sve operacije dubokog izvlačenja;
- deformacionih radova za sve operacije dubokog izvlačenja.



Slika 1. Šematski prikaz procesa dubokog izvlačenja cilindričnih posuda (1. izvlakač, 2. prsten za izvlačenje, 3. držač lima, 4. pripremak, 5. obradak-izradak)

Tehnološki proces višeoperacionog dubokog izvlačenja cilindričnih elemenata je osnov i za projektovanje tehnološkog procesa višeoperacionog dubokog izvlačenja koničnih elemenata i elemenata drugih formi [10], [11].

KORISNIČKI PROGRAM

Razvijana aplikacija **DICEL** (**D**uboko **I**zvlačenje **Č**ilindričnih **E**lemenata) omogućava automatizovano projektovanje tehnologije višeoperacionog dubokog izvlačenja cilindričnih elemenata (bez venca i sa vencem) bez redukcije debljine lima uz korišćenje odgovarajuće baze podataka.

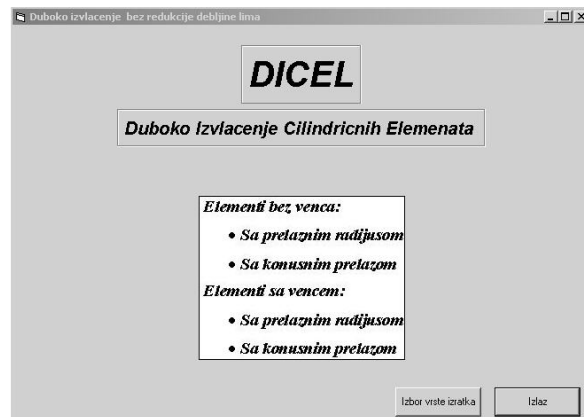
Program je razvijen u Windows okruženju, korišćenjem softverskog paketa Visual Basic. Ovaj paket omogućava kreiranje i/ili korišćenje baza podataka različitih formata (Access, Excel), interaktivan rad, kao i grafičku interpretaciju rezultata proračuna.

Za korisnika je rad sa razvijenom aplikacijom u Visual Basic-u veoma jednostavan, lak i vizuelno atraktivan, pri čemu se od njega ne zahteva poznavanje samog softverskog paketa. Pri projektovanju i proračunu tehnologije dubokog izvlačenja koristi se veći broj podataka i parametara, datih u vidu tablica, dijagrama ili (polu)empirijskih i analitičkih relacija. Zato je korišćenje baze podataka, koja je u ovom slučaju sastavljena od tablica, dobro rešenje za razmatrani problem. U bazi podataka su smeštene empirijske vrednosti odgovarajućih parametara koje program poziva u toku proračuna, pri čemu se kod podataka datih u određenim granicama (intervalima) primenjuje postupak interpolacije. Takođe, nadogradnja baze podataka kreiranjem novih tablica je jednostavna i uvek moguća.

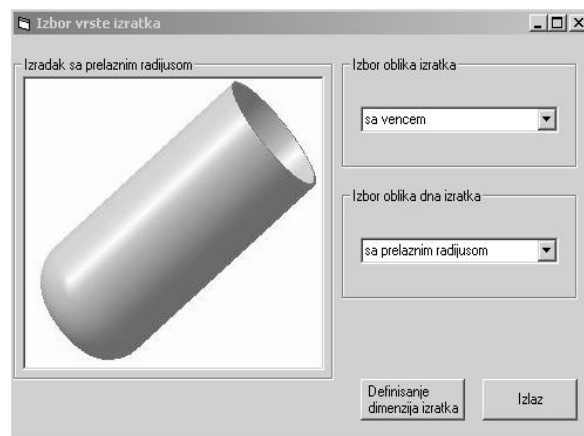
Osnovna komponenta Visual Basic aplikacije je *forma*. Forma je, ustvari, prozor koji sadrži nekoliko različitih objekata. Svi objekti na formi su *kontrole*. Forma se koristi za unos podataka, prikaz podataka ili kombinaciju unosa i prikaza [12].

