

PROIZVODNJA INJEKCIJSKIM PREŠANJEM

Kovačević, Antonio

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:577728>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO

Antonio Kovačević

PROIZVODNJA INJEKCIJSKIM PREŠANJEM
ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2019.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
STROJARSTVA
PROIZVODNO STROJARSTVO

Antonio Kovačević

PROIZVODNJA INJEKCIJSKIM PREŠANJEM
ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr.sc. Tanja Tomić, dipl. ing. stroj.

Karlovac, 2019.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / **specijalistički diplomski studij**: STROJARSTVO
(označiti)

Usmjerenje: PROIZVODNO STROJARSTVO

Karlovac, 15.02.2019.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Antonio Kovačević**

Matični broj: 0035193475

Naslov: **Proizvodnja injekcijskim prešanjem**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu rada student će pregledno prikazati postupke preradbe polimera prema dostupnoj i stručnoj literaturi. U eksperimentalno dijelu diplomskog rada biti će objašnjen cjelokupni proces dobivanja gotovog proizvoda iz granulata injekcijskim prešanjem. Provest će se postupak od samog ulaska granulata u stroj te prikazat će se optimiranje parametara tokom procesa, sve do gotovog proizvoda spremnog za pakiranje, skladištenje te daljnju transakciju. Biti će navedena sva oprema koja se koristila tokom procesa, uz dodatno objašnjenje opreme KM (Krauss Maffei) te će se prikazati i objasniti zaslon za injekcijsko prešanje. U eksperimentalnom dijelu biti će prikazana proizvodnja donje zaštite motora automobila uz opis materijala od kojeg je navedeni proizvod napravljen.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

15.02.2019.

01.06.2019.

10.07.2019.

Mentor:

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

Dr.sc. Tanja Tomić, dip.ing. stroj.

Tihana Kostadin, mag.ing.stroj.

Sadržaj

| | | |
|-----------|---|----|
| 1. | Uvod: Općenito o polimernim materijalima i njihovim postupcima prerade..... | 3 |
| 2. | Klasifikacija postupaka preradbe polimera..... | 5 |
| 2.1. | Kontinuirani postupci..... | 5 |
| 2.1.1. | Ekstrudiranje..... | 5 |
| 2.1.2. | Kalandriranje..... | 6 |
| 2.1.3. | Prevlačenje..... | 7 |
| 2.2. | Ciklički postupci..... | 8 |
| 2.2.1. | Lijevanje..... | 8 |
| 2.2.2. | Srašćivanje..... | 8 |
| 2.2.3. | Prešanje (izravno i posredno)..... | 9 |
| 3. | Injekcijsko prešanje (brizganje)..... | 10 |
| 3.1. | Stroj za injekcijsko prešanje (ubrizgavalica)..... | 12 |
| 3.2. | Kalup za injekcijsko prešanj (brizganje)..... | 13 |
| 3.3. | Temperiralo (uređaj za temperiranje kalupa)..... | 15 |
| 3.4. | Ostala oprema potrebna za injekcijsko prešanje (brizganje)..... | 16 |
| 3.4.1. | Sušare..... | 16 |
| 3.4.2. | Silosi..... | 16 |
| 3.4.3. | Dozatori materijala..... | 17 |
| 3.4.4. | Mikseri..... | 18 |
| 3.4.5 | Mlinovi..... | 18 |
| 3.5. | Sredstva za održavanje..... | 19 |
| 3.6. | Materijali koji se koriste u injekcijskom prešanju..... | 21 |
| 3.6.1 | PP (Polipropilen)..... | 21 |
| 3.6.2 | ABS (Akrilonitril butadien stiren)..... | 22 |
| 3.6.3 | PE (Polietilen)..... | 23 |
| 3.6.4 | PVC (Poli (vinil-klorid))..... | 24 |
| 3.6.5 | PS (Polistiren)..... | 25 |
| 4. | Postupci preoblikovanja..... | 27 |
| 4.1. | Oblikovanje..... | 27 |
| 4.1.1. | Toplo oblikovanje..... | 27 |
| 4.1.2. | Hladno oblikovanje..... | 27 |
| 4.1.3. | Izvlačenje-stezanje..... | 28 |
| 4.2. | Puhanje šupljih tijela..... | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1. Ekstruzijsko puhanje..... | 28 |
| 4.2.2. Injekcijsko puhanje..... | 29 |
| 5. Montaža, kontrola kvalitete, pakiranje i skladištenje..... | 30 |
| 5.1. Montaža..... | 30 |
| 5.2. Kontrola kvalitete..... | 32 |
| 5.3. Pakiranje..... | 33 |
| 5.4. Skladištenje..... | 34 |
| 6. Eksperimentalni rad..... | 35 |
| 6.1. Ubrizgavalica KM1600..... | 36 |
| 6.2. Kalup za injekcijsko prešanje..... | 37 |
| 6.3. Temperiralo Single..... | 41 |
| 6.4. Materijal i pumpa za dovod materijala Colotronic..... | 42 |
| 6.5. Dozator materijala Colotronic..... | 44 |
| 6.6. Uvod u proces injekcijskog prešanja..... | 45 |
| 6.7. Proces postepenog ubrizgavanja i dobivanja gotovog proizvoda..... | 48 |
| 6.8. Kontrola gotovog proizvoda..... | 55 |
| 6.9. Pakiranje i skladištenje gotovog proizvoda..... | 55 |
| 7. Zaključak..... | 57 |
| 8. Literatura..... | 58 |

