

37. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

37th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS



UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Beograd, maj 2011.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

658.5:004.382(082)
004.896(082)
621.7/.9-52(082)
007.52:658.5(082)
005.22(082)

ZBORNIK radova = Proceedings / 30.
simpozijum CIM u strategiji tehnološkog
razvoja industrije prerade metala [i] 24.
simpozijum CAD/CAM [i] 33. simpozijum NU -
ROBOTI - FTS [i] 39. simpozijum Upravljanje
proizvodnjom u industriji prerade metala [i]
17. simpozijum Menadžment kvalitetom [sve ovo
u okviru] 37. Jupiter konferencija [sa
međunarodnim učešćem] = [37th Jupiter
Conference with Foreign Participants],
Beograd, maj 2011. ; organizator Univerzitet
u Beogradu, Mašinski fakultet = [University
of Belgrade, Faculty of Mechanical
Engineering]. - Beograd : Mašinski fakultet,
2011 (Beograd : Planeta print). - 1 knj.
(razl. pag.) : ilustr. ; 30 cm

Radovi na srp., engl. i rus. jeziku. - Tekst
ćir. i lat. - Tiraž 150. - Str. V: Predgovor
/ Ljubodrag Tanović. - Napomene i
bibliografske reference uz tekst. -
Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7083-724-9

1. Јупитер Конференција (37 ; 2011 ;
Београд) 2. Симпозијум СИМ у стратегији
технолошког развоја индустрије прераде метала
(30 ; 2011 ; Београд) 3. Симпозијум CAD/CAM
(24 ; 2011 ; Београд) 4. Симпозијум NU -
ROBOTI - FTS (33 ; 2011 ; Београд) 5.
Симпозијум Управљање производњом у
индустрији прераде метала (39 ; 2011 ;
Београд) 6. Симпозијум Менаџмент квалитетом
(17 ; 2011 ; Београд) 7. Машински факултет
(Београд)
а) Производно машинство - Зборници б) СИМ
системи - Зборници с) CAD/CAM системи -
Зборници д) Вештачка интелигенција -
Зборници е) Флексибилни технолошки системи
- Зборници ф) Машине алатке - Нумеричко
управљање - Зборници г) Управљање
квалитетом - Зборници
COBISS.SR-ID 183538444

37. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS

30. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**



24. simpozijum
CAD/CAM

33. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

39. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

17. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Beograd, maj 2011. godine

37. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNIK RADOVA

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

El. pošta: jupiter@mas.bg.ac.rs

Tehnički urednici:

Prof. dr Ljubodrag Tanović

Mr Mihajlo Popović

Beograd, maj 2011.

Tiraž: 150 primeraka

Štampa: **Planeta print**,

11000 Beograd, Ruzveltova 10, tel.: 011 3088 129

ISBN 978-86-7083-724-9

PREDGOVOR

JUPITER Konferencija, kao najznačajnija stalna aktivnost JUPITER asocijacije (asocijacija industrije, fakulteta, instituta, visokih škola strukovnih studija i komora), prikazuje najvrednije rezultate postignute prethodne godine. Ovogodišnja XXXVII JUPITER Konferencija je prilika da se sagledaju trendovi u domenu nauke, obrazovanja i industrije u Republici Srbiji, da ukaže na prednosti i nedostatke kako bi se što spremnije integrirali u EU.

Organizator, Katedra za proizvodno mašinstvo – Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta, je ambiciozno pristupila organizovanju ove konferencije postavljajući tri cilja: (1) da se ukaže na značaj permanentnog obrazovanja kao preduslova ekonomije zasnovane na znanju; (2) da inicira nove naučne i tehnološke pravce u funkciji razvoja domaće industrije, pre svega njene reindustrijalizacije; (3) definiše novu generaciju naučnih radnika u oblasti proizvodnog inženjerstva u kontekstu definisanih nacionalnih programa.

Predviđeni okrugli sto na temu: **Centar za nove tehnologije – uloga i značaj**, treba da definiše ulogu Centra kao naučnog i tehnološkog poligona koji bi generisao nove ideje, koncepte i proizvode ka njihovim mogućim industrijama. Poseban akcenat će biti usmeren ka povezivanju sa relevantnim naučnim institucijama, našim naučnim radnicima u inostranstvu, međunarodnim projektima i permanentnim inovacijama znanja.

Između dve konferencije u Centru za nove tehnologije formirana je savremena računarska učionica sa deset radnih stanica, namenjena obuci studenata za rad u Autodesk Inventoru sa inicijativom da u narednom periodu preraste u komercijalni edukacioni centar Autodesk.

Na Konferenciji će biti izloženo 55 radova autora iz Srbije i inostranstva.

Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije i OSA Računarski inženjering su finansijskom podrškom omogućili organizovanje ove konferencije kao podršku naporima za unapređenje obrazovanja i nauke u oblasti proizvodnog mašinstva, na čemu im se organizator i ovim putem zahvaljuje.

U ime organizacionog odbora posebno se zahvaljujem svim domaćim i stranim autorima, kao i članovima recenzentskog tima na izvršenim recenzijama.

Dobro došli na XXXVII JUPITER Konferenciju.

U Beogradu, 6. maj 2011.

Prof.dr Ljubodrag Tanović

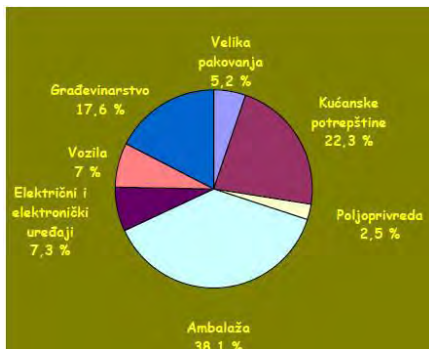
PRIMENA CAD/CAM/CAE PROGRAMSKOG PAKETA PRI PROJEKTOVANJU I IZRADI ALATA ZA LIVENJE POD PRITISKOM DELOVA OD POLIMERA

Apstrakt U radu su prikazani osnovni principi projektovanja proizvoda od polimernih materijala koji se oblikuju livenjem pod pritiskom, kao i osnovni principi projektovanja odgovarajućih alata za njihovo oblikovanje. Imajući u vidu da su zadaci projektovanja spomenutih delova i alata i obrada potrebnih udubljenja u alatima vrlo složen zadatak i u nekim slučajevima je potrebna i izrada prototipova, ovde je data analiza mogućnosti primene CA (Computer Aided) alata u navedenim aktivnostima kroz neke primere primene. Cilj analize je da pokaže u kojoj su meri raspoloživi CA alati u mogućnosti da potpomognu automatizaciju projektovanje proizvoda od polimernih materijala i projektovanje i izradu alata za oblikovanje takvih delova livenjem pod pritiskom. Kao i to u kojoj meri je primena simulacionih modela adekvatna zamena za izradu prototipova.

