

ODREĐIVANJE OSNOVNIH PARAMETARA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTIKE THE BASE PARAMETER ADJUSTMENT FOR INJECTION MOULDING OF PLASTIC

Dubravka SIMINIATI - Loreta POMENIĆ - Franjo ORŠIĆ

Sažetak: Danas je proizvodnja strojeva za preradu plastike masovna. Njihova struktura i principi rada nisu nikakva tajna; najčešće su to strojevi s hidrauličkim pogonom i elektroničkom regulacijom. Korisnik stroja odabire tip stroja, prema vrsti proizvoda, vrsti plastike i veličini serije. Proizvođač strojeva ne osigurava pripremu alata te izbor parametara za pojedine faze procesa prerade. Ovaj rad daje smjernice i osnovne relacije za određivanje parametara pomoću kojih će se stroj podesiti za rad prilikom uvođenja novog proizvoda.

Ključne riječi: - injekcijsko prešanje
- plastika

Abstract: Injection moulding machines are mass produced nowadays. Their structures and working principles are not a secret at all: most often they have a hydraulic drive with electronic regulation. The customer chooses the machinery type depending on the product type, the type of the plastics and the series quantity. But what the machinery producer does not provide is the tools preparation and the choice of parameters for each phase of the production cycle. This article provides the guidelines and basic directions for parameter adjustment, which can help in the process of setting the machine when introducing a new product.

Key words: - injection moulding
- plastics

1. UVOD

Strojevi za injekcijsko prešanje plastike koriste se za izradu predmeta u automobilske industrije, za plastične dijelove kućanskih aparata te izradu jednostavnih plastičnih elemenata [1,2]. U ovom će radu biti prikazan pristup načinu određivanja osnovnih parametara pomoću kojih se podešava stroj prilikom uvođenja u proizvodnju novog proizvoda. Polimer akrilonitril-butadien-stiren, (ABS) odabran je kao primjer materijala za izradu velikoserijske proizvodnje jednostavnih dijelova.

2. SVOJSTVA POLIMERA

Polimeri su tvari nastale međusobnim povezivanjem malih molekularnih jedinica *monomera* kovalentnom vezom u dugačke makromolekulske lance. U makromolekuli može biti od nekoliko stotina do nekoliko desetaka tisuća monomera. Struktura makromolekula polimera je različita. *Linearni polimeri* nemaju bočnih lanaca, *granati polimeri* imaju bočne lance povezane s osnovnim lancem makromolekule, *umreženi polimeri* imaju lance međusobno povezane kovalentnim vezama (gume), a *mrežastim polimerima* kovalentnom su vezom makromolekule povezane trodimenzionalno.

1. INTRODUCTION

Injection plastic moulding machines are used for making parts in the automotive industry, for household machine parts and simple plastic elements as well [1,2]. An overview will be presented in this article for approaching the base parameters in machine regulation when a new product is in the adoption phase. The polymer Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) is selected as an example of material for simple production line products.

2. POLYMERS' PROPERTIES

Polymers are materials whose structure is made up of many repeating molecular units called *mers*. The small molecules, or *mers*, are covalently bonded together to form long macromolecular chains. A macromolecule can be formed from a few hundred *mers* up to several ten thousands of *mers*. A polymers molecular structure varies. A *linear polymer* consists of a long chain of monomers. A *branched-polymer* has branches covalently attached to the main chain. A *cross-linked polymer* has monomers of one chain covalently bonded with monomers of another chain (rubbers). *Network polymers*

Polimeri mogu biti: *prirodni* – kao celuloza, svila, vuna, prirodni kaučuk, prirodne smole itd., *kemijski modificirani prirodni* – kao što su celulozoid i viskoza iz celuloze itd., vulkanizirani (kemijski umrežen) prirodni kaučuk ili *sintetski* – polimeri kao što su polietilen, polipropilen itd., koji se dobivaju iz petrokemijskih proizvoda kemijskom reakcijom polimerizacije.

