

PROJEKTOVANJE I IZRADA ALATA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTIKE DESIGN AND MOLD MAKING FOR PLASTIC INJECTION MOLDING

Rajan Radulović, Milenko Sekulić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Cilj rada jeste da se ukaže na značaj savremenih vidova obrade u izradi alata za brizganje plastike uz podršku programskog sistema PTC Creo Parametric. Praktičan cilj rada je tehnološki postupak izrade alata za brizganje plastike za konkretan proizvod i proračun izrade konkretnog alata.

Ključne reči: savremeni vidovi obrade, brizganje plastike, PTC Creo Parametric.

Abstract – The aim of this paper is to point out the importance of modern types of processing in the development of plastic injection tools with the support of the software system PTC Creo Parametric. The practical goal of this paper is the technological process of making plastic injection tools for a specific product and the calculation of making a specific tool.

Keywords: modern types of processing, plastic injection, PTC Creo Parametric.

1. UVOD

Brizganje plastike je najvažniji ciklični proces prerade polimera. Alat za brizganje predstavlja specifični i središnji deo sistema za brizganje polimera. Sama izrada alata čini najveći deo troškova u neto ceni gotovog alata. U cilju smanjenja ovih troškova, alatničari danas koriste produktivnije postupke obrade (npr. visokobrzinsko glodanje), nego što je to klasična EDM sa punom elektrodom. U ovom radu je pokazana mogućnost kombinovanja konvencionalnih i nekonvencionalnih postupaka prilikom izrade kalupa, a u cilju optimizacije troškova njihove izrade i dobijanja traženog kvaliteta obrađene površine alata.

2. OSNOVE BRIZGANJA PLASTIKE

2.1 Istorija brizganja plastike

Braća Hyatt su 1872. napravili mašinu koja je omogućavala da se npr. drvena jegra četkice za sapunanje pri brizganju oblože slojem prirodnog plastomera, celuloznog nitrata.

Bio je to početak razvoja brizganja. Veliki preokret u razvoju brizgalica je bilo otkriće pužnog vijka 1950-ih. Razvijen je 1952. i patentiran 1956.

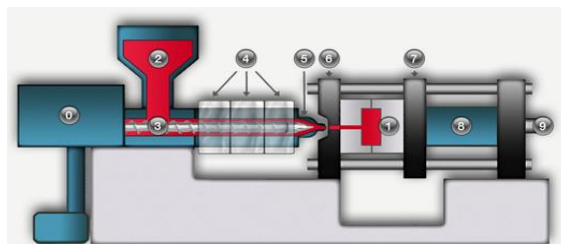
2.2 Brizganje plastike

Jedna od najčešćih metoda prerade plastičnih materijala je proces brizganja.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milenko Sekulić, red.prof.

Kompletna oprema za brizganje plastike sastoji se od: mašine za brizganje plastike, alata za oblikovanje, uređaja za temperiranje [1]. Za brizganje polimernih rastopa potrebna je linija za brizganje plastike. Čine je tehnološki nužna oprema i dopunska oprema [2].



Slika .1 Mašina za brizganje plastike: 0-hidraulični motor; 1-alat za brizganje; 2-levak za dopunjavanje materijala; 3-puž; 4-grejači; 5-mlaznica; 6-nepokretna ploča; 7-pokretna ploča; 8-jedinica za zatvaranje kalupa; 9-izbacivačka jedinica.

Najvažniji parametri kod brizganja plastike su: pritisak ubrizgavanja, hidraulični pritisak u jedinici za ubrizgavanje, pritisak u kalupnoj šupljini, naknadni pritisak, temperatura rastopa, temperatura zida kalupne šupljine, brzina (protok) sredstva za temperiranje idr.

3.0 OSNOVE ZA DEFINISANJE ALATA

3.1 Zahtevi porizvoda

Za optimizaciju karakteristika dela potrebno je uskladiti mehaničke, dimenzione i estetske parametre.