Gljučne reči: polimerni materijali, CAD/CAM/CAE, alati za livenje pod pritiskom

1. UVOD

Intenzivnija primena polimera počela je pedesetih godina prošlog veka zahvaljujući pre svega velikim mogućnostima sinteze i na taj način dobijanja materijala sa širokim spektrom svojstava. Danas je teško zamisliti neki proizvod na tržištu koji nema neku komponentu izradenu od polimernih materijala (polimera). Polimerni materijali se koriste za izradu: ambalaže za pakovanje hrane i pića, delova aparata i uređaja u domaćinstvu, tekstila, igračkaka, delova električnih i elektronskih uređaja, delova karoserija automobila i mnogih drugih njihovih komponenti a procentualno učešće primene u pojedinim oblastima u EU dato je na slici 1. Vrlo retko se polimerni materijali sastoje isključivo od polimera u izvornom obliku, već obično sadrže brojne dodatke za poboljšanja svojstava (mehaničkih, površinskih, optičkih itd.)



Slika 1. Oblast primene polimera

Relativno lakše oblikovanje u odnosu na metale, mogućnosti estetskog dizajna, i druga pogodna svojstva širila su njihovu primenu u sve oblasti gde čvrstoća, krutost, i druge prednosti metala nisu od primarnog značaja. Poslednje dve decenije, bilo sami ili kao elementi kompozita, polimerni materijali se uveliko primenjuju i za odgovorne mašinske delove.

Postoji više pokušaja klasifikacije i izbora terminologije za klasifikaciju polimernih materijala kao što su na primer klasifikacije prema: hemijskom sastavu, fizičkom ponašanju, prirodi nastanka, ponašanju na povišenim temperaturama itd.

Prema [1] data je podela polimernih materijala prema kriterijumu njihovog ponašanja na povišenim temperaturama na: *termoplastične polimere* (plastomeri), *termoumrežene polimere*

(duromeri) i *elastomere* (guma). U grupu termoplastičnih polimera spadaju materijali sa linearnim i razgranatim lancima molekula koji se mogu više puta prerađivati, dok grupu *termoumreženih polimera* čine materijali sa umreženom strukturom koji se mogu prerađivati samo jedan put (ne mogu da se recikliraju). *Elastomeri* (gume) imaju sposobnost da se elastično deformišu bez kidanja. Potrebna karakteristika za elastično ponašanje je umrežena struktura elastomera. Proces umrežavanja elastomera naziva se *vulkanizacija* (*nepovratan hemijski proces*). Livenje pod pritiskom (injekciono presovanje ili tzv. brizganje) polimernih materijala je jedan od osnovnih postupaka za izradu komadnih proizvoda od termoplastičnih polimera. Po svojim opštim karakteristikama ovaj proces je sličan procesu livenja metala pod pritiskom. Međutim, karakteristična struktura polimernih materijala, sastavljena od dugih lanaca molekula, za posledicu

¹ Dr Ljubodrag Tanović, red. prof., ltanovic@mas.bg.ac.rs; dr Pavao Bojanić, red. prof., pbojanic@mas.bg.ac.rs; dr Radovan Puzović, van. prof., rpuzovic@mas.bg.ac.rs; mr Mihajlo Popović, asistent, mpopovic@mas.bg.ac.rs; G. Mladenović dipl. maš. inž. gmladenovic@mas.bg.ac.rs; Katedra za proizvodno mašinstvo, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Kraljice Marije br. 16

ima niz specifičnosti procesa livenja pod pritiskom (brizganja) polimera u odnosu na pomenuti sličan proces livenja metala. Široka primena procesa livenja pod pritiskom (brizganja) polimera uslovala je reakciju proizvođača CA (Computer Aided) softvera koji su svoje aktivnosti usmerili u dva pravca.

S jedne strane proizvođači komercijalnih CAD/CAM paketa počeli su da razvijaju module za pomoć pri projektovanju proizvoda i odgovarajućih alata za njihovu izradu. S druge strane razvijali su se specijalizovani CAE paketi za simulaciju i analizu samog procesa livenja pod pritiskom (brizganja) polimera (popunjavanje kalupne šupljine, hlađenje, skupljanje i sl.). Tržište danas nudi više CAD/CAM sistema sa ugrađenim pomoćnim modulima pomenute namene – Creo Elements/Pro (Pro/Engineer), Autodesk Inventor, NX (Unigraphics), SolidWorks, Catia, ..., i relativno manji broj CAE sistema za analizu tehnološkog procesa brizganja – Autodesk MoldFlow, Moldex 3D, SIGMASOFT, ...

U nastavku su prikazne neke od aktivnosti koje se sprovode tokom realizacije posmatranih proizvoda a koje nude odgovarajući dostupni softveri (kroz primer primene). Spomenute aktivnosti se mogu načelno podeliti u tri međusobno povezane celine po kojima se može posmatrati primena CAD/CAM/CAE alata [3]:

1) *Projektovanje proizvoda:*

- geometrijsko modeliranje uz analizu tehnoločnosti idejnog rešenja;
- izbor materijala proizvoda;
- analiza konstrukcije sa aspekta postavljenih eksploatacionih uslova uz pomoć CAE alata (skupljanje, ugibi, zaostali naponi, eventualno statičko i dinamičko ponašanje, ...).

2) *Projektovanje alata:*

- geometrijsko modeliranje elemenata alata;
- projektovanje i analiza ulivnog sistema, sistema hlađenja i sistema za izbacivanje izratka;
- projektovanje tehnologije za izradu elemenata alata (NC kod za NUMA).