2.1. Plastične mase

Plastične mase su polimeri kojima su dodani različiti aditivi. S obzirom na ponašanje kod prerade i primjene, dijele na dvije skupine: *plastomere* i *duromere* [2]. Duromeri su na početku mekani, ali tijekom zagrijavanja na povišenoj temperaturi nastaje ireverzibilno 3D-umrežavanje u čvrsti materijal. Daljnim zagrijavanjem dolazi do njihove termodegradacije. Plastomeri, u koje se svrstava i već spomenuti ABS, polimerni su materijali s linearnim i granatim strukturama. Otapaju se u otapalima i taljivi su. Zagrijavanjem do temperature omekšavanja ili taljenja ne mijenjaju svoju strukturu te stoga njihova prerada obuhvaća samo reverzibilne promjene. Na tim se temperaturama mogu formirati u željene oblike. Struktura plastomera može biti amorfna ili kristalna.

2.2. Aditivi

Polimerni materijali postaju tehnički uporabljivi kada se osnovnom polimeru dodaju aditivi za poboljšanje svojstva. Modifikacije se mogu postići ili kemijskim reakcijama ili fizikalnim postupcima. Aditivi se po svojim funkcijama dijele u nekoliko skupina [2,3]:

- ❑ dodaci za preradu: toplinski stabilizatori, maziva, odjeljivači, regulatori viskoznosti i tiksotropni dodaci, dodaci za umrežavanje (koriste se kod duromera)
- ❑ modifikatori mehaničkih svojstava (plastifikatori, dodaci za povećanje žilavosti, punila, ojačala, prijanjala)
- ❑ modifikatori površinskih svojstava: vanjska maziva, regulatori adhezivnosti, antistatici
- ❑ modifikatori optičkih svojstava: pigmenti
- ❑ dodaci za povećanje trajnosti (postojanosti): svjetlosni stabilizatori, antioksidansi, biocidi
- ❑ ostali dodaci: za smanjenje gorivosti, pjenila itd.

3. ABS

ABS je sintetiziran tijekom Drugoga svjetskog rata kao zamjena za gumu. To je polimer sastavljen od tri različita monomera: *akrilonitrila*, koji mu daje kemijsku otpornost, *butadiena*, koji mu daje otpornost na udar i *stirena*, koji mu daje čvrstoću, krutost i laku obradivost. Na Slici 1. prikazani su monomeri od kojih se sintetizira ABS.

are by covalent bond attached three-dimensionally to macromolecules linked in the network.

Polymers may be: *natural* – such are cellulose, silk, wool, natural rubber, and natural resins etc., *modified natural* – such as, from cellulose – celluloid, viscose etc., from natural rubber – vulcanised rubber or *synthetic* – such as polyethylene, polypropylene etc., obtained from petrochemicals with chemical reactions of polymerisation.

2.1. Plastics

Plastics are polymers with various additives. According to their behaviour in production and implementation, they can be subdivided in two groups: *thermoplastics* and *thermosets*, [2]. Thermosets are initially soft, but during heating at increased temperature they change irreversibly to 3D in the form of a hard network. At a higher temperature they are thermo degradable. Thermoplastics and the aforementioned ABS are of polymer material with a linear and branched structure. They are soluble in solvents and fusible. Heating to softening temperatures they do not change structure, therefore, their manufacturing consists of reversible changes. Desired shapes can be formed at these temperatures. The structure of the thermoplastics can be amorphous or crystalline.

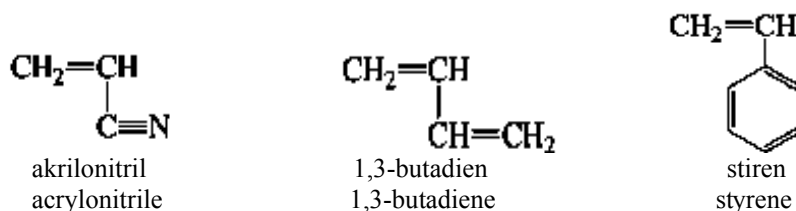
2.2. Additives

Polymers become technically applicable when additives are added to the original polymer in order to improve their properties. Modifications can be made by chemical or physical procedures. Additives are divided according to their functions into a few groups [2,3]:

- ❑ processing additives: heat stabilizers, lubricants, delimiters, viscosity regulators and thixotropic additives, curing agents/initiator (used at thermosets)
- ❑ mechanical properties modifiers (plasticizers, additives for amplification of toughness, fillers, strengthens, adherers)
- ❑ surface properties modifiers: outward lubricants, adhesive regulators, antistatics
- ❑ optical properties modifiers: pigments
- ❑ additives for amplification of durability (stability), light stabilizers, antioxidants, biocides
- ❑ other additives: flame retardants, foamers etc.