Program **DICEL** sadrži pet formi. Prva (uvodna) forma pod nazivom “Duboko izvlačenje bez redukcije debljine lima” (Sl. 2.) prikazuje naziv aplikacije i njene mogućnosti. Izborom komande “Izbor vrste izratka” na uvodnoj formi, vrši se prelaz na formu pod istim nazivom, u kojoj se definiše oblik izratka (Sl. 3.).

Pomoću padajućih lista na ovoj formi definiše se geometrija izratka. Klikom na polje za sliku dobijamo prikaz izabranog oblika izratka. Klik na komandu “Definisanje dimenzija izratka” prelazi se na formu pod istoimenim nazivom (Slika 4.).



Slika 2. Prikaz ulazne forme “Duboko izvlačenje bez redukcije debljine lima”



Slika 3. Prikaz forme “Izbor vrste izratka”

U formi “Definisanje izratka i svojstva materijala” definiše se geometrija izratka (spoljašnji prečnik, ukupna visina, debljina lima i unutrašnji prelazni radijus odnosno visina konusnog prelaza), zatim, svojstva materijala, koeficijent trenja, izradna tolerancija izratka i način tolerisanja prečnika izratka. Preko padajuće liste bira se tip krive ojačavanja materijala lima. Nakon definisanja geometrije izratka klikom na polje za prikaz geometrije izratka dobija se vizuelni prikaz (model) izratka.

Komanda “Ponovni izbor oblika izratka” na ovoj formi omogućava povratak na formu “Izbor vrste izratka”, a komanda “Dimenzije priprema i obratka po operacijama” nas vodi na narednu formu pod istim nazivom.

Slika 4. Prikaz forme "Definisanje izratka i svojstava materijala"

Treba naglasiti da se u tekstualna polja na formi "Definisanje izratka i svojstva materijala" ne mogu unositi nerealni podaci. Na primer, nema smisla unositi vrednost nula (osim u tekstualno polje za izradnu toleranciju izratka) ili vrednosti sa negativnim predznakom. Takođe, sa gledišta procesa deformisanja materijala, nema smisla uneti vrednost 100 mm za debljinu lima, ili vrednost 20 za koeficijent kontaktnog trenja i slično. Zato se u kodu komande "Dimenzije pripremk i obratka po operacijama" nalaze ograničenja koja definišu granice u okviru kojih se moraju nalaziti odgovarajuće vrednosti parametara. Ograničenja su sledeća:

- spoljašnji prečnik: $10 \text{ mm} \leq d \leq 500 \text{ mm}$;
- visina izratka: $10 \text{ mm} \leq H \leq 500 \text{ mm}$;
- debljina lima: $0,25 \text{ mm} \leq s \leq 2,5 \text{ mm}$;
- izradna tolerancija izratka: $0 \leq \Delta \leq 0,5$;

- relativna visina $H/d \leq 4$;
- geometrija dna izratka: $2s + 2r \leq d$;
- koeficijent trenja: $0 \leq \mu \leq 0,5$.

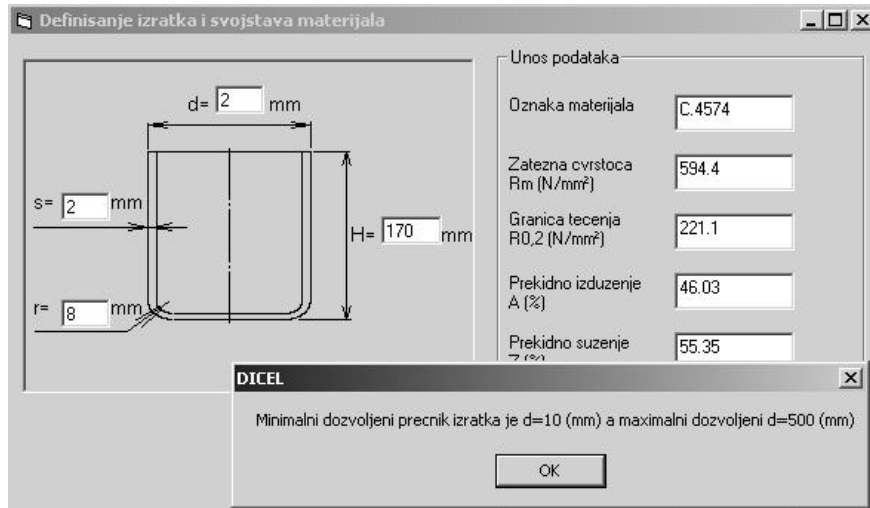
Naravno, navedena ograničenja se mogu uskladiti sa potrebama korisnika.