3) *Projektovanje i analiza tehnološkog procesa:*

- izbor parametara tehnološkog procesa;
- završna analiza i simulacija procesa livenja pod pritiskom (brizganja) kao i kvalitet proizvoda (skupljanje, krivljenje, zaostalih naponi, itd.).

2. PROJEKTOVANJE PROIZVODA

Projektovanje proizvoda od polimernih materijala je definisano njegovom primenom i postupkom proizvodnje (oblikovanja). Pri čemu vrlo važnu ulogu igraju vrsta polimernog materijala od kog se proizvod izrađuje, mogućnosti izrade udubljenja (kalupa) u alatu za livenje pod pritiskom i karakteristike same mašine za oblikovanje (brizgaljke). Ovde je vrlo važna napomenuti potrebu tesne saradnje između projektanta proizvoda, projektanta alata i tehnologa za projektovanje procesa izrade, kako bi se tehnički prihvatljiv proizvod/deo najekonomičnije proizveo.

Najčešće u zahtevima kupaca ostaje niz nedefinisanih pitanja koja utiču na konačno konstruisanje i tehničko-ekonomsku opravdanost izratka (proizvoda/dela), kao što su [2]:

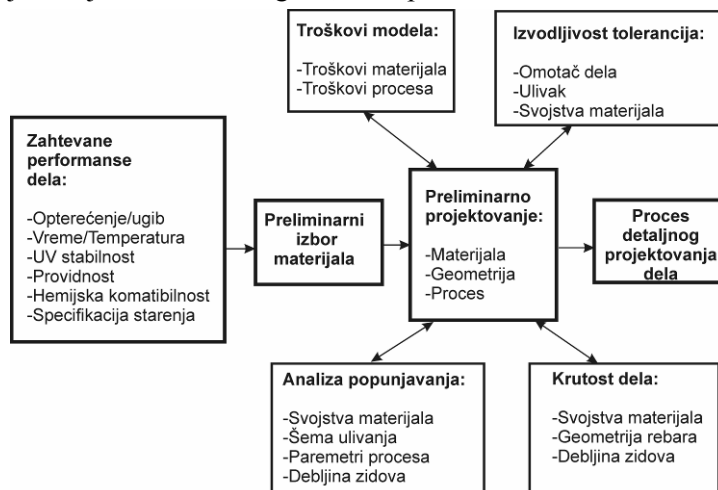
- izbor vrste i svojstava polimernog materijala,
- mogućnost oblikovanja složene površine na proizvodu (nagibi površina, bočni otvori itd.)
- mogućnosti modeliranja tankih zidova (moguća mesta skupljanja materijala),
- mogućnost pojave nepovoljnih oblika (potrebno zaobljenje i/ili obaranje ivica i prelaza),
- mogućnost poštovanja zadatih tolerancija,
- posledice ugradnje delova od metala u proizvod od polimera (moguća unutrašnja naprezanja),
- potreba za dizajnerskom analizom tehnoločnosti dela,
- potreba za naknadnom obradom.

Rešavanje ovih problema zavisi u mnogome od iskustva ljudi i od mogućnosti primene odgovarajućih softverskih alata. U cilju poštovanja dobre inženjerske prakse sugeriše se optimizacija izbora materijala, geometrije i procesa oblikovanja proizvoda, uvažavajući mehaničke mogućnosti procesa i proizvodna ograničenja u meri u kojoj je to moguće. Rešavanje ovih problema zavisi u mnogome od iskustva projektanata (ljudi). Danas u većoj meri neiskustvo projektanata se može kompenzovati primenom softverskih alata. Imajući u vidu značaj izbora vrste i svojstava polimernih materijala kako na projektovanje proizvoda/dela tako i na projektovanje alata za njihovo oblikovanje u radu [4] dat je šematski prikaz (slika 2) softverskog alata za podršku prilikom projektovanja proizvoda (posebna pažnja posvećena izboru materijala, analizi ispunjavanja oblika, funkcionalnosti proizvoda uz poštovanje ekonomskih zahteva).

Komercijalni CAD paketi sa više ili manje uspeha ispunjavaju geometrijske zahteve (kod njih postoje različiti načini obezbeđenja modeliranja složenih površina, ostvarivanje nagiba, i pravljenje kutijastih konstrukcija sa tankim zidovima).

Brzina modeliranja je jedan od pokazatelja prednosti jednog paketa nad drugim, ali treba imati u vidu i druge faktore kao što su iskustvo projektanta, okruženje u koje se model integriše, cena paketa itd.

Dizajnerska analiza tehnološkičnosti dela sa aspekta procesa livenja ostvaruje se ili pomoću posebno ugrađenih CAE modula u CAD/CAM pakete ili specijalizovanim CAE alatima koji na bazi MKE vrše simulaciju i analizu popunjavanja kalupne šupljine, hlađenja, skupljanja, i sl.. Cilj ove analize je da se oceni kvalitet konstrukcije proizvoda u smislu tehnološkičnosti i otklone eventualni nedostaci kao što su: mesta nagomilanog materijala koja otežavaju hlađenje, zatim suviše tanki zidovi, nagle promene toka i drugi elementi strukture koji otežavaju tečenje rastopa. PTC je za ovu namenu u Pro/Engineer, sada Creo Elements/Pro, integrisao CAE paket Moldflow, koji čini modul Plastic Adviser (MPA).



Slika 2. Šematski prikaz softverskog alata za podršku projektovanju proizvoda [4]

3. PROJEKTOVANJE I IZRADA ALATA

Imajući u vidu da alati za livenje pod pritiskom (injekciono brizganje) proizvoda/delova od polimernih materijala imaju centralnu ulogu u toku proizvodnje, njihovo besprekorno funkcionisanje kao i kvalitet izrade određuju ekonomsku opravdanost proizvodnje i kvaliteta proizvoda. Shodno tome vrlo je važno da se u procesu projektovanja i izrade alata vodi računa kako bi se proizveli alati koji postavljanjem na mašinu (brizgaljku) treba da omoguće što veći stepen automatizacije (cilj je skraćivanje vremenskog ciklusa oblikovanja) u proizvodnji proizvoda/dela, što će obezbediti dimenzionu tačnost, kvalitet proizvoda i eliminisati potrebu naknadne obrade (osim u nužnim slučajevima uklanjanje ulivka).

