

NASTAVNO NAUČNOM VEĆU MAŠINSKOG FAKULTETA U NIŠU

Odlukom Nastavno naučnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu broj 612-299-7/2015 donetoj na sednici održanoj 07. maja 2015. godine. imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu magistarske teze kandidata Saše Nikolića, diplomiranog inženjera mašinstva. Nakon pregleda magistarske teze pod naslovom "**Modeliranje procesa injekcionog brizganja polimernih materijala**", komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

Magistarska teza kandidata Saše Nikolića izložena je na 146 strana, ilustrovana je sa 177 slika i 10 tabela. Sadržaj rada obuhvaćen je sa sedam poglavlja koja obuhvataju uvod i zaključak. U tezi je citirano 58 referenci koje ukazuju na korišćenu literaturu i naučno stručne informacije iz ove oblasti sa interneta. Rad je posvećen istraživanju tehnologije injekcionog brizganja koja obuhvata više naučnih oblasti.

U ovom naučnom radu su pomenute i analizirane neke od osnovnih karakteristika polimernih materijala na kojima se zasniva njihova široka primenljivost i zastupljenost u svim oblastima života i rada. Posebna pažnja posvećena je tehnologiji injekcionog brizganja u zatvorenim alatima i praktičnom rešavanju mnogobrojnih problema uz pomoć naučnih metoda i informacionih tehnologija.

Iz tih razloga u ovom radu primenjene su savremene metode modeliranja procesa injekcionog brizganja plastičnih masa za realizaciju dva različita proizvoda u jednom istom alatu. Radi se o proizvodima kanalizacione instalacije, specifične geometrije, koja je potencijalni uzrok mnogih tehnoloških problema pri izradi tehnologijom injekcionog brizganja. Opisan je sistematizovan pristup generisanja proizvoda od polimernog materijala PP Moplen HP548R ovom tehnologijom, koji podrazumeva korišćenje najsavremenijih tehničko-tehnoloških dostignuća, uz nezaobilaznu primenu nauke i numeričkih metoda za simulaciju samog procesa brizganja u virtuelnom okruženju.

Iz tih razloga su u drugom poglavlju teorijski i praktično opisani procesi injekcionog brizganja termoplasta. Osnovu za generisanje parametara tehnologije čine fizičko hemijske karakteristike termoplastičnih materijala. Ukratko je predstavljena tehnologija injekcionog brizganja, sa svim svojim osobinama, uticajnim parametrima i elementima. Poseban osvrt usmeren je na mašine za injekciono brizganje sa pužnim transportom i plastifikacijom, kao i alatima za brizganje gde se formira kalupna šupljina neophodna za dobijanje gotovog elementa. To su ujedno i ulazni parametri za realizaciju metode konačnih elemenata pri analizi procesa brizganja polimernih materijala.

Kao osnovu matematičkog modela za mrežu konačnih elemenata koja će se koristiti u tehnološkim analizama predstavljen je virtuelni 3D model gotovih proizvoda lukova $\varnothing 75/45^\circ$ i $\varnothing 75/90^\circ$. Virtuelni 3D modeli proizvoda se mogu generisati u CAD programima, što je bio

slučaj u ovom radu, ili brzim tehnologijama 3D skeniranja uzorka složenijih proizvoda koji imaju višestruki značaj u savremenim procesima modeliranja procesa injekcionog brizganja. Njihov značaj ilustrovan je opisom tehnologija 3D štampanja prototipa delova od plastike. 3D štampanja kalupa za brizganje mini serija; 3D skeniranje brizganog dela radi kontrole i upoređivanja sa virtuelnim geometrijskim modelom, kao i za virtuelno modeliranje kompletnog alata za brizganje, sa svim pozicijama i konstruktivnim elementima. Danas se ovakva rešenja mogu naći na tržištu u obliku elektronskih kataloga velikih svetskih proizvođača standardizovanih kućišta alata, čiji modularni pristup konstruisanju donosi velike olakšice i vremenske uštede.

U trećem poglavlju magistarske teze prikazana je teorijska analiza metodom konačnih elemenata injekcionog brizganja lukova $\text{Ø}75/45^\circ$ i $\text{Ø}75/90^\circ$. Centralno mesto ima projektovanje osnovnih elemenata alata, geometrije kalupne šupljine, ploča kalupne šupljine alata, razvodnih i ulivnih kanala kao i kanala rashladnog sistema za koje se generišu mreže konačnih elemenata plastičnog kontinuuma u cilju analize parametara strujanja rastopa polimera i odgovarajućih termodinamičkih veličina stanja. Za analizu metodom konačnih elemenata iskorišćen je softverski paket Moldex3D, koji kroz iterativni postupak omogućuje modeliranje i praćenje promene fizičkih parametara i veličina stanja polimernog kontinuuma, ali i brzu promenu i korekciju geometrije kalupne šupljine i alata, odnosno izabranog polimernog materijala, mašine i parametara procesa brizganja. U cilju sagledavanja kompleksnosti teorijske analize, u ovom poglavlju su predstavljeni i objašnjeni neki matematički modeli koji se koriste u numeričkoj analizi procesa brizganja. Promena viskoznosti rastopljenog polimera data je preko Krosovog modela-2 sa Arrheniusovom temperaturnom zavisnošću dok su zakoni održanja mase, momenata i energije uzeti preko "Hale Shaw" aproksimacije.