3. ABS

ABS was synthesized during WWII as a replacement for rubber. It is a polymer that consists of three different monomers: *acrylonitrile* provides chemical resistance, *butadiene* provides impact resistance, and *styrene* provides rigidity and easy processing of ABS. Figure 1. shows the monomers from which ABS is synthesized.



Slika 1. Monomeri za ABS
Figure 1. Monomers for ABS

4. INJEKCIJSKO PREŠANJE

Najvažniji ciklički postupak prerade plastomera je injekcijsko prešanje. To je postupak brzog brizganja plastomerne taljevine u temperiranu kalupnu šupljinu i njezino skrućivanje u izradak. Postoji mogućnost automatizacije procesa, pa je stoga prikladan za velikoserijsku proizvodnju izradaka.

Osnovni koraci u procesu injekcijskog prešanja su [4]:

1. zatvaranje kalupa
2. brizganje
3. zadržavanje plastike u kalupu
4. hlađenje
5. otvaranje kalupa
6. izbacivanje izratka.

Proces se kontinuirano ponavlja dok se ne proizvede traženi broj izradaka.

Na Slici 2. prikazana je pojednostavnjena shema stroja za injekcijsko prešanje plastike.

4. INJECTION MOULDING

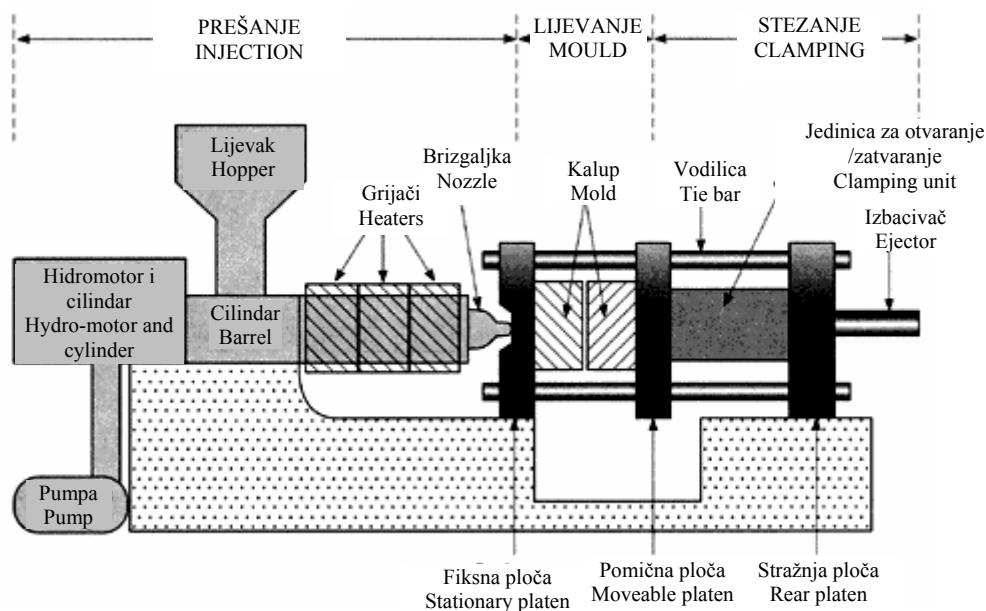
The most important cyclic procedure for thermoplasts is injection moulding. That is a process of the rapid injection of melt into the tempered mould and its' solidification into a product. There is the possibility for automating the process; therefore it is convenient for a great array of products.

The base steps in the injection moulding process are [4]:

1. mold clamping
2. injection
3. plastics holding in the mould
4. cooling
5. mould opening
6. product ejection.

The process is continuously repeated until a desirable number of products have been produced.

In Figure 2. a simplified overview of the machinery for injection moulding is shown.