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Skica jednopužnog ekstrudera..... | 6 |
| Slika 2. Postupak kalandriranja..... | 6 |
| Slika 3. Postupak prevlačenja..... | 7 |
| Slika 4. Postupak lijevanja..... | 8 |
| Slika 5. Postupak nasipnog i rotacijskog srašćivanja..... | 8 |
| Slika 6. Postupak izravnog prešanja..... | 9 |
| Slika 7. Postupak posrednog prešanja..... | 9 |
| Slika 8. Sepro robot..... | 11 |
| Slika 9. Kontroler za upravljanje Sepro robotom..... | 11 |
| Slika 10. Pojednostavljena shema stroja za injekcijsko prešanje..... | 13 |
| Slika 11. Shema pokretne i nepokretne strane kalupa za injekcijsko prešanje..... | 14 |
| Slika 12. Jedinica za otvaranje/zatvaranje kalupa..... | 14 |
| Slika 13. Uređaj za temperiranje kalpa (temperiralo)..... | 15 |
| Slika 14. Provjera količine vlage u materijalu..... | 16 |
| Slika 15. Sušara sa dva silosa..... | 17 |
| Slika 16. Dozator materijala..... | 17 |
| Slika 17. Mikseri za miješanje osnovnog materijala i aditiva..... | 18 |
| Slika 18. Mlin za mljevenje plastike..... | 18 |
| Slika 19. Sredstva za čišćenje, odmaščivanje, zaštitu i odvajanje u obliku spreja..... | 19 |
| Slika 20. Djelotvornost aditiva za čišćenje cilindra za injekcijsko prešanje..... | 20 |
| Slika 21. Utjecaj aditiva na promjenu boje u cilindru..... | 21 |
| Slika 22. Proizvod izrađen od PP (Polipropilena)..... | 22 |
| Slika 23. Proizvodi izrađeni od ABS-a (Akrilonitril butadien stirena)..... | 23 |
| Slika 24. Proizvod izrađen od PE (Polietilena)..... | 24 |
| Slika 25. Proizvod izrađen od PVC-a (Poli (vinil-klorida))..... | 25 |
| Slika 26. Proizvod izrađen od PS-a (Polistirena)..... | 26 |
| Slika 27. Primjeri toplog (sa žigom) i hladnog (duboko vučenje) oblikovanja..... | 28 |
| Slika 28. Ekstruzijsko puhanje..... | 29 |
| Slika 29. Injekcijsko puhanje..... | 30 |
| Slika 30. Uređaj za montažu (vibraciono zavarivanje)..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Slika 31. Primjer izgleda Poka-yoke i njenog zaslona..... | 32 |
| Slika 32. Krauss Maffei stroj za injekcijsko prešanje..... | 36 |
| Slika 33. Pokretna i nepokretna strana kalupa za injekcijsko prešanje..... | 38 |
| Slika 34. Parametri za zatvaranje kalupa..... | 39 |
| Slika 35. Parametri za otvaranje kalupa..... | 40 |
| Slika 36. Temperature kalupa prilikom optimiranja..... | 40 |
| Slika 37. Temperature kalupa nakon optimiranja..... | 41 |
| Slika 38. Temperiralo Single..... | 41 |
| Slika 39. Granulat materijala..... | 42 |
| Slika 40. Oktabin sa granulatom materijala..... | 43 |
| Slika 41. Pumpa za dovod materijala Colotronic..... | 44 |
| Slika 42. Dozator materijala Colotronic..... | 45 |
| Slika 43. Prikaz Krauss Maffei zaslona..... | 46 |
| Slika 44. Tipke za upravljanjem otvaranja i zatvaranja kalupa..... | 46 |
| Slika 45. Tipke za upravljanjem rada stroja..... | 47 |
| Slika 46. Faze injekcijskog prešanja..... | 47 |
| Slika 47. Parametri plastificiranja..... | 48 |
| Slika 48. Kaskadno upravljanje sapnicom 3..... | 49 |
| Slika 49. Parametri injektiranja 1..... | 49 |
| Slika 50. Dio proizvoda dobiven ubrizgavanjem sa sapnicom broj 3..... | 50 |
| Slika 51. Kaskadno upravljanje sa sapnicama 2 i 4..... | 51 |
| Slika 52. Parametri injektiranja 2..... | 51 |
| Slika 53. Dio proizvoda dobiven ubrizgavanjem sa sapnicama 2, 3 i 4..... | 52 |
| Slika 54. Kaskadno upravljanje sa sapnicama 1 i 5..... | 53 |
| Slika 55. Parametri injektiranja 3..... | 54 |
| Slika 56. Gotov proizvod..... | 54 |
| Slika 57. Oprema za kontrolu kvalitete proizvoda..... | 55 |
| Slika 58. Pakiranje gotovog proizvoda..... | 56 |