Softversko određivanje temperature i potrebnog vremena hlađenja moguće je na dva načina. Prvi je kada se na početku zadaje potrebno vreme (normalan proces hlađenja) ili kada se određuje minimalno potrebno vreme hlađenja, odnosno vreme nakon koga je moguće izbacivanje gotovog dela iz alata. Kod drugog postupka softverski se upoređuju predpostvljeno i proračunato vreme hlađenja do postizanja zadatog temperaturnog kriterijuma prema zadatim uslovima i maksimalnoj debljini zida gotovog dela. Za oba načina preduslov je definisanje oblika, geometrije i veličina rashladnog sistema u alatu kako bi odvođenje toplote bilo što ravnomernije iz svih delova zapremine gotovog dela odnosno alata. Ovaj parametar predstavlja vrlo kompleksnu vrednost jer od njega direktno zavisi geometrijska tačnost, sakupljanje, homogenost i struktura gotovog dela ali i tehnološki postupak i produktivnost celog proizvodnog procesa.

Posebna analiza u magistarskoj tezi posvećena je efektu sakupljanja gotovog dela u zavisnosti od pritiska, zapremine i temperature polimernog materijala u alatu tokom i na kraju procesa brizganja. Efekat deformacija i zaostalih napona usled sakupljanja prati se u samom alatu ali i nakon izbacivanja dela iz alata kako bi se stvorila kompletna slika naknadne promene geometrije dela.

Rezultati analize metodom konačnih elemenata procesa brizganja lukova $\text{Ø}75/45^\circ$ i $\text{Ø}75/90^\circ$ prezentovani su u četvrtom poglavlju ove teze kroz tri celine. Za svaki rezultat uporedo je prikazana analiza prvobitnog i poboljšanog rešenja alata na model procesa brizganja. Poboljšano rešenje uzima u obzir izmene na ulivnom i rashladnom sistemu alata i korekciju nekih parametara brizganja. Izmena ulivnog sistema u poboljšanom rešenju se odnosi na smanjenje poprečnog preseka razvodne grane prema manjoj kalupnoj šupljini sa $\text{Ø}8$ na $\text{Ø}7$ mm, smanjenje poprečnog preseka ulivnog ušća takođe na manjoj kalupnoj šupljini i premeštanje mesta ulivnih ušća u obe kalupne šupljine. Rashladni sistem je upotpunjen novim rashladnim kanalima u dva nivoa, koji prate konture kalupnih šupljina. Promene parametara brizganja u poboljšanoj verziji su povećanje temperature alata sa 35 na 50°C , produženo

verme hlađenja sa 11,6 na 20 sekundi i produženo vreme trajanja naknadnog pritiska sa 3,63 na 4 sekunde.

Nakon virtuelnog dizajniranja alata u softverskom paketu Moldex3D Designer i njegove optimizacije saglasno ostalim elementima realnog tehnološkog sistema, na osnovu sprovedene analize brizganja metodom konačnih elemenata u programskom modulu Moldex3D Project, napravljen je eksperimentalni alat za opisane gotove proizvode.

U petom poglavlju prikazani su rezultati eksperimentalnih istraživanja i merenja parametara procesa injekcionog brizganja lukova $\varnothing 75/45^\circ$ i $\varnothing 75/90^\circ$. U tu svrhu izvršena su merenja termovizijskom kamerom temperatura eksperimentalnog kalupa i brizganih elemenata na kraju ciklusa. Prikazani su rezultati praćenja promene sile u realnom vremenu trajanja ciklusa kojom mašina obezbeđuje zatvorenost alata u toku brizganja. Upoređivanjem eksperimentalnih rezultata sa rezultatima analize procesa brizganja metodom konačnih elemenat, došlo se do konačnih zaključaka koji su pomogli da uočene greške i nedostaci na realnom alatu i ostalim delovima tehnološkog sistema budu otklonjeni u što ranijoj fazi. Iz tih razloga, u sklopu ovog poglavlja prikazani su rezultati metode analize rizika (FMEA) evidentiranih i obrađenih grešaka procesa injekcionog brizganja lukova $\varnothing 75/45^\circ$ i $\varnothing 75/90^\circ$ za vreme eksploatacije alata. Rezultati FMEA analize grešaka, sa njihovim sistematizovanim uzrocima i predlozima za njihovo otklanjanje u skladu sa prioriternim vrednostima rizika preduslov su za uspostavljanje efikasnog sistema projektovanja, realizacije, kontrolisanja i podešavanja parametara proizvodnog procesa brizganja u realnom vremenu.