Takođe zbog visokih pritisaka kojima su alati izloženi (trpe velika mehanička opterećenja) u toku procesa oblikovanja, potrebno je pri konstruisanju voditi računa i o izboru materijala (čelici sa visokim mehaničkim i termičkim svojstvima) od kojih će se izrađivati pojedini delovi alata (za svaki alat pojedinačno s obzirom na njegovu namenu). Međutim u nekim slučajevima kad su u pitanju male serije projektovanje skupih alata nema ekonomsko opravdanje, pa je neophodna naknadna mehanička obrada u cilju dorade izradaka prema zahtevima namene samog proizvoda/dela. Bespotrebna štednja na ceni alata, zanemarujući preciznu izradu ili upotrebljavajući loš materijal, greška je koja se kasnije nepovoljno odražava na čitavu proizvodnju.

Alati za livenje pod pritiskom polimernih materijala (termoplastični, termoumreženi i elastomeri) mogu se grupisati sa aspekta praktične primene prema glavnim obeležjima projektovanja i funkcionisanja kao što su:

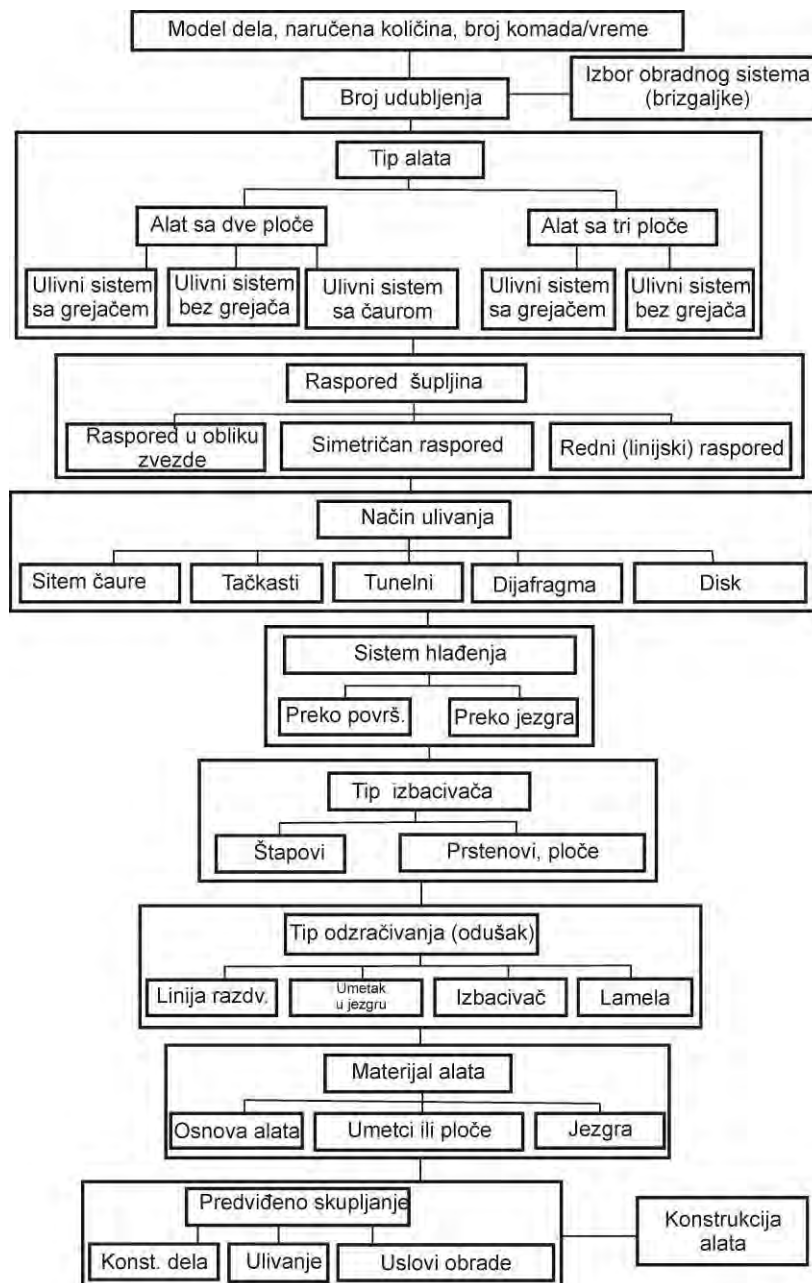
- tip ulivnog sistema (način odvajanja ulivka),
- tip sistema za izbacivanje izradaka (vrsta izbacivača),
- postojanje ili nepostojanje spoljašnjih ili unutrašnjih žlebova (navoja) na proizvodu/delu i
- način na koji se oblikovani proizvodi/delovi odvođaju iz alata (aktiviranje izbacivanja, vađenje jezgra).

Prema DIN ISO standardu 12165 alati za livenje pod pritiskom polimera razvrstavaju se u sledeće grupe:

- standardni alati (sa dve ploče),
- specijalni alati (specifičan sistem vođenja),
- alati sa pločama za skidanje proizvoda/delova iz alata,
- alati sa tri ploče,
- alati sa konusom,
- alati sa grejačima kod ulivnog sistema (toplim ulivnim kanalima).

Takođe postoje alati bez grejača kod ulivnog sistema (hladni ulivni kanali) za obradu termoumreženih smola analogno alatima sa grejačima kod ulivnog sistema koji se koriste za obradu termoplastičnih jedinjenja i elastomera. Na slici 3. dat je dijagram toka aktivnosti pri projektovanju alata za livenje pod pritiskom polimera.

S obzirom na veliki uticaj izbora materijala i načina konstruisanja i izrade alata (dimenzionisanje kalupne šupljine, predviđanje mogućeg skupljanja u alatu i naknadno nakon vađenja iz alata, obezbeđenje kvaliteta površina na alatu, izbor načina hlađenja kalupne šupljine, izbora mesta i oblika ulivnog sistema i izbor sistema za izbacivanje itd.) bilo je potrebno primeniti metod konačnih elemenata (FEM) u procedurama za proračune.