3.1.1 Mehanički parametri

3.1.1.1 Zidovi

Ujendačena debljina zidova će minimizirati naprezanja, vreme hlađenja, razlike u skupljanju, moguće stvaranje šupljina i usaklina na površini

3.1.1.2 Radijusi

Unutrašnji oštri uglovi ili veoma mali radijusi, kao i zarezi, su jedan od glavnih uzroka neuspeha pri brizganju plastičnih proizvoda. Ako je moguće, radijusi treba da budu 0,6 mm ili više da bi se sprečila koncentracija napona između proizvoda i kalupa.

3.1.1.3 Zakošenja zidova

Na proizvodu moraju biti definisani uglovi. Oni treba da su minimalno 1° kod poliranih površina, a više od 3° kod hrapavijih površina.

3.1.1.4 Linije spajanja

Linije spajanja su slabe oblasti formirane ujedinjavanjem tokova plastike, koje mogu dovesti do mehaničkog kvara proizvoda ukoliko nije dobro dizajniran.

3.1.1.5 Ulivni sistem

Optimalni dizajn ulivnog sistema će smanjiti rastojanje protoka istopljene plastike u šupljinu, smanjiti probleme popunjavanja kalupa idr.

3.1.2 Kritičnost dimenzija

3.1.2.1 Skupljanje

U proizvodnim procesima materijali koji prolaze kroz faze promena (od tečne faze do čvrste), uključuju smanjenje specifične zapremine i rezultuju skupljanju.

3.1.2.2 Tolerancije

Usko polje tolerancija može značajno povećati troškove brizganja delova jer može da doda nove korake od projektovanja pa do njegove proizvodnje.

3.2 Zahtevi alata

Pre izrade alata, konstruktor mora odrediti broj jezgara, vrstu čelika, upotrebu toplih dizni, položaj i broj izbacivača, kanale za hlađenje, kao i niz drugih osnovnih parametara alata. Pošto je potrebna temperatura u kalupu najmanje 120°C, potreban je dovoljan broj kanala za hlađenje. Preporučuje se prečnik kanala za hlađenje 10 mm.

4. PROJEKTOVANJE ALATA ZA BRIZGANJE PLASTIKE SA NJEGOVIM PODSISTEMOM

4.1 Savremeni razvoj proizvoda

U svim granama industrije nekoliko faktora dovelo je promena u preduzeću pre svega su to: malo vreme isporuke proizvoda, velika potražnja za unikatnim proizvodima, konkurisanje sličnim proizvodima pristupačnih cena i kvaliteta. U cilju kraćeg ciklusa brizganja treba ići ka tome da rad alata bude što više automatizovan. To zahteva uvođenje CIM strategije vođenja preduzeća. CIM je skraćenica nastala od engleske reči (Computer Integrated Manufacturing), što bi u prevodu značilo računarom integrisana proizvodnja.

4.2 Predmet rada - Razdeljivač trafoa pod visokim naponom

Razdeljivač trafoa je jedan od proizvoda koji se koristi da ne bi došlo do kontakta dva trafoa koji se nalaze jedan pored drugog i koriste se u trofaznom brojilu.

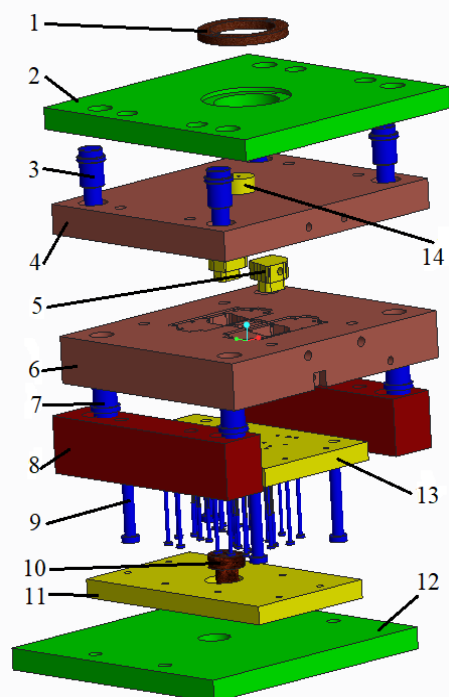
4.3 Primena PTC Creo Parametric 3.0 u procesu projektovanja alata za brizganje plastike

Primena obuhvata realizaciju svih faza projektovanja (definisanje koncepta, projektovanja u užem smislu, analize i verifikacije) kao i pripremu proizvodnje kako delova tako i podsklopova koji čine proizvod (definisanje tehnološkog procesa izrade, programiranje NUMA, optimizacija i verifikacija programa, izrada tehnološke dokumentacije).