Popis tablica

1. Karakteristike ubrizgavalice KM 1600.....36
2. Karakteristike kalupa (alata).....37
3. Karakteristike temperirala Single.....41
4. Karakteristike materijala Hifax CB 1160 A Black.....42

Popis oznaka

| OZNAKA | JEDINICA | OPIS |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| s | mm | Put |
| v | mm/s | Brzina |
| F | N | Sila |
| T | °C | Temperatura |
| n | 1/min | Broj okretaja |
| t | s | Vrijeme brojila |
| Q | l/min | Volumen protoka |
| m | kg | Masa |
| ρ | kg/m ³ | Gustoća |
| $\sigma_{0,2}$ | Mpa | Granica tečenja |
| MFI | g/10min | Indeks protoka taline |
| P | W | Snaga |
| I | A | Jakost struje |
| x, l, r | m | Duljina |

Popis kratica

| | | | |
|-------|------------------------------|-------|--|
| ABS | Akilonitril butadien stiren | FMEA | Analiza načina rada i učinka |
| PE | Polietilen | QRQC | Brza kontrola kvalitete odgovora |
| PP | Polipropilen | AVES | Alijans standard za ocjenjivanje vozila |
| PS | Polistiren | CP | Kontrolni plan |
| PVC | Poli(vinil-klorid) | CSR | Društvena odgovornost |
| PC | Polikarbonat | SPC | Statistički kontrolni proces |
| SAN | Stiren/akilonitril kopolimer | EPS | Ekspandirani polistiren (stiropor) |
| KM | Krauss Maffei | IATF | Međunarodna radna skupina za auto industriju |
| PE-LD | Polietilen niske gustoće | PE-HD | Polietilen visoke gustoće |

Sažetak

U ovom završnom radu je opisana prerada polimera, odnosno dobivanje polimernih prerađevina različitim postupcima. Uz navedene postupke obrade polimera, detaljno je opisana proizvodnja injekcijskim prešanjem. Navedeni su materijali koji se koriste u proizvodnji i obradi polimera s naglaskom na materijale koji se upotrebljavaju u injekcijskom prešanju.

Opisana je i objašnjena sva potrebna oprema za proces injekcijskog prešanja, a također operacije i aktivnosti vezane uz navedeni proces (montiranje, kontrola kvalitete, pakiranje i skladištenje).

Ukratko su spomenuti roboti proizvođača Seapro koji su vezani za sam proces injekcijskog prešanja, koji navedenom procesu daju brži ciklus, a samim time i veću efikasnost i produktivnost.

U eksperimentalnom radu detaljno je obrađen postupak injekcijskog prešanja, odnosno dobivanje gotovog proizvoda od granulata (materijala) do gotovog traženog proizvoda. Ponovno je spomenuta potrebna oprema za izvođenje procesa, ali u ovom slučaju ona koja se koristila prilikom dobivanja gotovog proizvoda. Karakteristike opreme su prikazane tablično, a proces dobivanja proizvoda je uz tekst potkrijepljen i slikama.

U eksperimentalnom radu, naglasak je bio na optimiranju i korekciji parametara koji su najbitniji za dugotrajnost i kvalitetu provođenja injekcijskog prešanja. Procesi koji najviše pomažu za shvaćanje samog procesa su injektiranje i kaskadno upravljanje sapnicama izraženo u ovom slučaju kroz put [s]. Osim kroz put, postoji mogućnost da se navedeni procesi izraze kroz vrijeme [t]. Uz glavne parametre spomenuti su i objašnjeni ostali parametri (vrijeme hlađenja, plastificiranje, temperature kalupa i cilindra) koji također uvelike doprinose kvaliteti provođenja procesa. U zaključku je ukratko spomenuta raširenost i konzumacija općenito plastike, tako i polimera. Također navedena je i lošija strana plastike, a to je prije svega zagađivanje okoliša.

Ključne riječi: Injekcijsko prešanje, injektiranje, kaskadno upravljanje sapnicama, plastificiranje, kalup (alat)

Abstract

In this master thesis polymer processing is described, ie the preparation of polymeric processes by various methods. In addition to the above polymer processing methods, injection molding is described in detail. These materials are used in the production and processing of polymers with emphasis on materials used in injection molding.

All necessary equipment for the injection molding process as well as operations and activities related to the mentioned process (assembly, quality control, packaging and storage) are described and explained. Briefly mention the Sepro robots which are linked to the injection molding process itself, which provide a faster cycle, and therefore greater efficiency and productivity.