Slika 2. Pojednostavnjeni prikaz stroja za injekcijsko prešanje [4]

Figure 2. Simplified overview of the machinery for injection moulding [4]

Materijal ulazi kroz lijevak u cilindar za taljenje, koji se zagrijava uz pomoć grijača, gdje ga zahvaća pužni vijak. Pužni vijak rotira uz pomoć hidromotora. Rastaljeni

The material that enters through the hopper into the barrel is heated with heaters. The screw catches it. The screw is activated by the hydro-motor. The moulded material is

materijal potiskuje se k vrhu pužnog vijka. Nakon što se potisnulo dovoljno materijala, pužni se vijak pomiče prema naprijed uz pomoć hidrauličkog cilindra, pri čemu počinje brizganje taljevine kroz mlaznicu u kalup. Taljevina se drži pod tlakom brizganja, a materijal se istodobno hladi. Nakon toga kalup se otvara, a proizvod izbacuje. Kalup je sastavljen od nepomičnog dijela, koji je povezan s uljevnim kanalom, i pomičnog kalupa koji se uz pomoć posebne jedinice otvara/zatvara.

5. PRINCIP RADA HIDROSTATSKOG POGONA STROJA

Hidraulička shema na Slici 3. prikazuje razmještaj pogonskih elemenata, elemenata za upravljanje te izvršnih elemenata [5]. Radni ciklus sastavljen je od osamnaest koraka.

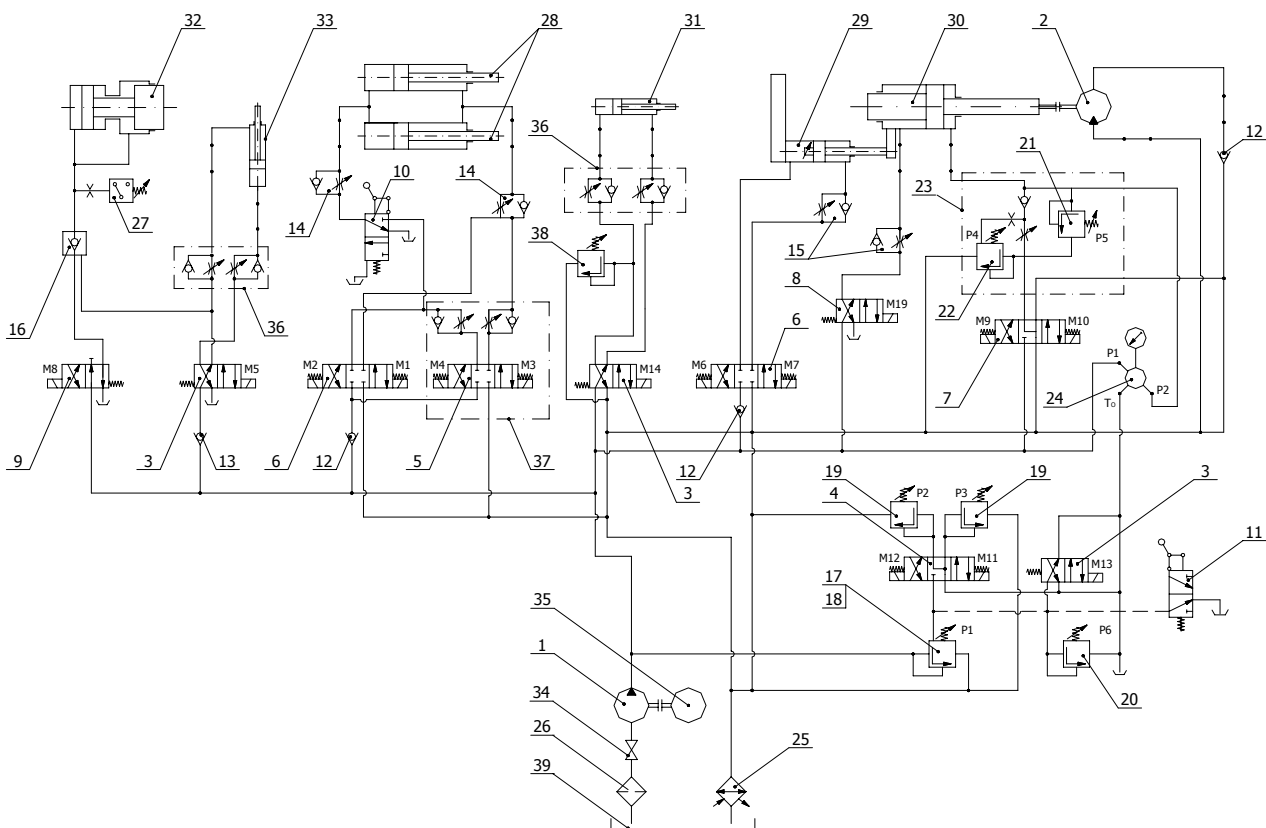
Elektromotor (35) pogoni krilnu pumpu (1), koja tlači radnu tekućinu u sustav. Uvjet je pokretanja ciklusa da su prednja i stražnja zaštitna vrata stroja zatvorena. Ako stražnja zaštitna vrata nisu zatvorena, sigurnosni ventil (11) onemogućava uspostavljanje tlaka u sustavu.