Ukoliko su u odgovarajuće tekstualno polje unese vrednost koja je manja ili veća od granične, onda se javlja prozor sa porukom (Slika 5). Naime, u konkretnom primeru u tekstualno polje za unos prečnika izratka upisana je vrednost 2. Nakon klika na komandu "Dimenzije pripremk i obratka po operacijama" pojavljuje se poruka koja ukazuje na to da se prečnik izratka mora nalaziti u granicama od 10 mm do 500 mm.

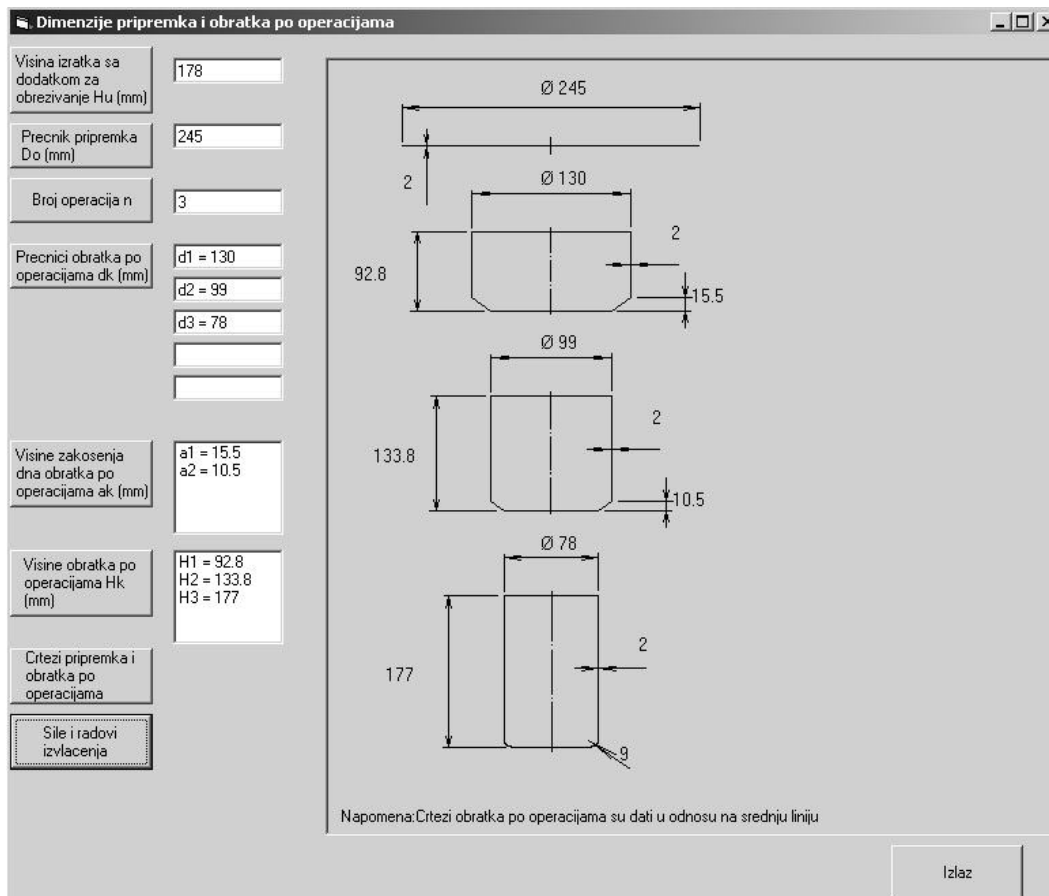
Klikom na komandu "Dimenzije priprema i obratka po operacijama" prelazi se na formu pod istim nazivom (Slika 6).