In the experimental part of thesis , the process of injection molding is described in detail, ie obtaining a finished product from granules to finished product. The equipment needed to carry out the process was again mentioned, but in this case the one used to obtain the finished product. The features of the equipment are shown in the table, and the process of obtaining the product is supported by the text with the pictures.

In the experimental part of thesis, the emphasis was on optimizing and correcting parameters that are most important for the longevity and quality of injection molding. The processes that help to understand the process itself are injecting and cascading the nozzle management expressed in this case through the path [s]. Except for the way, there is a possibility that these processes are expressed through time [t]. The main parameters are mentioned and explained other parameters (cooling time, plasticisation, mold temperature and temperature of cylinder) which also greatly contribute to the quality of the process. In conclusion, it is briefly mentioned the widespread use and consumption of plastics in general, as well as of polymers. Also, worse side plastics are mentioned, primarily environmental pollution.

Key words: injection molding, injection, cascade nozzle management, plasticizing, mold (tool)

1. Uvod: Općenito o polimernim materijalima i njihovim postupcima prerade

Polimer je složenica koja potječe od grčke riječi *poli-* mnogo i *meros-* čestica. To su tvari nastale međusobnim povezivanjem (kovalentnom vezom) malih molekulskih jedinki (monomera) koji se obično ponavljaju po nekom pravilu u velike molekule (makromolekule).

Polimere se mogu podijeliti prema nekoliko kriterija. Prema nastanku polimeri mogu biti prirodni (biopolimeri) ili umjetni (sintetski). Po kemijskom sastavu se dijele na organske i anorganske.

Obzirom da na građu polimera: linearni, granati, poprečno vezani, te mrežasti polimeri, a podjela prema načinu preradbe: termoplastični (PE, PVC, PS, PP) i termostabilni polimeri.

Po stupnju uređenosti makromolekula polimeri mogu imati amorfnu ili kristalnu strukturu.

Podjela polimera koja se temelji na njihovom ponašanju pri povišenim temperaturama polimerni materijali mogu biti plastomeri, elastomeri i duromeri. Posebna skupina su elastoplastomeri. [1]

Dodaci polimerima

Polimeri se od plastika i guma razlikuju po dodacima koji se dodaju neposredno nakon polimerizacije ili prije prerade u gotov proizvod. Dodatci polimerima razvrstavaju se ovisno da li poboljšavaju njegovu preradu, trajnost, mehanička svojstva, optička svojstva ili površinska svojstva. Najčešće se dodaju inertni dodatci sa svrhom sniženja cijena gotovog proizvoda.

Najčešći dodatci tijekom prerade su: [1]

Omekšavala

- dodaju se uglavnom plastomerima i manje elastomerima
- smanjuje međumolekulne sile (porast slobodnog volumena, gibljivosti i elastičnosti, snižava se staklište i viskoznost taljevine)

Modifikatori žilavosti

- poboljšavaju rasteznu, pritisnu, savojnu ili uvojnju žilavost plastomera

- najpoznatiji modifikatori žilavosti – polibutadien, blok-kopolimer butadiena i stirena, klorirani polietilen, kopolimer etilen/vinil-acetata

Prijanjala

- koriste se kod staklom ojačanih polimernih materijala, svrha im je bolje prijanjanje smole uz vlakno (povećanje adhezivnosti)

Toplinski i svjetlosni stabilizatori

- poboljšavaju toplinsku postojanost tijekom preradbe i uporabe (napomena: pri visokim temperaturama dolazi do razgradnje polimera)
- za toplinsko stabiliziranje koriste se kalcij/cink i barij/cink
- svjetlosni stabilizatori povećavaju otpornost prema djelovanju svjetlosti (posebno ultraljubičastog zračenja)

Antioksidansi

- usporavaju proces razgradnje oksidacijom, koja pogoršava fizikalna i kemijska svojstva polimernog materijala, a također se smanjuje masa polimera.

Maziva

- su najvažnija za poboljšavanje preradljivosti. Dije se na **vanjska i unutarnja**.
- **Vanjska** - smanjuju trenje među polimernim česticama, te između polimernih čestica i stijenki preradbenih uređaja
- sprečavaju zaljepljivanje o stijenke preradbenih uređaja
- **Unutarnja** – snižavaju unutrašnje trenje (poboljšavaju tecljivost, smanjuju lom taljevine)
- **Najvažnija maziva** – esteri i amidi masnih kiselina, polimerna maziva (silikoni), primarni i sekundarni amini

Uz gore navedene dodatke koriste se još dodaci za sprečavanje gorenja, parfemi, antistatici, pjenila, punila, pigmenti i bojila, ojačanja u obliku vlakana (staklena i ugljična vlakna).