4.4 Projektovanje celokupnog alata za brizganje plastike

Za projektovanje alata za brizganje plastike uključen je tim inženjera, kako bi kao rezultat dobili pouzdan alat u što kraćem vremenu, naravno sa pristupačnom cenom. U nastavku se konkretno projektuje alat razdeljivača trafoa sa svim svojim specifičnostima. Kao optimalno rešenje usvojeno je da alat bude sa dve kalupne šupljine, zbog

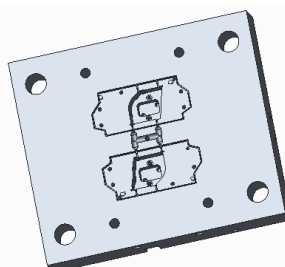
zahteva kupca koji je to tražio i njegovog obima proizvodnje. Na slici 2. dat je 3D prikaz celokupnog alata za brizganje razdeljivača trafoa.



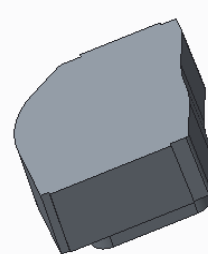
Slika 2 3D prikaz alata za brizganje razdeljivača: 1–centrirajući prsten, 2–gornja temeljna ploča, 3–vodice 4–noseća nepokretna ploča, 5–segmenti, 6–noseća pokretna ploča, 7–čaura, 8–odstojne letve, 9–izbacivači i povratnici, 10–čaura za izbacivanje, 11–izbacivačka ploča, 12–donja temeljna ploča, 13–ploča nosača izbacivača, 14–ulivna čaura

4.4.1 Projektovanje pokretne ploče

Alat za brizganje razdeljivača trafoa je primer sa segmenti koji su bili komplikovani za izradu u celini pokretne ploče. Projektovanje alata je vršeno uz pomoću softvera PTC Creo Parametric 3.0. Plastomer koji se koristi za brizganje ovog predmeta je PC, sa skupljanjem nakon hlađenja 0,5-0,7 %. Zbog toga je neophodno da sve dimenzije kalupne šupljine budu uvećane za tu vrednost kako bi se dobio gotov deo zahtevanih dimenzija. Ugao zida, zavisi pre svega od njegove visine i prosečno iznosi 0,5-2 %, i to za unutrašnje i spoljne površine.



Slika 3. Pokretna ploča



Slika 4. Segment

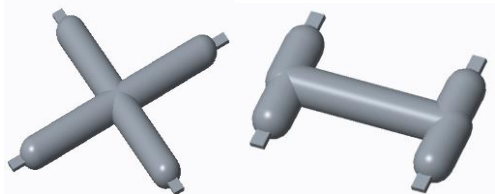
4.4.1.1 Materijal za izradu pokretne i nepokretne ploče

Za materijal od koga je izrađena pokretna i nepokretna ploča, izabran je čelik 40CrMnMo7 (Č2311). To je često primenjiv alatni čelik.

4.4.2 Projektovanje ostalih elemenata

4.4.2.1 Elementi ulivnog sistema

Osnovni elementi ulivnog sistema su sledeći: dovodni kanal, razvodni kanal i ulivni kanal. U samoj izradi alata prvobitni razvodni kanal je bio jednostavnog oblika, kao što se može videti na slici 4., ali je on ostavljao tragove ulivanja na samom gotovom proizvodu. Zbog toga je oblik ovog razvodnog kanala morao biti promenjen, s obzirom da gotov proizvod mora biti providan i poliran do punog sjaja, novi izgled razvodnog kanala dat je na slici 6.