collected at the top of the screw. When enough material is collected, the screw is moved by hydraulic cylinder forwards. At the same time the mould injection through the nozzle begins. The melt is under injection pressure, and at the same time the material is cooling. After that, the mould is opened, and the product is ejected. The mould is made up of the stationary platen, which is connected with the sprue gate, and the moveable platen that opens/closes with the help of the clamping unit.

5. HYDROSTATIC DRIVE WORKING PRINCIPLE

In Figure 3., the hydrostatic layout shows the arrangement of the drive circuit, regulating elements and actuating elements [5]. The operating cycle has eighteen steps.

The electro-motor (35) activates the vane pump (1), which presses the working fluid into the system. The rear and front sluice gates have to be closed for the cycle to begin. If the rear gate is not closed, the relief valve (11) prevents the restoration of the system pressure.



Slika 3. Hidraulička shema stroja za prešanje plastike
Figure 3. Hydraulic scheme of injection moulding machine

Ako prednja zaštitna vrata nisu zatvorena, ventil (10) prekida dovod radne tekućine u cilindre (28), kojima se

If the front sluice gate is not closed, the valve (10) terminates the working fluid supply into the cylinder

Nakon ubrizgavanja, a zbog hlađenja i skupljanja materijala, potrebno je osigurati naknadni tlak uz pomoć razvodnika (4) uključivanjem M12 te ventila za regulaciju tlaka (19) na naknadni tlak P3. Tim se tlakom ubrizga još sirovine kako bi se kalup popunio zbog stezanja materijala. Nakon što je sirovina u potpunosti ubrizgana u kalup, počinje priprema sirovine za sljedeći ciklus. Proces punjenja cilindra za taljenje smatra se fazom plastifikacije sirovine. Pri tome hidromotor (2) okreće pužni vijak, a sirovina iz lijevka dolazi u obliku granula. Da se ne bi pojavili lunckeri u taljevini, pomoću regulacijskog ventila P5 regulira se protutlak plastifikacije u desnoj komori cilindra (30). Kada se izradak ohladio u kalupu, otvara se alat pod maksimalnim tlakom. Otvaranje alata pokreće se razvodnicima (5) ili (5) i (6) uz pomoć elektromagneta M4 i M2. Kakva će se kombinacija koristiti ovisi o potrebnoj brzini otvaranja. Izradak se izbacuje iz kalupa uz pomoć cilindra (31), a njega se uključuje razvodnikom (3) uz pomoć M14. Tablica 1. prikazuje korake u jednom ciklusu rada stroja s režimima uključivanja elektromagnetskih ventila.

6. ODREĐIVANJE PARAMETARA

Za jedan određeni stroj, ovisno o vrsti izratka i veličini serije, potrebno je podesiti određene parametre.

6.1. Potrebna količina sirovine po jednom ciklusu

Najvažnija veličina kod postupka definiranja injekcijske jedinice je potreban volumen sirovine za jedan ciklus. Teorijska vrijednost potrebnog volumena za jedan ciklus je [4]:

$$V_{th} = \frac{m n}{\rho} . \quad (1)$$

Kako se određena količina sirovine gubi u uljevnom kanalu i odvodnim kanalima do šupljine kalupa te zbog skupljanja materijala prilikom hlađenja, potrebni nasipni volumen po jednom ciklusu je [4]:

$$V_{stv} = \frac{V_{th}}{M} , \quad (2)$$

gdje je $M = 0,2 \dots 0,8$, a što ovisi o preciznosti izratka.