Slika 3. Dijagram toka aktivnosti projektovanja alata za livenje pod pritiskom polimera [5]

Primena metoda konačnih elemenata (FEM) zahtevala je i primenu odgovarajućih softverskih paketa CAD/CAM/CAE u procesima projektovanja proizvoda/delova i projektovanja i izrade alata za njihovo oblikovanje. Korišćenjem ovih metoda i programskih paketa štedi se i vreme i novac, a postiže se optimizacija procesa projektovanja izrade i oblikovanja. Konačni projekat alata nastaje tek pošto se izvrši projektovanje dela, i pojasne se svi zahtevi koji imaju uticaja na projektovanje kalupa.

Činjenica da su elementi alata za livenje plastike izuzetno skupi (i da nema opravdanja da svaka alatnica ima proizvodnju standardnih delova alata s obzirom na brzinu i izrade i kvalitet u eksploataciji) dovela je do toga da su se pojedine firme (DME, HASCO, Strack, EOC, MISUMI, Meusburger, ...) specijalizovale za izradu standardnih elemenata alata (standardna kućišta, vođice, čivije, ploče, ...) kako bi smanjile njihovu cenu (uzimanjem u obzir brzinu izrade alata i kvalitet u eksploataciji nema opravdanja da svaka alatnica ima proizvodnju standardnih delova alata). Većina ovih proizvođača ima i elektronske 3D kataloge standardnih elemenata sa mogućnošću da se isti importuju u sklop alata. Takođe skoro svi proizvođači imaju standardne formate (IGES, STL, ACIS, STEP) a vrlo često imaju i modele u formatima najpoznatijih CAD paketa.

Na taj način projektovanje alata se svodi na njegovo koncipiranje, izbor standardnih elemenata, i projektovanje onih elemenata koji direktno utiču na oblik proizvoda (kalupi, jezgra, izbacivači, umetci). Projektovanje sistema kanala za ubrizgavanje i sistema kanala za hlađenje svodi se uglavnom na modifikacije na prethodno izabranim elementima.

Modeliranje elemenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu (kalup i jezgra) se najčešće ostvaruje kao otisak modela proizvoda, pri čemu se uzima u obzir skupljanja koje nastaje kao posledica hlađenja odlivka posle livenja.

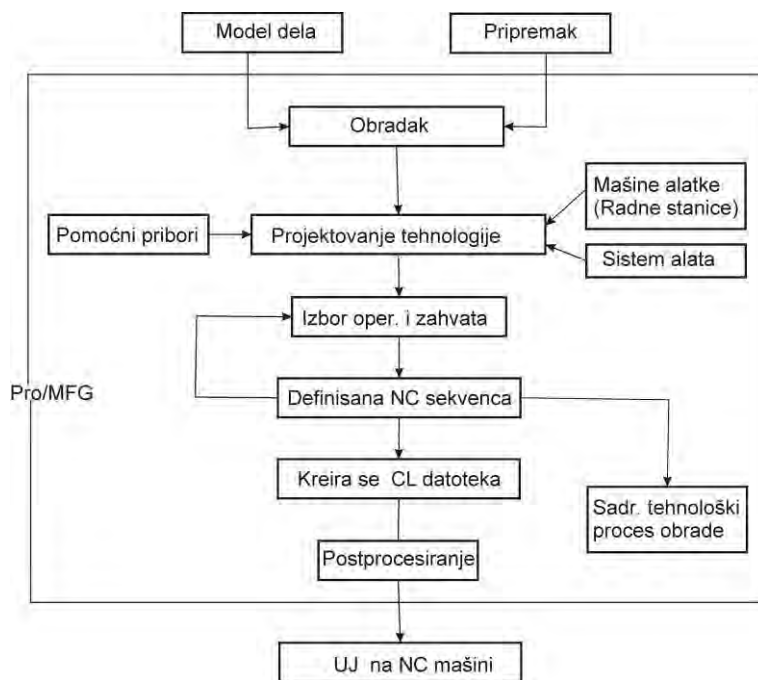
Najveći posao u izradi alata predstavlja izrada elemenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu. Najčešće se obrada (glodanje) ovih elemenata alata izvodi na NUMA-a (obradni centri), a prema NU programima generisanim od strane CAM sistema. Na slici 4. je dat dijagram aktivnosti u pripremi NC programa modula *Pro/MFG*. Tamo gde glodanje nije rešenje najčešće se koristi elektroeroziona obrada sa elektrodama. Pored komercijalnih CAD/CAM paketa u izradi elemenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu i elektroda se uspešno koriste i posebni CAM sistemi: SurfCAM, Vericut, EdgeCAM, Mastercam i drugi.

Za početno koncipiranje i analizu alata može se koristiti Autodesk MoldFlow Adviser. Pomoću njega je moguće projektovati i analizirati ulivni sistem, raspored istih ili različitih delova u kalupu, odrediti silu zatvaranja alata, tok materijala pri popunjavanju kalupa i sl. Balansiranje kalupa u smislu istovremenog popunjavanja svih šupljina i ravnomernog hlađenja je od primarnog značaja.

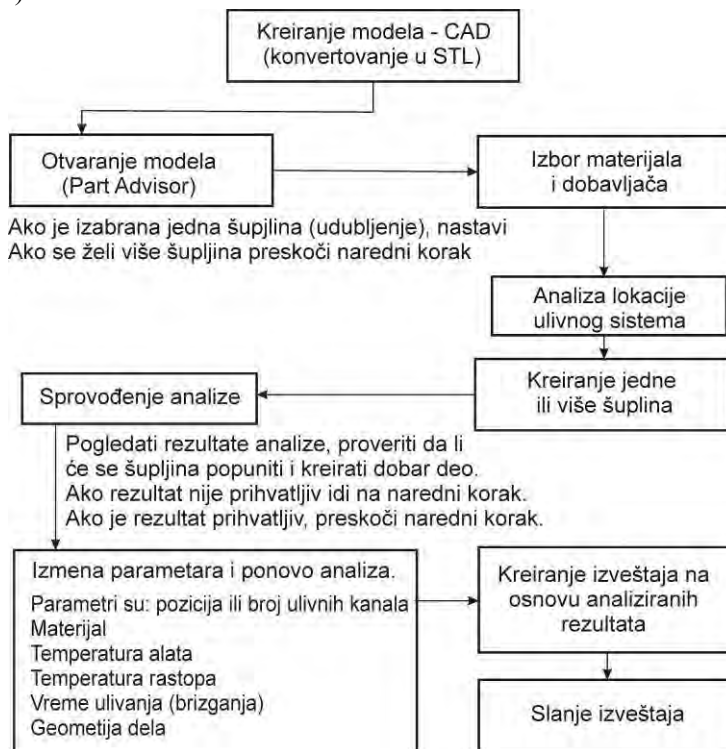
4. PROJEKTOVANJE I ANALIZA (SIMULACIJA) TEHNOLOŠKOG PROCESA

Proces livenja pod pritiskom (injekcionog brizganja) je složen proces i zbog toga je posebno važno kod tehničkih proizvoda usaglasiti sve parametre procesa i dovesti u sklad izabrani polimerni materijal, projektovani alat i odabranu mašinu (brizgaljku).