Slika 5. Prvobitni razvodni kanal
Slika 6. Konačni razvodni kanal

4.4.2.2 Sistem za izbacivanje otpreska

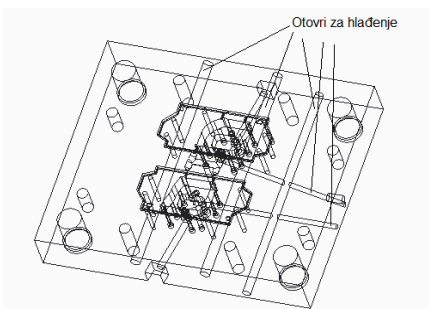
U izradi konkretnog alata korišteni su izbacivači ravne igle i profilni izbacivači odnosno igle sa ravnom stranicom (D igle).

4.4.2.3 Sistem za vođenje i centriranje alata

Alati sa paralelnim vodicama je najrasprostranjenije konstruktivno rešenje za vođenje. Najčešće se primenjuju četiri stuba za vođenje. Ovakve vodice su korištene za vođenje konkretnog alata koji je rađen u ovom master radu.

4.4.2.4 Elementi za temperiranje alata

Elementi za temperiranje alata postoje kod većine alata za brizganje plastike, kako bi se smanjio ciklus brizganja i proizvodnja bila ekonomičnija, potrebno je taj prenos ubrzati.



Slika 7. Kanali za hlađenje u pokretnoj ploči

4.4.2.5 Elementi kućišta alata

Svaki alat predstavlja jedinstvenu celinu, koja se sastoji od više elemenata kao što su ulivni sistem, izbacivački sistem, sistem za temperiranje alata, kalupna šupljina i sistem vođenja alata.

4.5 Standardizacija elemenata

Standardizacija elemenata alata za brizganje plastike je korisna, s čime se može smanjiti vreme isporuke gotovog alata, kao i cena koštanja istog. Standardni delovi konkretno alata su temeljne ploče, pokretna i nepokretna ploče (kokile), ploča nosača izbacivača, izbacivačka

ploča, izbacivači, vodeći stubovi i čaure, odstoje letve, ulivna čaura.

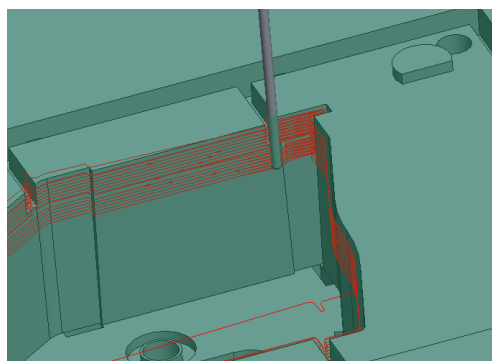
5. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE ALATA ZA KONKRETAN PROIZVOD OD PLASTIKE

5.1 Postavka osnovnog tehnološkog postupka alata za brizganje

Tehnološku dokumentaciju je potrebno izraditi za sve delove alata koji se izrađuju u sopstvenom proizvodnom pogonu. Preduzeća koja posluju sa većim serijama proizvodnje alata, dužna su da tehnološku dokumentaciju izrade na način kako sam taj tip proizvodnje zahteva, dakle što detaljnije, za razliku od alatnica koje se bave izradom alata u pojedinačnoj proizvodnji kao što je ova. U izradi pokretne ploče alata korišćena je kombinacija konvencionalnih i nekonvencionalnih postupaka obrade. Kako se klasičnom EDM obradom može postići kvalitet obrađene površine N6, to je predviđen dodatak od 0,05 mm za naknadnu mehaničku obradu površina šupljina i ulivnih kanala, u cilju dostizanja zahtevanog kvaliteta N4, to se izvodi postupkom poliranja. Tehnološki postupak montaže u ovom primeru alata nije potreban jer se radi o pojedinačnoj proizvodnji alata i montiranje vrše obučeni radnici.

