

Uvod u sustavnosnu analizu tlačnog lijevanja metalnih taljevina¹

Igor ČATIĆ⁽¹⁾, Maja RUNJIĆ-SOKELE⁽¹⁾
i Zdravko ŽAGAR⁽¹⁾

1) Fakultet strojarstva i brodogradnje,
Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Republika
Hrvatska

Igor.catic@fsb.hr

Keywords

Die-casting,
Injection molding,
Metals,
Plastics,
Rubber,
Systemic analysis.

Ključne riječi

Tlačno lijevanje,
Injekcijsko prešanje,
Metali,
Plastika,
Guma,
Sustavnosna analiza.

Primljeno (Received): 2013-03-15

Prihvaćeno (Accepted): 2013-05-18

Izvorni znanstveni rad

Sažetak: U proteklih pola stoljeća broj postupaka koji su osnovni uzor tlačno lijevanje metala i injekcijsko prešanje plastomera porasta je na više od 260. To zahtijeva poopćavanje i razvoj općeg modela kojim bi bili obuhvaćene sve postojeće inačice navedenih postupaka. Na temelju provedenih istraživanja ustanovljeno je da su tlačno lijevanje i injekcijsko prešanje, prema funkcijama koje trebaju ispuniti u osnovi isti postupci s različitim materijalima i parametrima praoblikovanja. U prvom članku analiziran je povijesni razvoj navedenih postupaka i utjecaj uvođenja novih inačica. To je dovelo do potrebe precizirane terminologije, pa se sada preciznije radi o tlačnom lijevanju metalnih taljevina i injekcijskom prešanju plastomernih taljevina. Na temelju provedenih istraživanja navedeni su faktori koji utječu na sustavnosni pristup tlačnom lijevanju metalnih taljevina. U drugom dijelu opisat će se sustavnosna analiza tlačnog lijevanja metalnih taljevina.

Introduction to systemic analysis of die-casting of molten metals

Original scientific paper

Abstract: In the past half century, the number of procedures that are basic models of metal die casting and injection molding of thermoplastics raised to more than 260. This requires a generalization and development of a general model that would cover all existing versions of these operations. On the basis of research it was found that the die casting and injection molding, according to the functions to be fulfilled, are essentially the same procedures with different materials and primary shaping parameters. The first article analyzes the historical development of the above procedures and the impact of the introduction of the new versions. This has led to the need for refined terminology, so now the terms are more precisely defined as die casting of metal melts and injection molding of thermoplastic melts. On the basis of research are listed factors affecting systemic approach of die casting of metal melts. The second part will describe the systemic analysis of die casting of metal melts.

1. Uvod

Sve snažniji tehnički razvoj očituje se u sve većem broju proizvodnih postupaka i proizvoda. To snažno utječe i na odgovarajuće znanstvene discipline. Koje u pravilu postaju sve brojnije ali i uže, specijaliziranije. Međutim to vodi točkastom znanju koje je moguće prevladati sustavnosno-sintezološkim poopćavanjem.

Raščlane li se sve brojniji proizvodi i proizvodni postupci na njihove temeljne funkcije, uočavaju se njihove istosti ili sličnosti. To je dovelo do zaključka da se jednom razvijene proizvode i proizvodne postupke može samo inovirati [2].

Traženje sličnosti i istosti među proizvodima potaknuta je idejom J. Beckmanna iz 1806. On je tada

napisao da su bitni proizvodni postupci i sredstva djelovanja, alati, dok je vrsta materijala pritom sporedna [3]. U [4] su analizirani postupci injekcijskog prešanja materijala. Tom prilikom uočena je velika sličnost između postupaka injekcijskog prešanja plastomernih taljevina (e. injection moulding of thermoplastics melts, nj. Spritzgießen von thermoplastischen Schmelzen) i tlačnog lijevanja metalnih taljevina (e. die casting of metals melts, nj. Druckgießen von Metallschmelzen). Pri odluci da objave rad [1] autori su se susreli s dva temeljna problema. Od javnog predstavljanja ove teme, nastavili su sustavnosnim istraživanjem povezanosti postupaka, poznatih pod nazivima tlačno lijevanje ili injekcijsko prešanje, što je u pravilu povezano s vrstom prerađivane bezoblične tvari [4-8].