Uticajni faktori na proces livenja pod pritiskom mogu se prikazati i kroz odgovor na sledeće pitanja: koji je optimalan pritisak potreban za zatvaranje alata, da li je popunjena kalupna šupljina (гнездо), koliko je potrebno vreme za popunjavanje kalupne šupljine, koliko je broj delova koji se mogu istovremeno oblikovati, kolika je radna temperatura, gde je linija razdvajanja, gde treba postaviti sistem za hlađenje itd? Svako od ovih pitanja ako na njega ne postoji adekvatan odgovor odraziće se na kvalitet gotovog proizvoda. Iz tog razloga neophodno je pre konstruisanja a posebno pre izrade izvršiti analizu procesa livenja i dobiti odgovore na postavljena pitanja, te sa tim znanjem krenuti dalje u eventualni redizajn dela i projektovanje ili redizajn alata. Da bi imali brze i što je moguće tačnije odgovore na postavljena pitanja u inženjerskoj praksi se sve više koriste CAE programski paketi koji omogućavaju simulaciju procesa (smanjuje se vreme i troškovi izrade prototipova) i kroz virtuelni dizajn prikaz tih rezultata.



Slika 4. Dijagram toka aktivnosti u modulu *Pro/MFG*



Slika 5. Prikaz dijagrama toka Autodesk Moldflow Advisor simulacije [6]

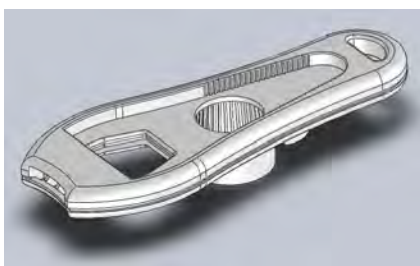
Pomenuti CAE alati u okviru svojih baza materijala, npr. Autodesk Moldflow Advisor (na slici 5. dat je dijagram toka aktivnosti) ima bazu od preko 4000 polimera, sadrže i preporuke za parametre procesa brizganja (pritisak ubrizgavanja, temperaturu rastopa, temperaturu kalupa). Ove preporuke daju proizvođači materijala i osnovno je pravilo da se one ispoštuju kad god je to moguće, a da se eventualni problemi rešavaju izmenama na proizvodu i/ili alatu.

5. PRIMER PRIMENE CAD/CAM/CAE

Na primeru izabranog složenog proizvoda (otvarač za flaše) izrađenog od polimernog materijala „ABS - Akrilonitril-butadien-stirol” prikazano je u skraćenoj verziji projektovanje proizvoda, projektovanje procesa (simulacija) i projektovanje i izrada alata za livenje pod pritiskom primenom CAD/CAM/CAE softverskih paketa (SolidWorks, Autodesk Inventor i Autodesk Moldflow Adviser”, CGTech Vericut).

5.1. Model proizvoda – CAD

Na slici 6 je prikazan preliminarni dizajn proizvoda - otvarač, koji se sastoji iz dva dela i koji je modeliran u programskom paketu SolidWorks Za dalji prikaz i analizu simulacije procesa i projektovanja i izrade alata je korišćen gornji deo otvarača čija su svojstva materijala:



- Koeficijent linearnog toplotnog širenja, $8 \div 13 \cdot 10^{-5}$ mm/K;
- Modul elastičnosti pri istezanju, $1680 \div 2200$ N/mm²;
- Čvrstoća na savijanje $42 \div 78$ N/mm²
- Tvrdća po Rokvelu R75
- Izduženje pri kidanju $6 \div 60$ °C
- Toplotna provodljivost $0,14 \div 0,25$ W/mK
- Specifična toplota $1,25 \div 1,66$ KJ/K kg
- Temperatura omekšavanja $100 \div 120$ °C.

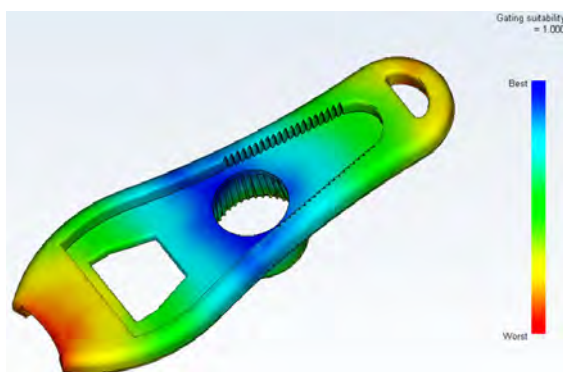
Slika 6. 3D-model „otvarača za flaše“ nakon provere tehnološkičnosti

5.2. Simulacija procesa livenja pod pritiskom (injekciono brizganje) – CAE

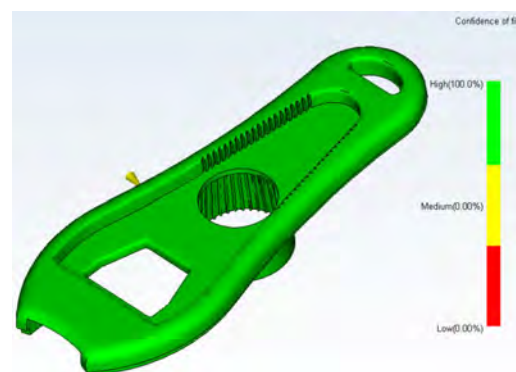
Nakon preliminarnog dizajna proizvoda/dela (izbor geometrije, materijala itd.), izbora procesa oblikovanja (u ovom slučaju livenje pod pritiskom-brizganje) pristupa se simulaciji izabranog procesa oblikovanja u cilju postizanja konačnog oblika proizvoda/dela i određivanja optimalnih parametara.