U okviru ove forme vrši se proračun neophodnih

geometrijskih parametara. Neki od najvažnijih podataka za projektovanje tehnologije i alata za višeoperaciono duboko izvlačenje dati su u okviru ove forme.



Slika 5. Prikaz forme sa porukom



Slika 6. Forma "Dimenzije priprema i obratka po operacijama"

Proračun se odvija sekvencijalno, po logičnom redosledu, a podaci se pojavljuju u predviđenim poljima klikom na odgovarajuće komande.

Ukoliko su pri proračunu zadovoljeni svi uslovi i ograničenja, klikom na komandu "Crteži priprema i obratka po operacijama" u polju za slike se dobija prikaz priprema i obratka po redosledu operacija izvlačenja, sa pripadnim dimenzijama po tzv.srednjoj liniji meridijanskog preseka. Pri navedenom proračunu aplikacija **DICEL** iz date forme kontaktira bazu podataka, te iz odgovarajućih tablica uzima potrebne podatke za proračun.

Na primer, klikom na komandu " Visina izratka sa dodatkom za obrezivanje" program najpre bira iz odgovarajuće tablice dodatak za obrezivanje (Δh), na osnovu visine izratka (H) i redukovane visine izratka (H/d) (Slika 7). U konkretnom primeru datom u ovom radu, na osnovu redukovane visine izratka $H/d=2,125$ i zadate visine izratka $H= 170$ mm, sledi da je visina dodatka za obrezivanje $\Delta h= 8$ mm, što odgovara podatku iz tablice (Slika 7).

H(mm)	Odnos H/d			
	0.50+0.80	0.80+1.60	1.60+2.50	2.50+4.01
	Dodatak Δh (mm)			
9.000+10.00	1	1.2	1.5	2
10.00+20.00	1.2	1.6	2	2.5
20.00+50.00	2	2.5	3.3	4
50.00+100.0	3	3.8	5	6
100.0+150.0	4	5	6.5	8
150.0+200.0	5	6.3	8	10
200.0+250.0	6	7.5	9	11
250.0+300.0	7	8.5	10	12
300.0+350.0	8	9.5	11	13
350.0+400.0	9	10.5	12	14
400.0+450.0	10	11.5	13	15
450.0+500.0	11	12.5	14	16
500.0+550.0	12	14	15	17

Slika 7. Tablica kreirana u bazi podataka

Na sličan način se klikom na komandu "Broj operacija n" iz odgovarajuće tablice usvajaju odnosi izvlačenja (m_k), te na osnovu toga određuje broj potrebnih operacija izvlačenja (n).

Komanda "Sile i deformacioni radovi izvlačenja" otvara formu sa istoimenim nazivom (Slika 8).

U ovoj formi se najpre, po poznatim kriterijumima [3], [4], [5], [9] procenjuje da li je i u kojim operacijama potreban držač lima. Klikom na odgovarajuće komande dobijaju se potrebne informacije. Nakon toga određuju se sile i deformacioni radovi po operacijama dubokog izvlačenja.

Proračun se izvodi egzaktno, po poznatoj metodologiji iz literature [9]. Sila izvlačenja u k-toj po redu operaciji dubokog izvlačenja se određuje po obrascu:

$$F_{ik} = \sigma_{ik} A_i = \pi \cdot d_k \cdot S \cdot \sigma_{ik} \quad (1)$$

gde je:

σ_{ik} (N/mm²) – radni napon u k-toj po redu operaciji dubokog izvlačenja.

U svakoj operaciji dubokog izvlačenja mora biti zadovoljena (ne)jednačina:

$$\sigma_{ik} \leq K_k \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

gde su:

K_k (N/mm²) – napon tečenja (specifični deformacioni otpor) u k-toj po redu operaciji dubokog izvlačenja,

n (-) – broj operacija izvlačenja.