6.2. Brzina rotacije pužnog vijka

Kada su poznati volumen i sila zatvaranja, određuje se brzina vrtnje hidromotora, koji pokreće pužni vijak. Obodna brzina pužnog vijka v_t definirana je vrstom materijala sirovine (za ABS iznosi 650 mm/s). Za svaki je stroj poznat promjer pužnog vijka, pa se temeljem sljedećeg izraza određuje brzina vrtnje hidromotora, koji

After injection, and because of the material cooling and shrinkage, it is necessary to provide additional pressure with valve (4), by actuating the electromagnet M12 and the pressure regulator (19) to the additional pressure P3. With that pressure, an additional quantity of raw material is injected into the fill mould due to material shrinkage. After the raw material is completely injected into the mould, preparation for the next cycle begins. The phase of raw material plasticization arrives when the moulding cylinder is filled. Therefore the hydro-motor (2) rotates the screw, and the granule from the hopper occurs. The cavities should not appear hence the pressure regulator P5 regulates plasticization with counter pressure in the right chamber of the cylinder (30). When the product is cooled in the mould, it opens under maximum pressure. The mould opening is activated with the valve (5) or valves (5) and (6) with the aid of the electromagnets M4 and M2. The combination depends on the required opening speed. The product is ejected with the cylinder (31). The activation of that cylinder is through valve (3) and the electromagnet M14. Table 1. shows the steps in a working cycle of the machine with regimes of the electromagnetic valve activation.

6. PARAMETERS ESTIMATION

For specific machinery, depending on the type of product and the series quantity, adjustment of specific parameters is required.

6.1. Raw material quantity per one cycle

The most important quantity in the phase of defining the unit of injection is the volume of raw material per cycle [4]:

A specific quantity of the raw material is lost in the feeding and bend canals to the mould holes and because of the material shrinkage during the cooling process. Actual filling volume per cycle is [4]:

where $M = 0,2 \dots 0,8$, and this is dependent on the product precision.

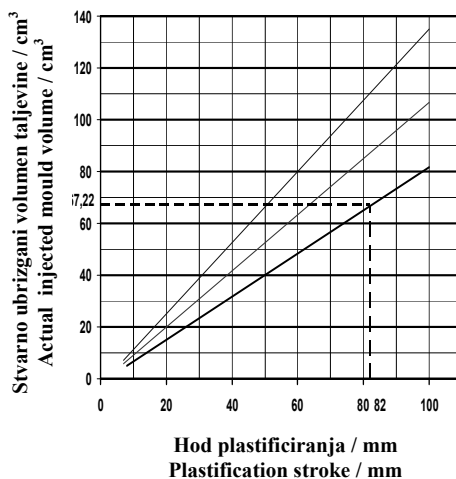
6.2. Barrel rotational speed

When the raw material volume and clamping force are known, the hydro-motor rotational speed for screw activation has to be determined. Tangential velocity of the screw v_t is defined by the type of material (for ABS it is 650 m/s). For every specific machine the screw

ga pokreće [4]:

diameter is known, so that on the basis of the following term the hydro-motor rotational speed is [4]:

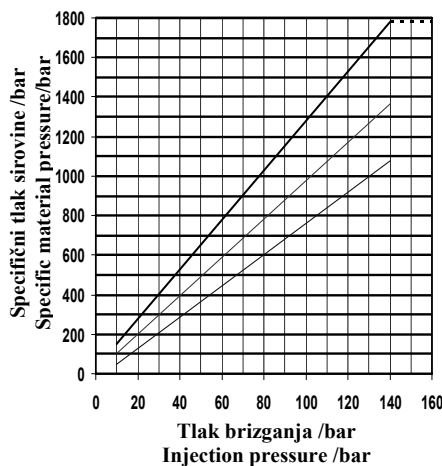
$$n_v = \frac{v_t}{d_v \pi} \quad (3)$$



Slika 4. Stvarno ubrizgani volumen taljevine u ovisnosti o hodu plastificiranja [4]
 Figure 4. Actual injected mould volume in dependence on the plasticization stroke [4]

Pomoću dijagrama prikazanog na Slici 4., a temeljem poznatoga nasipnog volumena prema izrazu (2), određuje se potreban hod plastificiranja.