2. Klasifikacija postupaka preradbe polimera

Proizvodnja poluproizvoda i gotovih proizvoda od polimernih materijala zasniva se na izradbenim postupcima praoblikovanja i preoblikovanja. [1]

Postupci praoblikovanja

Kontinuirani postupci

- a) Ekstrudiranje
- b) Kalandriranje
- c) Prevlačenje

Ciklički postupci

- a) Lijevanje
- b) Srašćivanje
- c) Prešanje - Injekcijsko prešanje**

Postupci preoblikovanja

Oblikovanje

- a) Toplo
- b) Hladno
- c) Izvlačenje-stezanje

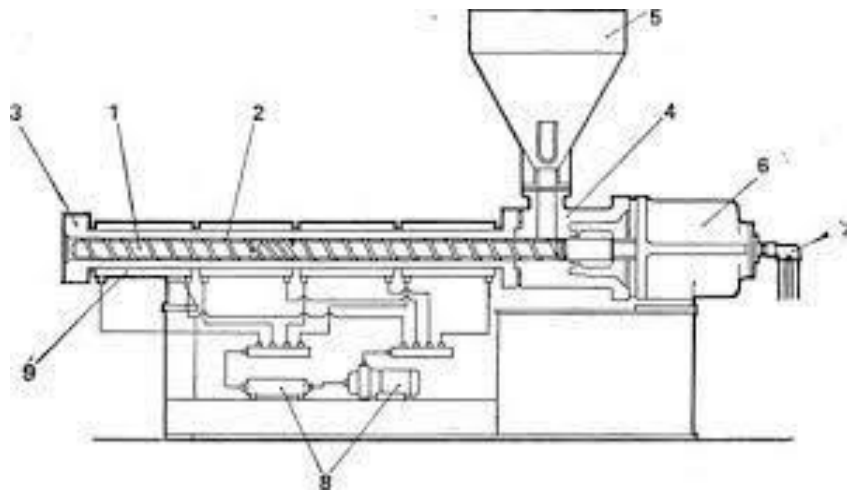
Puhanje šupljih tijela

- a) Ekstruzijsko puhanje
- b) Injekcijsko puhanje

2.1 KONTINUIRANI POSTUPCI

2.1.1 Ekstrudiranje

Ekstrudiranje je najrašireniji postupak praoblikovanja polimera. Ovim postupkom plastična masa, kao polazna sirovina, u prahu ili puno češće u granulatu ubacuje se putem lijevka u cilindar stroja u kojoj je smješten jedan ili više puževa koji plastičnu masu transportiraju, a pod utjecajem dovedene topline prevode u talinu. Okretanjem pužnog transportera savladava otpor koji nastaje transportiranjem rastaljene plastične mase, kroz otvore između puža i cilindra masa se plastificira, homogenizira i na kraju u alatu (kalupu) stroja formira u željeni oblik. Ekstrudiranjem se proizvode cijevi, filmovi, ploče, obložni kablovi itd. Ekstrudati su poluproizvodi, to jest sve dimenzije im nisu konačne i točno određene. Na slici 1. prikazan je ekstruder, on je središnji dio linije za ekstrudiranje i služi protiskivanju kapljevito polimera. [1]

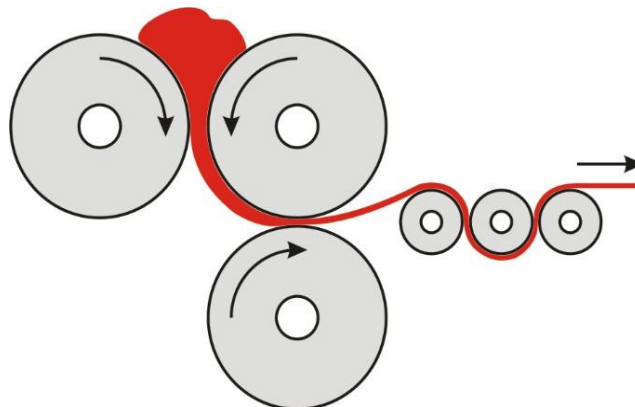


Slika 1. Skica jednopužnog ekstrudera [17]

1) puž, 2) cilindar, 3) spojnica za spajanje sa alatom, 4) vodeno hladena ulazna zona, 5) lijevak za doziranje sirovina, 6) pogon ekstrudera, 7) temperiranje puža, 8) sistem za hlađenje i temperiranje cilindra, 9) grijači elementi za grijanje cilindra

2.1.2 Kalandriranje

Kalandriranje je proces oblikovanja materijala u tanke filmove (foliju) njegovim provlačenjem između zagrijanih valjaka.