¹ Rad se temelji na tekstu i istoimenom predavanju [1]

Autori izjavljaju da s objavom ovog rada u dva dijela, napuštaju područje istraživanja i pritom smatraju da ima podosta poticaja za nastavak istraživanja.

Tijekom istraživanja na području injekcijskog prešanja plastomernih taljevina došlo se do spoznaje o važnosti treće funkcije procesa, funkcije temperiranja [9-12]. To je potaklo trećeg autora da se u ovaj tekst uključe rezultati njegovih dugogodišnjih istraživanja u praksi [13-16]. Težište ovoga dvodijelnog rada je na sustavnoj analizi procesa tlačnog lijevanja i potrebnog kalupa za tlačno lijevanje metalnih taljevina. Pokazat će se nužnim te klasične nazive za predtlačno lijevanje metala u kalupe precizirati, jer je u međuvremenu razvijen veći broj inačica koje se u osnovi temelje na ovom klasičnom postupku. Tim više, što se neke inačice metala pretlačnim praoblikovanjem

2. Povijesni razvoj

U okviru projekta [17] otkriven je i opisan prirodni model predtlačnog stvaranja tijela. Polazeći od funkcijske analize postupka, ustanovljeno je da je to postupak reprodukcije viših životinja i ljudskih bića [18].

Prva oprema za tlačno lijevanje tiskarskih slova izumljena je 1838. Prvi patent za ručnu tlačnu lijevalicu dodijeljen je Sturgesu 1849. [19]. Pravljenje dijelova tlačnim lijevanjem počelo se širiti krajem 19. stoljeća [19]. Injekcijsko prešanje plastomera razvilo se po uzoru na tlačno lijevanje metala. Klipna ubrizgavalica za preradbu celuloida braće J. W. i I. Hyatta iz 1872. smatra se pretečom suvremenih strojeva za taj postupak. Suvremeno injekcijsko prešanje počinje oko 1920. patentom Nijemca A. Eichengrūna. Bila je to klipna

3. Potreba preciziranja terminologije

3.1. Sustavna osnova za razlikovanje naziva postupaka

Do 1960. bilo je dovoljno naglasiti da se rad o tlačnom lijevanju metala ili injekcijskom prešanju plastike ili preciznije plastomera. Tada na svim područjima dolazi do snažnog razvoja i uvođenja brojnih novih inačica osnovnog postupka. To zahtijeva preciziranje među ostalim i nazivlja pojedinih postupka. Taj zahtjev temelji se općoj funkcijskoj definiciji injekcijskog prešanja odnosno tlačnog lijevanja.

Opća funkcijska definicija te skupine proizvodnih postupaka glasi. Tlačno lijevanje / injekcijsko prešanje ciklički je postupak praoblikovanja ubrizgavanjem tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, odljevak / otpresak, postaje očvršćivanjem : polireakcijom i/ili umreživanjem, geliranjem i/ili hlađenjem podobnom za vađenje iz kalupne šupljine [4].

naziva injekcijskim prešanjem. Stoga će biti ukratko opisan razvoj tlačnog lijevanja metala i navesti suvremene inačice, kako bi se stvorio sustavnosni pristup tlačnom lijevanju kakav sada već postoji za područje preradbe plastike te kaučukovih i keramičkih smjesa.