Simulacijom procesa livenja polimera (korišćen softverski paket Autodesk Moldflow Adviser) moguće je unapred, pre procesa proizvodnje dobiti podatke koji se koriste za analizu kvaliteta realnog proizvoda. Nakon definisanja materijala i parametara procesa, u softveru sledi analiza moguće lokacije ulivnog sistema (slika 7a), koja je veoma bitna sa aspekta popunjavanja kalupne šupljine (na slici 7b je prikazan kvalitet ispune posle izbora mesta ulivanja na osnovu predložene lokacije). Da bi se došlo do rezultata kvaliteta proizvoda/dela, potrebno je izvršiti i ostale analize kao što su: analiza vremena popunjavanja kalupne šupljine, analiza pritiska na kraju procesa livenja (pad pritiska), analiza temperature rastopine/kalup itd.. (slike 8 i 9)

Parametri procesa kao što su pritisak, temperatura kalupa i temperatura rastopa mogu se menjati u zavisnosti od željenog kvaliteta površina dela. Analizirajući više puta proces tečenja materijala kroz kalup možemo doći do najpovoljnijih parametara za željeni kvalitet dela.

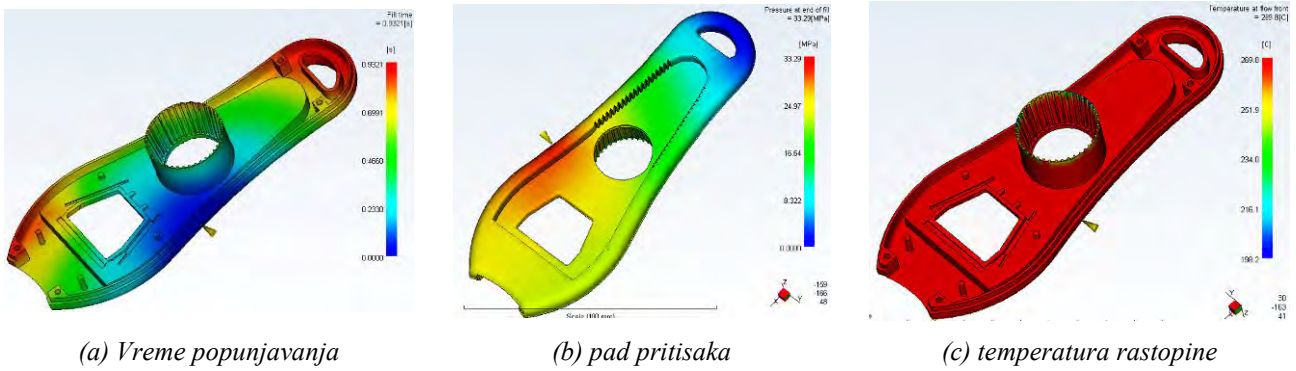


(a) predlog mesta ulivanja

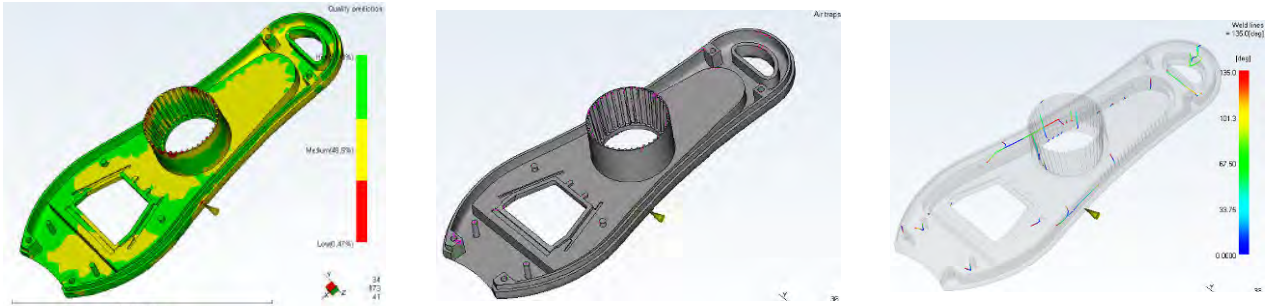


(b) kvalitet ispune posle izbora mesta ulivanja

Slika 7. Definisiranje mesta ulivnog kanala



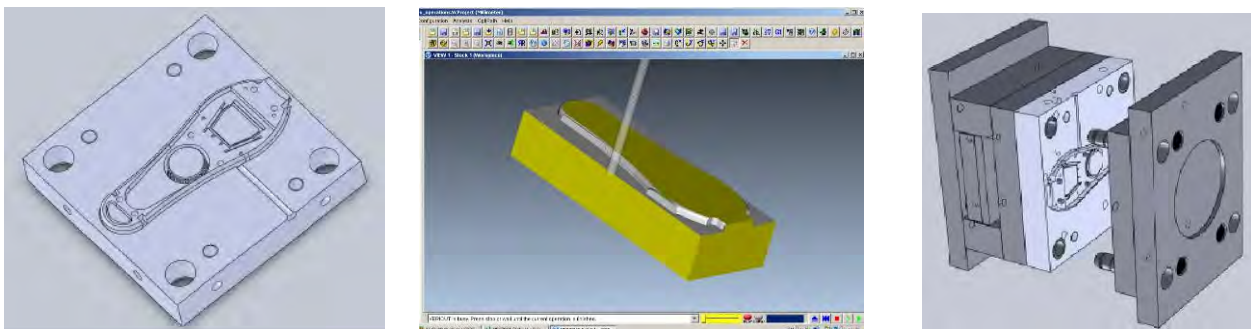
Slika 8. Prikaz dela rezultata analize procesa livenja pod pritiskom



Slika 9. Prikaz dela rezultata analize procesa livenja pod pritiskom (nastavak 1)