5.2 Tehnologija konvencionalnih postupaka obrade

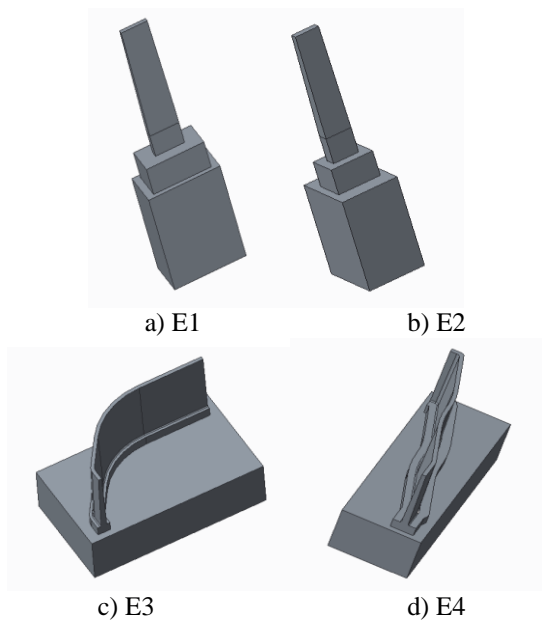
Konvencionalni postupci obrade, odnosno postupci brade rezanjem, kako se drugačije mogu nazvati, spadaju u postupke skidanja materijala rezanjem. Neke od tih obrada su bušenje, glodanje, brušenje i druge. Glodanje je postupak kojim se obrađuju najčešće ravne površine obimnim ili čeonim glodanjem te profilno glodanje idr. Glodanje se danas to vrši na savremenim CNC glodalicama, numerički upravljanim, te se slobodno može nazvati i programskim glodanjem. Kod izrade konkretnog alata korišćena je CNC glodalica MAHO MH700W. Prednost je izbegavanje ručnog pisanja programa na upravljačkoj jedinici mašine, što bi beskrajno trajalo.



Slika 8. Linije prolaza glodala na obratku

5.3 Tehnologija nekonvencionalnih postupaka obrade

Elektroerozivna obrada (EDM) ploče pokretne forme odvija se nakon termičke obrade čelika. Za ovu vrstu obrade korišćena je mašina MULTIFORM DECKEL DE-25. Kao najekonomičnija varijanta je usvojeno da se erodiranje šupljine vrši sa četiri elektrode za fino erodiranje (E1, E2, E3, E4). Zahtevani kvalitet površina šupljine je N6, što je kvalitet erodiranja, tako da je potrebna dodatna obrada poliranjem ili slično.



Slika 9. Prikaz elektroda za erodiranje šupljine u pokretnoj kokili

Potrebno je elektrode izraditi u dvostrukoj tačnosti u odnosu na traženu tačnost obratka nakon obrade. Materijal elektroda je elektrolitički bakar čistoće 99,99%, što obezbeđuje stabilan rad u širim dijapazonima obrade.

5.3.1 Tehnološki parametri obrade

Tehnološke parametre podešavanja generatora i mašine potrebno je pažljivo izabrati za pravilno odvijanje postupka elektroerozivne obrade. Oni se mogu usvojiti iz tabela, dijagrama proizvođača mašina, kao i kroz gotove programe u upravljačkoj jedinici. Elektroda E1 služi za erodiranje otvora za flahaste izbacivače u kalupnoj šupljini. Dok elektrode E2, E3 i E4 služe za erodiranje teško dostupnih površina za glodanje pa su napravljene elektrode da bi se dobila tačnost dimenzija koje su zahtevane. Za završnu obradu parametri su usvojeni takođe iz tabela, prema kombinaciji materijala i kvalitetu obrade.