Sustavna analiza kalupa za tlačno lijevanje metalnih taljevina načinjena je u okviru projekta Primjene opće sustavnosne teorije u općoj tehnici [17] i pokazala je velike mogućnosti te teorije u poopćavanju i boljem razumijevanju proizvodnih postupaka, neovisno o vrsti upotrijebljenog materijala. Posebno se dobri rezultati postižu sintezologijskim pristupom što je ovdje načinjeno. Po gašenju projekta načinjena je sustavna analiza procesa tlačnog lijevanja.

ubrizgavalica koju je konstruirao H. Buchholz, koja je u upotrebi prevladavala sve do šezdesetih godina našega stoljeća [20]. Na temelju patenta H. Becka, tvrtke Ankerwerk iz SR Njemačke uspijeva 1956. proizvesti prvu jednopužnu ubrizgavalicu za plastomere, danas prevladavajuće načelo injekcijskog prešanja i to ne samo plastike [20].

Do snažnog razvoja tlačnog lijevanja metala i injekcijskog prešanja plastike i kaučuka dolazi iza 1960. Razvija se i injekcijsko prešanje keramičkih smjesa. Do sada je razvijeno oko 250 inačica tih postupaka [20] a moguće je primjerice u jednom ciklusu načiniti tzv. 4-otpresak kojeg čine segmenti od metala, plastike, gume i keramike [21].

Ta je definicija neovisna o vrsti materijala. U najviše postupaka se rabe kao bezoblične tvari za praoblikovanje: metalne taljevine, plastične tvari i materijali, kaučukove smjese, elastoplastomeri, glina, cement te njihove kombinacije, pa čak i ljudske stanice [20].

Kod svih opisanih postupaka preradbe bitno je, da se bezoblična tvar ili materijal ubrizga (pretlačno ili podtlačno) u kalupnu šupljinu gdje nastaje jednim od procesa očvršćivanja, potrebna tvorevina, odljevak / otpresak..

Na temelju funkcijske sustavnosne raščlambe, koja promatra potrebne funkcije da se načini željena tvorevina injekcijskim prešanjem plastomernih ili tlačnim lijevanjem metalnih taljevina, moguće je sastaviti jedinstvenu definiciju ta dva postupka, uzimajući u obzir neke pojedinosti. U oba je slučaja za provedbu postupka potrebno promijeniti polazno čvrsto stanje bezoblične tvari. Njezinim zagrijavanjem prevodi

se u ovom slučaju materijal (tehnički upotrebljiva tvar) [21] u stanje taljevine relativno visoke smične viskoznosti. Nakon ubrizgavanja, taljevinu treba ohladiti čime nastaje čvrsto tijelo, tvorevina, propisana geometrijskog oblika. Tlačno lijevanje metalnih taljevina i injekcijsko prešanje plastomernih taljevina zadovoljavaju kriterije definicije izradbenih postupaka. Prema navedenoj sustavnoj, funkcijskoj definiciji, pri preradbi metalnih i plastomernih taljevina suštinski se radi o istovrsnom postupku i procesu, s različitim preradbenim parametrima. Istodobno radi se u

3.2. Izvorni i novi postupci praoblikovanja metala pretlačnim lijevanjem

Pretpostavlja se da se u osnovi poznaje izvorni postupak tlačnog lijevanja metala i stoga ne će biti posebno opisan.

3.2.1. Tikotropni postupci [20, 23]

Postupak tikotropnoga² praoblikovanja razvijen je ranih sedamdesetih godina prošloga stoljeća. U početku kao inačica tlačnoga lijevanja metala, jer su se za taj postupak rabile tlačne lijevalice. Stoga se radi o tikotropnom tlačnom lijevanju pri čemu se ubrizgavanje ostvaruje klipom (e. thixocasting, nj. Thixogießen). Vrlo brzo su uočene velike mogućnosti toga inovativnog postupka, pa su razvijene specijalizirane ubrizgavalice za taj postupak praoblikovanja s pužnim vijkom, a postupak je nazvan tikotropno injekcijsko prešanje (Thixomolding®) [e. injection moulding of magnesium alloys³ (Thixomolding®), nj. Magnesiumspritzgießen (Thixomolding®)]. Taj se postupak temelji na patentu tvrtke Dow Chemical/Thixomat koji je istekao 2002. Po svojim obilježjima tikotropno injekcijsko prešanje metala slično je injekcijskomu prešanju plastomera. Stoga se specijalne ubrizgavalice za tikotropno