Slika 2. Postupak kalandriranja [18]

Tvorevina (kalandrat) u obliku traka (poluproizvod) nastaje očvršćivanjem procesima geliranja i hlađenja. Od plastomera kalandriraju PVC, kopolimer vinil klorida i vinil-acetata, te PS i PE. Od elastomera kalandriraju se smjese prirodnog i sintetskog kaučuka. [1]

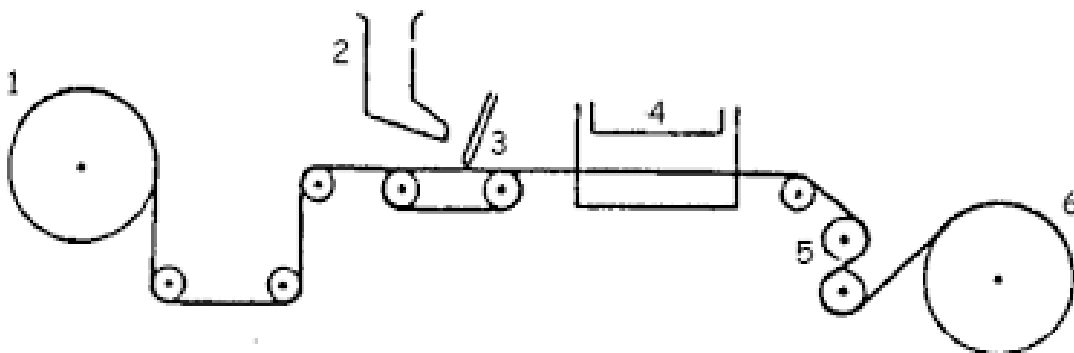
Ovisno o debljini kalandrirani se trakovi dijele na: [1]

- a) Filmove (debljina $< 0,2$ mm)
- b) Folije ($0,2 - 2$ mm)
- c) Ploče (debljina > 2 mm)

Kalandrirani trakovi su poluproizvodi namijenjeni za daljnje tiskanje, toplo oblikovanje, visokofrekventno oblikovanje i tako dalje.

2.1.3 Prevlačenje

Prevlačenje je postupak kojim se polimer nanosi na podlogu u obliku trake. Prikladni polimeri koj se mogu lijevati su: PVC, sintetska koža, gumirane tkanine. Pri prevlačenju se kontrolira samo debljina sloja. Slika 3 prikazuje postupak prevlačenja. [1]



Slika 3. Postupak prevlačenja [1]

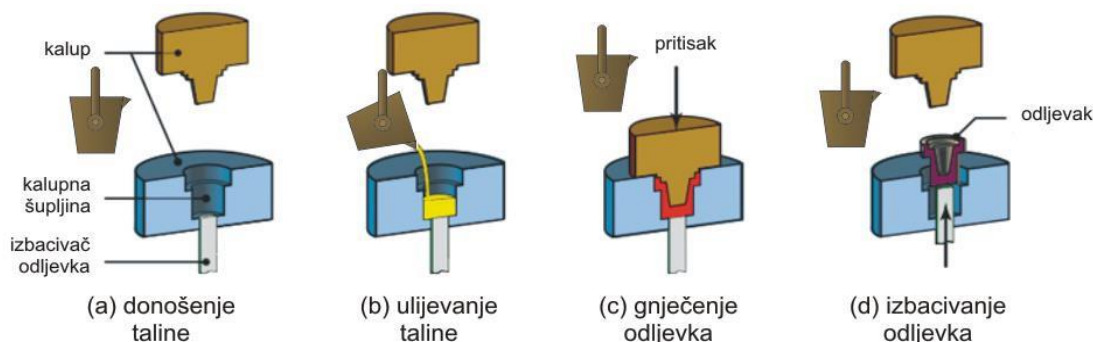
Postrojenje za prevlačenje se sastoji: [1]

- 1) Valjak za odmotavanje podloge
- 2) Spremnik polimera
- 3) Uređaj za nanošenje i nož
- 4) Komora za geliranje
- 5) Valjci za hlađenje
- 6) Valjak za namotavanje

2.2 CIKLIČKI POSTUPCI

2.2.1 Lijevanje

Lijevanje je ciklički postupak praoblikovanja ulijevanjem niskoviskoznih talina polimera u temperirani kalup. Tvorevina, odljevak, poprima oblik kalupne šupljine bez djelovanja dodatne vanjske sile. Lijevaju se kapljeviti monomeri ili već stvoreni polimeri u obliku otopine, paste, disperzije ili niskoviskozne taljevine. [11]



Slika 4. Postupak lijevanja [11]

2.2.2 Srašćivanje

Srašćivanje je postupak cikličkog praoblikovanja polimernih prahova u kalupnoj šupljini spajanjem njihovih čestica pri povišenoj temperaturi (sinteriranje). Kalupi se pune prahom, zatvaraju i zagrijevaju do potpunog rastaljivanja praha, a nakon hlađenja vade se čvrsti kompaktni izratci. Kod postupaka srašćivanja najčešće se koriste postupci nasipnog srašćivanja i rotacijskog srašćivanja. [23]