6. PRORAČUN TROŠKOVA IZRADE ALATA ZA BRIZGANJE PLASTIKE

6.1 Troškovi konstruisanja

Troškovi konstruisanja se određuju na temelju sledećih parametara: broj radnih sati konstruisanja n_{rki} , cena radnog sata za pojedinu fazu konstruisanja C_{rki} i ostali troškovi konstruisanja T_{KONS} . Iz toga proizilazi da osnovni trošak konstruisanja alata za brizganje razdeljivača trafoa iznosi [3]: $T_{KON} = (\sum n_{rki} \cdot C_{rki}) + T_{KONS} = (82 \cdot 1.800,00 + 40 \cdot 1.200,00) + 0 = 148.840,00 [din]$

6.2 Troškovi izrade kalupa

Prilikom konstruisanja kalupa su korišteni standardni elementi gde god je to bilo moguće. Svi standardni delovi su od proizvođača Meusburger. Umeci su nestandardni delovi i moraju napraviti. Ukupna cena materijala, koji se koristi za izradu segmenata, centrirajućeg prstena i čaure za izbacivanje, iznosi $T_{om} = 15.000,00 [din]$ Broj sati za obradu n_{izi} iznosi: 175 h. Prosečna cena radnog sata operatera na mašini, iznosi $C_{izi} = 2.400,00 [din]$. Troškovi

nabavke standardnih delova iznose $T_{sd} = 212.950 [din]$

Ukupna cena obrade kalupa iznosi:

$$T_{iz} = \sum n_{izi} \cdot C_{izi} = 175 \cdot 2.400,00 = 420.000,00 [din]$$

Ostali troškovi izrade kalupa, u koje ulaze nepredviđeni troškovi dorade ili ispravljanja grešaka tokom izrade kalupa: $T_{KOS} = 20.000,00 [din]$

$$\text{Ukupan trošak izrade kalupa: } T_{IZ_UK} = T_{om} + T_{iz} + T_{sd} + T_{KOS} = 15.000,00 + 420.000,00 + 212.950,00 + 20.000,00 = 667.950,00 [din]$$

Na osnovu prethodno date analize, dobija se fabrička cena koštanja kalupa, koja se sastoji od troškova konstruisanja kalupa (alata) i troškova njegove izrade $T_{UK} = T_{KON} + T_{IZ_UK} = 148.840,00 din + 667.950,00 din = 816.790,00 din$ Naime u firmi "Vertex" iz Rume, fabrička cena ovog kalupa se dobija prostim proračunom tako što se nabavna cena materijala pomnoži sa koeficijentom 4, tako da bi ovaj alat, prema tom proračunu koštao 911.800,00 dinara. Razlika između ove cene i cene dobijene detaljnim proračunom troškova iznosi +11,16 %.

7. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada se odnosio na mogućnost povećanja efikasnosti rada u delu tehnološke pripreme proizvodnje i u delu same proizvodnje alata za brizganje plastike u preduzeću "Vertex". Rezultati sprovedenih istraživanja mogu se podeliti u dve osnovne celine. Prva celina rada se bavi konkretnim projektovanjem alata za izradu razdeljivača trafoa. Drugu celinu rada čini detaljan prikaz tehnologije izrade alata, na osnovu prethodno izrađene tehničke dokumentacije. Poseban doprinos ovog rada predstavlja proračun troškova izrade gotovog alata za brizganje plastike. Brojni testovi pokazuju da procene troškova mogu varirati više od 20 % za iste uslove. Zbog toga moderne informacione tehnologije moraju biti korišćene u svakoj fazi procene troškova.

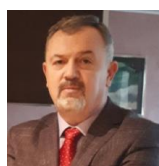
8. LITERATURA

- [1] Vilotić, D.: Mašine za injekciono presovanje, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [2] Rogić, A., Čatić, I.: Injekcijsko prešanje polimera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1996.
- [3] Vučić, S.: Metodičko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje kućišta električnog sklopa, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.

Kratka biografija:



Rajan Radulović rođen je u Vukovaru 1994. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva odbranio je 2020. godine.



Milenko Sekulić rođen je u Prijepolju 1966. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2007. god., a od 2017. je zvanju redovnog profesora. Uža naučna oblast su mu procesi obrade skidanjem materijala.