2 Tikotropija je vremenski ovisno ponašanje tekućine kojoj opada prividna viskoznost tijekom djelovanja smičnoga naprezanja. Po prestanku smičnoga naprezanja prividna viskoznost koja je obilježje strukturno-viskoznih tvari poprima istu ili blisku vrijednost poslije određenoga vremena oporavka [24]. Prividna viskoznost je omjer smičnoga naprezanja i smične brzine, pri čemu smična brzina nije stalna [25]. Stoga se smična viskoznost mijenja zbog promjene smične brzine ili tijekom vremena. Tekućina (e. fluid) je zajedničko ime za kapljevine (e. liquid) i plinove (e. gas).

3 Kako se najčešće prerađuju tikotropnim injekcijskim prešanjem magnezijeve slitine, odatle njihov naziv u engleskom i njemačkom jeziku.

pravilu o visokotlačnim postupcima. Osim izvornog postupka tlačnog lijevanja metala u međuvremenu su razvijeni i brojni drugi postupci tlačnog lijevanja metala.

To su postupci: tikotropno tlačno lijevanje metala, tikotropno injekcijsko prešanje metala, injekcijsko prešanje metalnih čestica (MIM) te koinjekcijsko prešanje metalnih čestica. Potrebno je ukratko opisati navedene postupke.

injekcijsko prešanje mogu upotrijebiti za preradbu plastomera, dok obrat ne vrijedi.

Danas je tikotropno injekcijsko prešanje jedan od postupaka injekcijskoga prešanja i nije alternativa tikotropnom tlačnome lijevanju.

Oba postupka tikotropnoga praoblikovanja, pretežno magnezijevih slitina, svrstavaju se uz kokilno lijevanje, niskotlačno lijevanje, tlačno lijevanje i centrifugalno lijevanje u postupke praoblikovanja metalnih slitina u stalnim kalupima.

3.2.2. Praoblikovanje metalnih čestica

Prema dostupnim podacima moguće je razlikovati injekcijsko prešanje (MIN) te koinjekcijsko prešanje metalnih čestica (e. co-injection moulding of metals / Mehrkomponenten-Spritzgießen von Metallen [20,23]).

3.2.2.1 Injekcijsko prešanje metalnih čestica (MIM)

Injekcijsko prešanje metalnih čestica [e. injection moulding of metal powder (MIM), nj. Metallpulver–Spritzgießen (MIM)] ciklički je izradbeni postupak praoblikovanja ubrizgavanjem smjese metalnih čestica i polimernoga veziva⁴ potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Nakon vađenja otpreska, tzv. zelenca iz kalupa slijedi uklanjanje polimernoga veziva iz zelenca i postupak srašćivanja metalnih čestica u kompaktnu strukturu. Hlađenjem izradak postaje spreman za upotrebu ili dodatno preoblikovanje postupcima odvajanja čestica [20,26]. Za postupak MIM-a načinjena je sustavnosna analiza [28,29].

4 Preciznije radi se o ultravisoko punjenim plastomerima (udio metalnih čestica je 90 pa i više posto a njihove su izmjere od 1 do 20 µm [27,20]).

3.2.2.2 Koinjekcijsko prešanje metalnih čestica [30,20]

Skupina japanskih istraživača razvila je postupak koinjekcijskoga prešanja metalnih čestica (e. co-injection moulding of metals, nj. Mehrkomponenten-Spritzgießen von Metallen) po uzoru na sve brojnije postupke koinjekcijskoga prešanja plastike i gume.