□ Nasipno srašćivanje



□ Rotacijsko srašćivanje

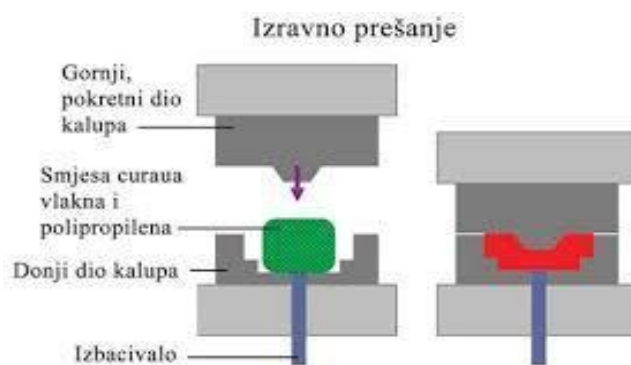


Slika 5. Postupak nasipnog i rotacijskog srašćivanja [23]

2.2.3 Prešanje

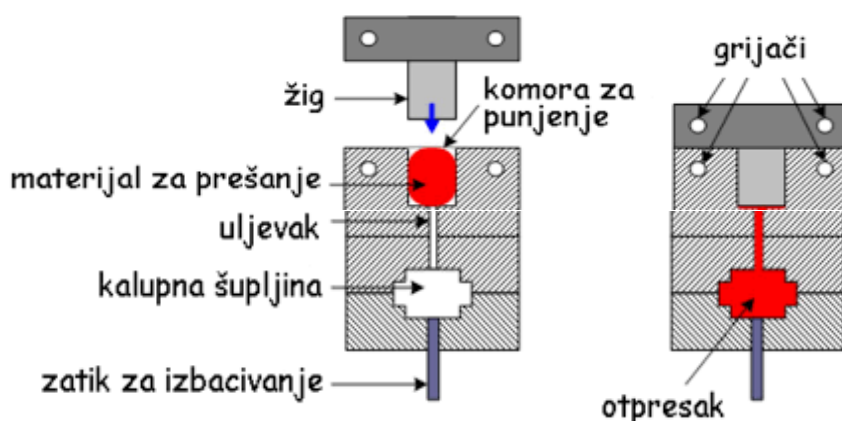
Prešanje je najvažniji ciklički postupak praoblikovanja polimera. Dije se na izravno, posredno, te injekcijsko prešanje.

Izravno prešanje je ciklički postupak praoblikovanja, gdje se prah ili granulati stavlja u otvorenu temperiranu kalupnu šupljinu, te djelovanjem pritiska i topline oblikuje se otpresak. Izravno se prešaju duromeri: PF, UF, MF, od elastomera: sve vrste, a plastomeri se izravno prešaju vrlo rijetko. Nedostatci izravnog prešanja su nemogućnost točnog doziranja, otplinjavanje kalupne šupljine, te srh. [1]



Slika 6. Postupak izravnog prešanja [1]

Posredno prešanje je ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari niske smične viskoznosti u temperiranu kalupnu šupljinu. Karakterizira ga dimenzijska stabilnost otpreska, manji srh, te bolja svojstva u odnosu na izravno prešanje. [1]



Slika 7. Postupak posrednog prešanja [1]

3. Injekcijsko prešanje (brizganje)

Injekcijsko prešanje je najvažniji ciklički postupak preradbe polimera, a provodi se ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Otpresak postaje polireakcijom ili umrežavanjem, geliranjem ili hlađenjem podoban za vađenje iz kalupne šupljine.

Proces brizganja se odvija na strojevima brizgalicama koji se prema veličini sile zatvaranja svrstavaju u male, srednje i velike. Sile zatvaranja su najčešće od 500 kN do 32000 kN, te ima mogućnost proizvoditi artikle od nekoliko grama do nekoliko kilograma. Materijali se plastificiraju te uslijed djelovanja topline i tlaka se ubrizgavaju u hladni ili zagrijani kalup. U kalupu se materijal skrućuje i poprima traženi oblik.

Osnovni koraci u procesu injekcijskog prešanja: [3]

1. zatvaranje kalupa
2. ubrizgavanje
3. zadržavanje taljevine u kalupu
4. hlađenje
5. otvaranje kalupa
6. izbacivanje otpreska.

Kratki opis koraka u postupku injekcijskog prešanja:

-materijal (granulat ili prašak) se ubacuje u lijevak na cilindru brizgalice ručno ili automatskim uređajem. Prema potrebi materijal se obrađuje u sušari (PP, ABS se u sušari obrađuju 2-3h na oko 80-90°C)

-pripremljeni materijal ulazi u cilindar i zagrijava se na propisanu temperaturu (PP na oko 220-230°C, a ABS na nekih 240-250°C)

-kalup se zatvara i ugrijana plastična masa se ubrizgava u šupljinu kalupa, te se tako nakon kratkog hlađenja formira plastična masa (traženi proizvod)

-kalup se otvara, proizvod uzima robot (automatski rad) ili radnik ručno (poluautomatski rad).

Puno je češće korištenje automatskog rada zbog brzine ciklusa.