Ukoliko u nekoj od operacija izvlačenja uslov (2) nije ispunjen, javlja se poruka kojom se korisnik upozorava da će se pri aktuelnom radnom naponu doći do razaranja materijala u opasnom poprečnom preseku obratka. Pri tome se nude sledeće opcije:

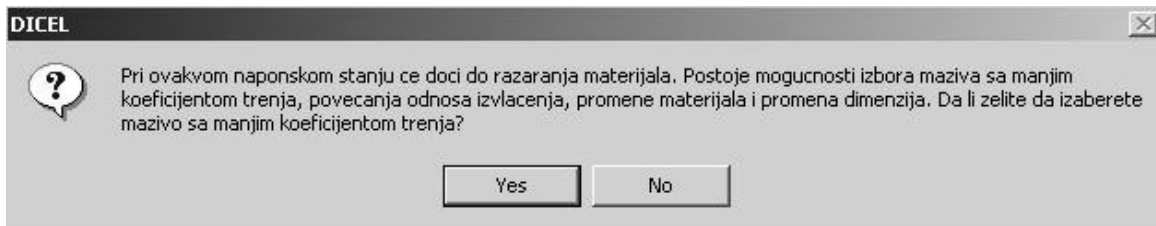
Slika 8. Forma "Sile i deformacioni radovi izvlačenja"

- izbor kvalitetnijeg maziva (smanjenje kontaktnog trenja);
- povećanje odnosa izvlačenja;
- izbor novog materijala lima veće plastičnosti (deformabilnosti);
- korekcija geometrije izratka (radijusi i slično);

- međuoperaciono žarenje obratka.

Dakle, ukoliko dođe do navedene situacije, tada se kao prva opcija korisniku nudi promena koeficijenta trenja tj. izbor kvalitetnijeg maziva (Slika 9). Ova opcija se nudi kao prva, jer je najjednostavnija (a najčešće i najjeftinija).

Naime, ukoliko se ova opcija prihvati i dobije povoljan rezultat, ni do kakvih drugih promena u tehnološkom postupku neće doći u odnosu na prethodni proračun, osim smanjenja sila i deformacionih radova po operacijama izvlačenja.



Slika 9. Upitnik za izbor manjeg koeficijenta trenja

Prema tome, klikom na komandu "Yes" program se vraća na formu "Definisanje izratka i svojstava materijala" gde je potrebno izabrati manji koeficijent trenja. Dalje se postupak ponavlja sve dok se ponovo ne dođe do komande "Sile izvlačenja po operacijama $F_{ik}(N)$ ". Ukoliko se sada pri izvršavanju programa utvrdi da je uslov (2) ispunjen, onda se klikom na komandu "Sile izvlačenja po operacijama $F_{ik}(N)$ " sračunavaju vrednosti deformacionih sila i deformacionih radova po operacijama dubokog izvlačenja i njihove vrednosti prikazuju u odgovarajućim poljima. Izborom komande "No" javlja se nova poruka sa novom opcijom.

Iz napred navedenog se lako može zaključiti da se iza svake komande krije deo koda koji definiše način na koji se sračunavaju traženi parametri procesa, odnosno da kod sadrži obrasce potrebne za sračunavanje pomenutih parametara.

Do korektnog rešenja korisnik dolazi izborom opcija po sopstvenom nahođenju. Naravno, poželjno je da se u konačnom rešenju ne povećava broj operacija izvlačenja u odnosu na prvobitno rešenje, jer se time u proizvodnji povećavaju troškovi i vreme izrade. Ponekad se do zadovoljavajućeg rešenja može doći malom korekcijom geometrije izratka, čime se ne smanjuje upotrebljivost (funkcionalnost) izratka, ali povećava njegovu "tehnoložnost".

ZAKLJUČAK

U radu je prikazana struktura i način korišćenja aplikacije za projektovanje tehnološkog procesa višeoperacionog dubokog izvlačenja cilindričnih elemenata (**DICEL**).

Razvijena aplikacija predstavlja osnov za razvoj sveobuhvatnog programskog paketa, koji bi omogućio projektovanje tehnološkog procesa višeoperacionog dubokog izvlačenja i alata za široki asortiman delova (posuda) rotacionog i nerotacionog (kutijastog) oblika, sa redukcijom i bez redukcije debljine lima.