Osnovna namjena ovoga postupka jest proizvodnja visoko funkcionalnih metalnih kompozita načinjenih od dva različita metalna materijala. Primjerice, načinjeni su otpresci od nehrđajućega čelika (oznaka 630) i čelika oznake 316L. Time je dobivena metalna kompozitna tvorevina tvrde površine i duktilne⁵ jezgre

3.3 Precizno nazivlje postupaka tlačnog lijevanja/injekcijskog prešanja

U tablici 1 uz uobičajene, predloženi su precizniji nazivi postupaka tlačnog lijevanja.

Tablica 1.: Nazivlje postupaka tlačnog lijevanja/injekcijskog prešanja.
Table 1.: Terminology for methods of die casting/injection molding.

Uobičajeni naziv postupka	Ubrizgavanje / tlak	Engleski naziv postupka	Njemački naziv postupka	Precizniji naziv postupka	Uobičajeni naziv postupka	Ubrizgavanje / tlak
Tlačno lijevanje metala	Visokotlačno/klip	Die casting	Druckgießen	Visokotlačno lijevanje metalnih taljevina	Tlačno lijevanje metala	Visokotlačno/klip
Injekcijsko prešanje plastomera	Visokotlačno/klip	Injection moulding of thermoplastics	Spritzgießen von Thermoplasten	(Klipno) injekcijsko prešanje plastomernih taljevina	Injekcijsko prešanje plastomera	Visokotlačno/klip
Injekcijsko prešanje plastomera	Visokotlačno/pužni vijak	Injection moulding of thermoplastics	Spritzgießen von Thermoplasten	(Pužno) injekcijsko prešanje plastomernih taljevina	Injekcijsko prešanje plastomera	Visokotlačno/pužni vijak
Tiksotropno tlačno lijevanje	Visokotlačno/klip	Thixocasting	Thixogießen	Tiksotropno tlačno lijevanje	Tiksotropno tlačno lijevanje	Visokotlačno/klip
Tiksotropno injekcijsko prešanje (Thixomoldin g®)	Visokotlačno/pužni vijak	Injection moulding of magnesium alloys (Thixomoldin g®)	Magnesiumspritzgießen (Thixomolding®)	Tiksotropno injekcijsko prešanje metalnih slitina	Tiksotropno injekcijsko prešanje (Thixomoldin g®)	Visokotlačno/pužni vijak

⁵ Riječ duktilan ne može se jednostavno zamijeniti riječju rastezljiv, mora se uzeti u obzir osim deformabilnosti i iskoristivost rastezne čvrstoće. Pritom je iskoristivost rastezne čvrstoće omjer granice razvlačenja i rastezne čvrstoće [33].

4. Pregled faktora koji utječu na sustavnosni pristup tlačnom lijevanju metala

Na temelju navedenih radova s područja primjene opće sustavnosne teorije, odnosno njezine izvedenice sustavnosne teorije tehnike na području injekcijskog prešanja plastomernih taljevina drugi autor proučava tlačno lijevanje metalnih taljevina. Pritom koristi spoznaje stečene na tom području [13-16]. Iz rada [14] potječu rezultati korelacijske i regresijske analize pomoću koje je određen model međuzavisnosti nekih parametara tlačnog lijevanja.

4.1. Određivanje utjecajnih faktora na kvalitetu izratka [14]

O utjecaju pojedinih faktora procesa tlačnog lijevanja metala na kvalitetu odljevka provedena su mnoga istraživanja. Ustanovljeno je da na kvalitetu odljevaka bitno utječu pogonski promjenjivi faktori, oni koji se mogu podešavati tijekom rada s lijevalicom strojem. To su: tlak taljevine u kalupu, temperatura taljevine, temperatura kalupa, preciznije temperatura stijenke kalupne šupljine⁶ i brzina strujanja taljevine u kalupu. Tijekom istraživanja u radovima [14,16] određena je veličina utjecaja navedenih faktora. Istraživanje je izvršeno na seriji tlačno lijevanih radijatorskih članaka načinjenih od aluminijske slitine sa silicijem, silumina (AlSi9Fe). To su tankostjeni odljevci kompliciranog i kompleksnog oblika, nepropusni na vodeni tlak od 6 bara, dužine gotovo jedan metar, mase oko 2 kg.