Primenjeni pristup i postupak modeliranja procesa injekcionog brizganja polimernih proizvoda, opisani u ovoj magistarskoj tezi dali su rezultate koji otvaraju mogućnost rentabilne, konkurentne i tržišno isplative proizvodnje. Sa povećanjem broja različitih proizvoda na tržištu, složenosti njihove geometrije, kao i sve većeg broja različitih polimernih materijala povećava se i potrebno vreme za projektovanje tehnologije brizganja. Ovakav pristup nudi rešenja koja se već uveliko primenjuju kod velikih svetskih kompanija koje su lideri u ovoj oblasti proizvodnje. Potreba za novim proizvodima, sa sve zahtevnijim dizajnom, vrhunskim kvalitetom i minimalnom cenom danas na tržištu ostavlja vrlo malo prostora za loš kvalitet, neefikasnu i pogrešnu tehnologiju proizvodnje i prerade polimernih materijala. Potrebe tržišta za funkcionalno i ergonomski sve složenijim proizvodima, modeliranje procesa injekcionog brizganja polimernih materijala postaje sve zahtevnije i praktično ekonomski veoma rizično bez primene procedure modeliranja prezentovane u ovom radu.

Primenjenim naučnim pristupom modeliranja procesa injekcionog brizganja u radu, ispunjeni su tehnološki zahtevi u cilju dobijanja geometrijski tačnog, pouzdanog i kvalitetnog proizvoda u vrlo kratkom i ekonomski isplativom roku, sa minimalnim tehnološkim rizicima koji kod ovih tehnologija mogu u velikoj meri da povećaju finalnu cenu proizvoda.

Na osnovu pregleda magistarske teze i analize prezentovanih rezultata, članovi Komisije konstatuju:

- da podneti rad u potpunosti odgovara temi prihvaćenoj od strane Naučno nastavnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu;
- da je kandidat rezultatima dobijenim u radu pokazao da poseduje naučna i primenjena znanja iz oblasti proizvodnih procesa prerade polimernih materijala, termodinamike, teorije prostiranja toplote, numeričkih metoda za modeliranje kontinuma metodom konačnih elemenata, konstrukcije alata i tehnologije injekcionog brizganja a kao preduslov za izradu ovakvog rada;
- da je kandidat pokazao potreban nivo samostalnosti u naučnim istraživanjima i ispoljio sposobnost analize i sublimacije naučnih znanja iz navedenih oblasti, kao i visoku kreativnost pri kreiranju novih tehnoloških rešenja;

- da magistarski rad predstavlja vredan i originalni doprinos poboljšanju tehnologije injekcionog brizganja primenljiv na slične procese;
- da je rad tehnički obrađen na visokom nivou.

Na osnovu svega napred izloženog, članovi Komisije konstatuju da podneta magistarska teza predstavlja vredan doprinos razvoju tehnologije injekcionog brizganja, projektovanju tehnologije i alata kao i analizi i praćenju procesa u realnim proizvodnim uslovima. Imajući u vidu sve prethodno izloženo, kao i kompleksnost izložene problematike, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Mašinskog fakulteta u Nišu da rad pod nazivom:

"Modeliranje procesa injekcionog brizganja polimernih materijala"

prihvati kao magistarsku tezu i da kandidata Sašu Nikolića, diplomiranog inženjera mašinstva pozove na usmenu odbranu.

Maj 2015. u Nišu i Novom Sadu

Članovi komisije:

1. dr Maldomir Milutinović, docent
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

.....

2. dr Mića Vukić, vanredni profesor
Mašinski fakultet u Nišu

.....

3. dr Saša Randelović, vanredni profesor
Mašinski fakultet u Nišu

.....

vidu sve prethodno izloženo, kao i kompleksnost izložene problematike, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Mašinskog fakulteta u Nišu da rad pod nazivom:

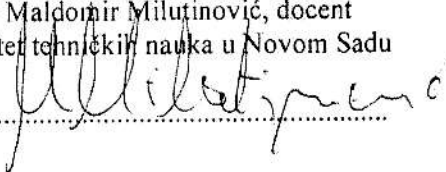
"Modeliranje procesa injekcionog brizganja polimernih materijala"

prihvati kao magistarsku tezu i da kandidata Sašu Nikolića, dipl. inž. mašinstva pozove na usmenu odbranu.

Maj 2015. u Nišu i Novom Sadu

Članovi komisije:

1. dr Mladimir Milutinović, docent
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

.....


2. dr Mića Vukić, vanredni profesor
Mašinski fakultet u Nišu

.....

3. dr Saša Ranđelović, vanredni profesor
Mašinski fakultet u Nišu

.....