From the chart shown on the Figure 4., and on the basis of the actual filling volume known from term (2), the plasticization stroke can be estimated.



Slika 5. Tlak brizganja [4]
 Figure 5. Injection pressure [4]

Rotacijom pužnog vijka cilindar za taljevinu puni se sirovinom pri čemu se pužni vijak pomiče prema natrag. Sakupljanjem taljevine stvara se tlak, koji se mora savladati u cilindru za prešanje prilikom procesa brizganja u kalup. Za određivanje tlaka brizganja od pomoći je dijagram prikazan na Slici 5., a koji osigurava proizvođač stroja. Tlak se brizganja tada regulira uz pomoć ventila za regulaciju tlaka P4.

When the screw rotates, the cylinder is fed with dissolved raw material, and the screw moves backwards. The collected mould makes the pressure that the cylinder has to suppress during the ejecting phase. For ejecting pressure estimation, the chart shown in Figure 5. is used. The machine manufacturer provides the chart. The ejecting pressure is regulated with the pressure regulation valve P4.

6.3. Sila za otvaranje/zatvaranje alata

Sila za otvaranje/zatvaranje definira se prema maksimalnoj sili koja se mora ostvariti da bi alat ostao zatvoren pod djelovanjem tlaka brizganja. Do veličine sile zatvaranja dolazi se tako da se ortogonalna projekcija otvora u kalupu pomnoži s koeficijentom, koji je ovisan o materijalu [4]:

$$F_z = Ak, \quad (4)$$

gdje je $k = 38,6 \dots 61,8 \text{ MN/m}^2$ za ABS.

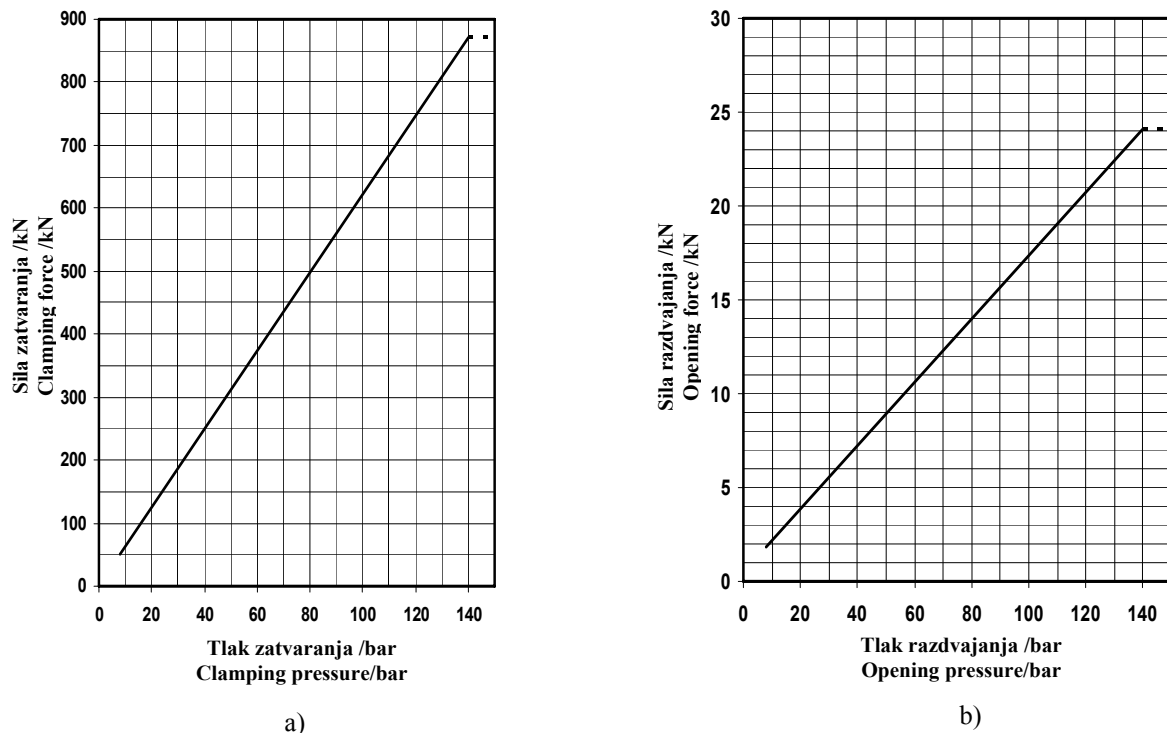
Na dijagramima na Slici 6a. prikazan je način definiranja tlaka zatvaranja alata uz poznatu vrijednost sile zatvaranja, dok je na Slici 6b. prikazan dijagram ovisnosti sile razdvajanja i potrebnog tlaka. Takve međuovisnosti omogućavaju da se za stroj, s već postojećim cilindrima za tu funkciju, podese ventili za regulaciju tlaka.