Na temelju rezultata provedenih pokusa načinjena je regresijska i korelacijska analiza utjecaja promjene tlaka taljevine (p), temperature kalupa (T_k) i taljevine (T_t) te brzine strujanja taljevine u kalupu (v) na kvalitetu odljevaka (Y_{teor}), te je dobiven matematički model koji opisuje navedenu ovisnost od navedenih faktora [14,16]:

$$Y_{\text{teor}} = 10,900187 + 24,3025 T_k - 8,8499 T_t + 1,2085 p + 1,9596 v - 3,7349 T_k + 0,6222 T_t - 1,0625 T_k T_t \quad (1)$$

Prema određenom matematičkom modelu (1) proizlazi da temperatura kalupa i taljevine, te njihove interakcije utječu na kvalitetu odljevaka značajnije nego tlak ili brzina strujanja taljevine. Kako su do takvog zaključka došli i drugi istraživači pri tlačnom lijevanju drugačijih odljevaka [32-36], na kvalitetu

odljevaka odlučujuće utječu temperature kalupa i taljevine. Pritom valja naglasiti da je temperatura kalupa, preciznije temperatura stijenke kalupne šupljine, nije podesivi faktor već zavisna varijabla koja ovisi o navedenim faktorima: temperaturi taljevine, brzini rada lijevalice (broju ciklusa lijevanja u minuti), rasporedu rashladnih kanala u kalupu, materijalu kalupne šupljine, te temperaturi medija za temperiranje.

4.2. Poticaji za istraživanje temperaturnog polja u kalupu

Na temelju provedenih istraživanja može se zaključiti da je što prije potrebno istražiti vremenski tijek temperature na površini kalupne šupljine tijekom ciklusa, odnosno temperaturno polje u kalupu. Metodologija za ta istraživanja može se pronaći u [10-12]. To je tim poticajnije što iz jednadžbe (1) slijedi da je moguće poremećaj kvalitete odljevaka uslijed promjene zavisne varijable, temperature stijenke kalupne šupljine, ispraviti djelovanjem jednog od podesivih faktora, tlaka ubrizgavanja taljevine. Stoga se proučavanje temperiranja kalupa za tlačno lijevanje metalnih taljevina nameće kao zanimljivo istraživačko pitanje. Tim više što rezultati provedenih istraživanja [32-36] pokazuju da se temperiranju kalupa ne posvećuje potrebna pozornost a i mjerenja temperature površine kalupa s priručnim pirometrima su nepouzdana.

S motrišta sustavnosne analize osobito je važno da postoji signifikantni utjecaj interakcije između temperature kalupa kao funkcije međudjelovanja materijala kalupne šupljine (kalup), temperature medija za temperiranje, brzine rada lijevalice (sustav za temperiranje), temperature taljevine (lijevalica). Time je moguć zaključak da lijevalica, kalup i sustav za temperiranje čine pravi sustav. Naime postoji među njima interakcijsko djelovanje, što je eksperimentalno dokazano pri definiranju sustava za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina [9-13].

5. Zaključak

Najstariji postupak fizičkog predtlačnog praoblikovanja tvari je tlačno lijevanje metalnih taljevina. Prateći povijesni razvoj ustanovljeno je da se na zamislima tog postupka razvilo injekcijsko prešanje, najprije plastike, preciznije plastomera. Od šezdesetih godina dolazi do snažnog razvoja inačica ta dva, u osnovi ista postupka uz različite preradbene parametre. Danas je poznato oko 260 postupaka koji se temelje na ova dva postupka kojih je jedno od osnovnih obilježja ubrizgavanje klipom ili pužnim vijkom. Pri tom se tim postupkom prerađuju najrazličitije tvari i materijali ili njihove kombinacije.