Struktura razvijene aplikacije je takva da program komunicira sa bazom podataka. Program iz baze podataka uzima potrebne podatke za proračun, s jedne strane, a u istu bazu smešta podatke i informacije dobijene proračunom, koji su neophodni za projektovanje geometrije alata za dati tehnološki proces, s druge strane.

Zato se kao prva mogućnost nadogradnje razvijene aplikacije nameće zadatak parametarskog projektovanja alata za duboko izvlačenje. U tom cilju potrebno je najpre da se u odgovarajućem CAD programu formira parametarski model alata. Pri tome je na raspolaganju veoma povoljna okolnost da svaka izmena parametara procesa direktno utiče na konfiguraciju kreiranog modela alata. Treba naglasiti da je ovde reč o radnim elementima alata (izvlakaču, prstenu, držaču lima), dok je geometrija ostalih delova sklopa alata unificirana i ne zavisi od varijacije parametara tehnološkog procesa.

Modeli alata mogu poslužiti za izradu radioničkih crteža, kao i za analizu i simulaciju procesa primenom metoda konačnih elemenata.

Za korisnika je rad sa razvijenom aplikacijom veoma jednostavan i ugodan, jer se od njega

ne zahteva poznavanje programskih paketa i metoda programiranja. Dovoljno je da korisnik (projektant-tehnolog) prati instrukcije i opcije koje sam program nudi u toku izvršavanja. Interaktivan rad omogućava korisniku da analizom varijanti lako dođe do optimalnog rešenja.

LITERATURA

- /1/ Akaro I.L. i dr.: Osnovnie termini i opredelenija v obrabotke metallov davleniem. " Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", No 8, 1990.
- /2/ Avitzur B.: Metal forming. Lehigh Univesity, Internet, <http://metalfforming-inc.com/Publications/Papers/ref133/ref133.htm>
- /3/ Jahnke H., Retzke R., Weber W.: Umformen und Schneiden. VEB Verlag Technik, Berlin, 1972.
- /4/ Romanovskij V. P.: Spravočnik po holodnoj šampovke. Šestoe izdanie, prerabotannoe i dopolnennoe. "Mašinostroenie", Leningrad, 1979.
- /5/ Musafija B.: Obrada materijala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1988.
- /6/ Park S.B., Choi Y. et al.: A Study of a computer-aided process design system for axisymmetric deep-drawing products. J. Mater. Process. Technol. 75 (1998).
- /7/ Kawka M., Olejnik L. et al.: Simulation of wrinkling in sheet metal forming. J. Mater. Process. Technol. 109 (2001).
- /8/ Stojković V., Milosavljević M.:
- /9/ Projektovanje podržano računarom, Mašinski fakultet, Niš, 1995.
- /10/ Marinković V.: Mašinska obrada, Deo I,

Mašinski fakultet, Niš, 1990.

- /11/ Marčenko V.L. , Rudman L.I. , Zajčuk A.I. i dr.(Pod. obščej redakciej L.I.Rudmana): Spravočnik konstruktora šampov-Listovaja šampovka. "Mašinostroenie", Moskva, 1988.
- /12/ Marinković V., Janković Lj.: Automated design of the multi-layer deep drawing process of the conical parts with the flange. Journal for Technol. of Plasticity, Vol. 23, Number 1-2, 1999.
- .. Norton P.: Visual Basic 6, Kompjuter Biblioteka ,Čačak, 2002.

TECHNOLOGY DESIGNING FOR THE MULTI-STEP DEEP DRAWING OF THE ROUND CUPS

The designing of the deep drawing technological process is traditionally based upon the "trial and error" method that is not rational in most of the cases for its being time-consuming and expensive. The modern approach to the design in general as well as technological processes themselves assumes the use of computer and respective program packages and tools. In applying this approach, the design process can be automated while the technological process parameters can be optimized. The paper presents an application for designing the technology of the multi-step deep drawing of round cups (vessels) that should represent a part of an otherwise complex process for deep drawing technology and tool design. The application is created in the Visual Basic package for personal computers.

Key Words: Sheet metal forming, Deep Drawing, Round cups, Visual Basic