6.3. Clamping force

Clamping force is defined according to the maximum force for holding the mould closed under the ejecting pressure. The clamping force is acquired by multiplying the orthogonal projection of the cavity by the coefficient, which depends on the material [4]:

where $k = 38,6 \dots 61,8 \text{ MN/m}^2$ for ABS.

In the chart Figure 6a., the method for defining the mould clamping pressure, with the known clamping force, is shown. In Figure 6b. is shown the required pressure in dependence on the opening force. Such dependence enables valve pressure regulation for the available cylinders.



Slika 6. Sile i tlakovi zatvaranja/razdvajanja [4]

Figure 6. Forces and pressures of clamping/opening [4]

7. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan način rada stroja za injekcijsko prešanje plastike, a posebno za preradu ABS-a. Dan je kratak opis plastičnih materijala i načina njihove prerade u gotove proizvode. S obzirom na brojnost i raznolikost strojeva teško je dati jednoznačne upute za određivanje parametara tehnološke obrade. Pokušalo se sažeti podatke koje je dužan osigurati proizvođač strojeva i podatke koje mora osigurati korisnik stroja. To je način kako se, prije

7. CONCLUSION

This paper explains the working principle of plastic injection moulding machines, especially for ABS manufacturing. The short description of the plastic materials and their manufacturing are presented, too. Because of the mass-production and variety of plastic moulding machines, it is very difficult to provide unambiguous instructions for technologic parameter estimation. An effort has been made to describe the data compression that the machine producer and consumers

uvodjenja novog proizvoda, reguliraju parametri rada kako hidrauličkog tako i elektroničkog dijela regulacijskog sustava stroja.

have to ensure. That is the way in which to regulate the parameters for the hydraulic and electronic part of the machine before introducing a new product.

8. POPIS OZNAKA

Površina projekcije gnijezda	A	- m ²
Promjer pužnog vijka	d_v	- m
Sila zatvaranja alata	F_z	- N
Koeficijent materijala	k	- MN/m ²
Faktor povećanja volumena	M	-
Masa	m	- kg
Broj uljevnih gnijezda	n	-
Brzina vrtnje hidromotora	n_v	- min ⁻¹
Nasipni volumen po ciklusu	V_{stv}	- m ³
Volumen po ciklusu	V_{th}	- m ³
Obodna brzina pužnog vijka	v_t	- m/s
Gustoća	ρ	- kg/m ³

8. LIST OF SYMBOLS

Cavity orthogonal projection
Screw diameter
Clamping force
Material coefficient
Factor of volume amplification
Mass
Mold holes number
Hydro motor rotational speed
Actual filling volume per cycle
Volume per cycle
Screw tangential velocity
Density

LITERATURA REFERENCES

- [1] www.euomap.org
 [2] www.bpf.co.uk
 [3] www.ptslc.com
 [4] www.catalog.com.hk/tatming/index.html

- [5] Kombinat „BELIŠĆE“ – tvornica strojeva, *Upute o namjeni, načinu montaže i demontaže, pregledu i održavanju, te o sigurnom načinu rukovanja za injekcijsko prešanje termoplasta*

Primljeno / Received: 23.2.2008

Prihvaćeno / Accepted: 23.6.2008

Pregledni članak

Subject Review

Adresa autora / Authors' address:
 Assoc. prof dr. sc. Dubravka Siminiati, dipl. ing.
 Assoc. prof dr. sc. Loreta Pomenić, dipl. ing.
 Franjo Oršić, dipl. ing.
 Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
 Vukovarska 58
 51000 Rijeka
 HRVATSKA
 dubravka.siminiati@riteh.hr