⁶ Ideja da se mora precizirati postojanje temperature stijenke kalupne šupljine potječe iz radova [10-12]. Autorima nije poznato je li postoji koji rad na području tlačnog lijevanja metalnih taljevina u kojem se barata tim pojmom, umjesto temperature kalupa.

Ustanovljeno je da danas postoji više inačica preradbe metala u stanju taljevine, materijala u tiksotropnom stanju i čestica. Zato je načinjeno terminološko preciziranje.

Kao uvod u funkcijsku sustavnosnu analizu procesa tlačnog lijevanja metalnih taljevina i istovjetnu analizu potrebnog kalupa opisana su ukratko provedena pogonska istraživanja koja su omogućila definiranje regresijskog modela. Definiranje to modela omogućilo je zaključak da lijevalica, kalup i temperiralo čine elemente sustava potrebnog za tlačno lijevanje metalnih taljevina.

Zahvala

Rad je dio istraživanja u okviru projekta Primjena sustavnosne teorije u raščlambi opće tehnike, financiranog od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske. Korištene su i spoznaje iz ranijih projekata koje su financirali odgovarajući SIZ-ovi, Ministarstvo znanosti i tehnologije. Autori zahvaljuju svim navedenim subjektima na financijskoj potpori ovog zaključnog istraživanja.

Literatura

- [1] ŽAGAR, Z., RUJNIĆ-SOKELE, M., ČATIĆ, I.: *Sustavnosna analiza kalupa za tlačno lijevanje metalnih taljevina, 12th International Foundrymen Conference - Sustainable Development in Foundry Materials and Technologies*, May 24-25, 2012, Opatija, 483-495.
- [2] ČATIĆ, I.: *Zašto je moguć korjenit razvoj materijala a samo inovativni proizvodnih postupaka i proizvoda?*, Polimeri 24(2003)2-4, 64-73.
- [3] ROPOHL, G.: *Eine Systemtheorie der Technik, zur Grundlegung der allgemeinen Technologie*, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1979.
- [4] ČATIĆ, I., RAZI, N., RAOS, P.: *Analiza injekcijskog prešanja polimera teorijom sustava*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1991.
- [5] ČATIĆ, I., RAOS, P., RAZI, N.: *System Analysis and Morphological Classification of Procedures and Molds for Injection Moulding*, International Polymer Processing 3(1988)4, 196-201.
- [6] GODEC, D., ČATIĆ, I., LONČAR, I.: *Sustavnosni pristup razvoju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera*, Polimeri 20(1999)5-6, 263-271.
- [7] ČATIĆ, I., GODEC, D.: *The mould as the central part of production unit*, Part I, Polimeri 45(2000)3, 151-160.
- [8] ČATIĆ, I., GODEC, D.: *The mould as the central part of production unit*, Part II, Polimeri 45(2000)4, 237-250.
- [9] ČATIĆ, I.: *Dopuna kriterija za izbor čelika za dijelove kalupa za preradu termoplastičnih masa injekcijskim prešanjem*, magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1970.
- [10] ČATIĆ, I.: *Wärmeaustausch in Spritzgießwerkzeugen für die Plastomerverarbeitung*, disertacija, Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch – Westfälische Technische Hochschule, Institut für Kunststoffverarbeitung, Aachen, SR Njemačka, 1972.
- [11] CATIC, I. J.: *Cavity Temperature an Important Parameter in Injection Molding Process*, Polymer Engineering & Science (1979)10, 893-899.
- [12] ČATIĆ, I.: *Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
- [13] ŽAGAR, Z.: *Automatizacija tlačnog lijeva*, 24. livarsko strokovno posvetovanje, Portorož, 1982.
- [14] ŽAGAR, Z., BONAČIĆ, Z.: *Utjecaj tehnoloških parametara tlačne lijevalice na kvalitetu odljevaka kod tlačnog lijeva*, 26. livarsko strokovno posvetovanje, Portorož, 1984.
- [15] ŽAGAR, Z.: *Mogućnost optimalizacije parametara tlačne lijevalice*, FSB, Zagreb, 1985.
- [16] ŽAGAR, Z., BONAČIĆ, Z.: *Utjecaj tehnologije lijevanja na kvalitetu tlačno lijevanih odljevaka*, XII. Zbornik radova FSB, Zagreb, 1988. 198-206.
- [17] Primjena opće sustavnosne teorije u općoj tehnici, I. Čatić, voditelj projekta, projekt MZOŠ (120-0000000-1805), Zagreb, 2007-2011.
- [18] ČATIĆ, I., TILJAK, H., RUJNIĆ-SOKELE, M., PETRIČEK, G.: *Process of Human Reproduction – The Natural Model of Injection Moulding of Living and Non-Living Substances*, u Čović, A. (Hrsg.): *Integrative Bioethik und Pluriperspektivismus - Integrative Bioethics and Pluri-Perspektivism*, Proceedings of the 4th Southeast European Bioethics Forum, Opatija 2008, Academia Verlag, Sankt Augustin, 2011, 309-316.
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Die_casting, pristupljeno 23. kolovoza 2013.
- [20] ČATIĆ, I., JOHANNABER, F.: *Injekcijsko prešanje polimera i ostalih materijala*, Društvo za plastiku i gumu i Katedra za preradu polimera FSB-a, Zagreb, 2004.
- [21] ČATIĆ, I.: *Proizvodnja polimernih tvorevina*, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [22] Deutsche Norm: *Fertigungsverfahren Begriffe, Einteilung 8580*, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin, September 2003.
- [23] JOHANNABER, F., MICHAELI, W.: *Handbuch Spritzgießen*, Hanser Publishers, München, Wien, 2002, s. 650-657.
- [24] ALGER, M.: *Polymer Science Dictionary*, Elsevier Applied Science, London 1989, s. 479
- [25] Ibid., s. 22.
- [26] KUKLA, C.: *Powder Injection Moulding (PIM) – Prozeßkette vom Feedstock bis zum Fertigteil*, 17. Leobener Kunststoff-Kolloquium, Leoben, 20. – 21. 11. 2003, VII-1-VII-8.
- [27] JOHANNABER, F., MICHAELI, W.: *Handbuch Spritzgießen*, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2002, s. 39-40, 102-103.
- [28] BERGINC, B., ČATIĆ, I., KAMPUŠ, Z.: *The systemic analysis of metal injection moulding*, 63rd ANTEC, SPE, Boston, May 1 to 4, 2005, 610-614.
- [29] BERGINC, B., ČATIĆ, I., KAMPUŠ, Z.: *The systemic analysis of metal injection moulding*, Polimeri 27(1)7-12 (2006).