5.3 Konstrukcija alata – CAD/CAM

Uspešno projektovanje alata za livenje pod pritiskom polimera, zahteva pažljivo sagledavanje i ispunjenje svih zahteva u pogledu funkcionalnosti samog alata. Potrebno je voditi računa o tehnologičnosti i ekonomičnosti izrade, a da se pri tome ne naruši funkcionalnost. Ovde je dat prikaz dela rezultata iz domena projektovanja alata za livenje pod pritiskom primenom CAD/CAM softvera prema proceduri koja je data u tački 3. Na osnovu dimenzija kalupnih šupljina, željenog oblika dela, hoda alata, tipa vođenja biraju se standardne komponente kućišta alata (katalog izabranog proizvođača), koje se mogu modifikovati prema potrebama. Osnovu kućišta alata čine noseće ploče za pokretni i nepokretni kalup sa stubovima za vođenje i vodičama. Projektovanje donjeg i gornjeg dela kalupa se izvodi vodeći računa o toplotnom skupljanju materijala i položaju podeone ravni po kojoj se alat i razdvaja. Na slici 10a dat je prikaz modela donje kalupne šupljine. Obrada ove kalupne šupljine se izvodi na CNC glodalici, za koju je definisan NC program za obradu u programu Vericut. Na slici 10b je prikazana simulacija obrade jednog od zahvata. Na slici 10c. je dat prikaz modela kompletnog alata za livenje pod pritiskom gornjeg dela otvarača.



(a) 3D model donje šupljina kalupa (b) zahvat obrade glodanjem (c) model alata

Slika 10. Prikaz elemenata alata, njihova obrada glodanjem i model alata

6. ZAKLJUČAK

Za svaki proizvod potreban je novi alat, čiji troškovi izrade, vreme izrade i tražena tačnost direktno utiču na kvalitet i cenu proizvoda. Da bi proizvod bio rentabilan treba ga proizvesti ekonomično i plasirati ga na tržište u momentu kada za njim nastaje potreba. Ovo je moguće ostvariti primenom odgovarajućih softvera za konstrukciju i analizu delova, kao i primenom standardnih elemenata alata. Razvoj industrije praćen je i

razvojem programskih paketa koji omogućavaju projektovanje proizvoda i upravljanje proizvodnjom pomoću računara (CAD/CAM). Prednosti primene CAD/CAM u procesu projektovanja alata su:

- Podrška pri projektovanju NC tehnologije za obradu segmenata alata koji formiraju kalupnu šupljinu, a ima i mogućnost kreiranja trodimenzionalnog modela proizvoda (deo ili element alata) učitavanjem iz baze ili automatskim generisanjem.
- Pomoć projektantu da brzo projektuje proizvod/deo i skрати vreme projektovanja alata za livenje pod pritiskom takvih delova.
- Pomoć pri rešavanju ponovljivih i rutinskih zadataka pri izradi alata što pruža bolji kvalitet života i rada što stvara veće zadovoljstvo u radu.
- Pomoć korisnicima da jednostavno izmene geometriju dela, što znači da može da se poboljša i kvalitet projektovanog alata i time smanji broj grešaka.

CAE alati omogućavaju projektantima da koriste numeričke simulacije za: podešavanje konstrukcije novog proizvoda, izbora potrebnih parametara procesa oblikovanja i samim tim povećanje pouzdanosti pri projektovanju alata da se neće pojaviti greške i sve to bez trošenja novca i vremena na izradu prototipova i njihovog testiranja.

I pored toga što se može videti iz prethodnog, da CAD/CAM/CAE alati pružaju veliku podršku projektovanju proizvoda od polimera i odgovarajućih alata, navedena podrška je još uvek nedovoljna da bi se kod složenih i odgovornih delova (obično kompozitni materijali) mogla uvek izbeći izrada probnih komada. U tu svrhu se koriste tehnike kao što su HSM (High Speed Machining), PR (Rapid Prototyping), zatim aluminijumski i silikonski alati, i slično.

Još uvek na tržištu ne postoji integrisan sistem (jedinствен softver) koji bi u potpunosti podržao sve navedene aktivnosti već je za njihovu realizaciju potrebno integrisati više paketa. Realizacija jednog takvog sistema bi podrazumevala dalje približavanje CAE analiza realnom procesu livenja, zatim dalja automatizacija procesa projektovanja alata uz konformniju integraciju elektronskih kataloga standardnih elemenata, i šire mogućnosti u projektovanju sistema kanala za hlađenje.

7. LITERATURA

- [1] Kalpakjian, S., Manufacturing Engineering and Technology, Addison Wesley Publishing Company, USA, 1995.
- [2] Nađ M., Polimerni materijali (plastomeri i elastomeri, konstrukcija i prerada), Zagreb, 1991.
- [3] Kovljenić B., Ivanović R., Puzović R., Popović M., Stanje i perspektive primene CAD/CAM/CAE paketa u projekto. proizv. od plastike i odgovarajućih alata, 29. JUPITER Konfer., Beograd, 2003., pp.2.47-2.50.
- [4] Beiter, K., Cardinal, J., and Ishii, K., "Design for Injection Molding: Balancing Mechanical Requirements, Manufacturing Costs, and Material Selection," To appear in the Proc. of the ASME Computer Integrated Concurrent Design Conference, Sept., 1995, Boston, MA
- [5] Patcharee L., Design, Analysis and Simulation in Injection in-Mold Labeling, Ph.D. dissertation, Institute of Plastics Technology (IKT), University of Stuttgart, 2009.
- [6] Wong, C. T., Shamsuddin S., Napsiah I. & A.M.S. Hamouda., Design and Simulation of Plastic Injection Moulding Process, Pertanika J. Sci. & Techno!. Supplement 12(2): 85 - 99 (2004).
- [7] www.tool-moldmaking.com
- [8] www.autodesk.com
- [9] www.hasco.com

THE APPLICATION OF THE CAD/CAM/CAE PROGRAM PACKAGE IN THE DESIGN AND MANUFACTURING OF CASTING PRESSURE TOOLS FOR PARTS MADE FROM POLYMERS

Abstract. *The paper presents the basic design principles of polymer products molded by pressure casting, as well as the basic principles of appropriate tools design for their molding. Taking into account that the design tasks of mentioned parts and tools as well as machining of required dents in tools is a very complex task and that in some cases the prototypes are required to be made, the paper gives the analysis of the possibilities of applying the CA (Computer Aided) tools in mentioned activities through some examples of application. The aim of the analysis is to demonstrate how much the available CA tools can help the automation of polymeric material product design, and tool design and manufacture for molding such products by pressure casting. Also, the paper shows the degree to which the application of simulation models is an adequate substitution in prototype making.*

Key words: *polymeric materials, CAD/CAM/CAE, pressure casting tools*