- [30] OKUBO, K., TANAKA, S. HAMADA, H.: *Co-injection molding in metal injection molding*, ANTEC 2004, Chicago, 16-20 May 2004, Conference CD-ROM, 570-574.
- [31] ČATIĆ, I.: *Hladno oblikovanje*, Polimeri 5(1984)7-8, 153.
- [32] Street, A.: *The die casting book*, Partcullis press. Ltd, Surrey, 1977.
- [33] GRUBER, O.: *Druckguss Nachrichten*, Technische Mitteilungen der Firma O. Gruber, Wien, Melburn, 1991.
- [34] DAVIS, A.J., CUNNINGHAM, A., ROBINSON, P.M.: *The influence of injection Cycle on casting quality*, 9th SDCE international die casting exposition and congress, transaction, Society of die casting engineers, Milwaukee, 1977.
- [35] ASKELAND, D., PATEL, D.S.: *Factorial analysis of some variables and their optimization for the production of sound die casting*, 9th SDCE international die casting exposition and congress, transaction, Society of die casting engineers, Milwaukee, 1977.
- [36] PROHOROV, J.J.: *Matematičeskie modeli dlja EVM i nomogrammi dlja litje pod davlenijem*, Litjnoe proizvodstvo, 2(1983)3-14. prospekt, TPK-Zagreb, Zagreb 1988.