Kao što je navedeno, za vađenje otpreska iz kalupne šupljine koriste se roboti. Najčešće se koriste 3-osni Sepro roboti koji zadovoljavaju svim potrebama. Imaju mogućnost kretanja u x, y i z smjeru, te nosivost im je do nekih 30-ak kilograma. Programiranje robota se provodi na zasebnom zaslonu na kojem se prije početka rada robota određuju parametri po kojima će robot raditi i kako će se ponašati, odnosno na kakve uvjete će obraćati pažnju. Osim 3-osnog Sepro robota postoje oni sa 5 ili 6 osi, naravno cijena takvih robota je puno veća.



Slika 8. Sepro robot [19]



Slika 9. Kontroler za upravljanje sa Sepro robotom

Injekcijskim prešanjem (brizganjem) prerađuju se svi materijali (plastomeri, duromeri, elastomeri). Velika mu je prednost što je ovaj postupak visokoautomatiziran, ima veliku ponovljivost, te naknadna obrada otpreska uglavnom nije potrebna. Najčešće se ipak prerađuju plastomeri. Neki od najčešćih obrađivanih plastomera su: PP, PE, ABS, PS, PVC, PA, PC i drugi.

Primjena tvorevina dobivenih brizganjem je vrlo velika, najviše se koristi u automobilskoj industriji, ambalaža, elektronički i telekomunikacijski uređaji, namještaj, građevinarstvo, igračke i slično.

Za injekcijsko prešanje potrebna je velika količina opreme, koja je pritom poprilično skupa. Najvažniji elementi za injekcijsko prešanje su: [3]

- a) stroj za brizganje (ubrizgavalica)
- b) kalup (alat)
- c) temperiralo

Pod ostalu opremu za kvalitetno izvršavanje procesa injekcijskog prešanja uvrštavaju se prije svega roboti (za automatski rad), te uređaji koji nisu direktno vezani za sami proces, ali su od velike važnosti, te su neizostavni dio procesa. U te uređaje ubraja se sušara za materijale i silose gdje se čuva materijal, oprema potrebna za dovođenje materijala iz sušare do stroja (dobavljači sirovina), zatim dozatori materijala, mikseri i mlinovi. U ostale materijale svrstavaju se preparati za održavanje te opreme, a to su: zaštitni sprejevi, odmašćivači, silikoni, sredstva za čišćenje i td.

3.1 STROJ ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE (UBRIZGAVALICA)

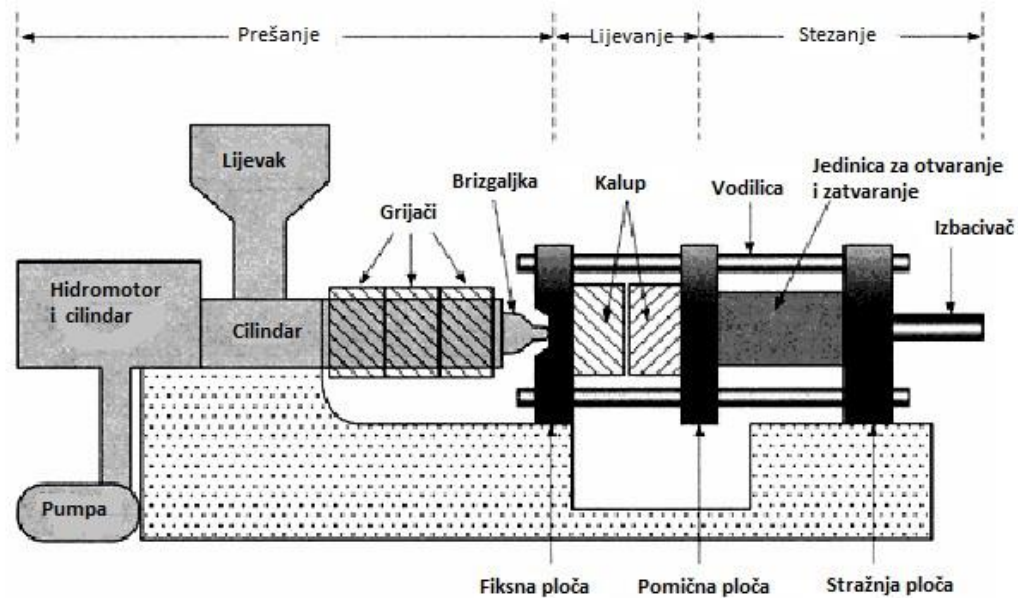
S obzirom na veličinu i kapacitete stroja za injekcijsko prešanje, pomoću njega se može izrađivati beskonačan broj različitih otpresaka. Oblik otpreska ovisi o kalupu koji se stavlja u unutrašnjost stroja koja je predviđena za kalupe. Postoje više vrsta strojeva, a neki među njima su Krauss Maffei, Engel, Dakumar, Arburg, Bettenfeld i ostali. Također velika je razlika u veličini, dimenzijama samog stroja, te njegovom silom zatvaranja (prije je spomenuto da se radi najčešće od 500 kN do 32000 kN).

Stroj za brizganje mora ostvariti više funkcija: [3]

- a) priprema taljevine za ubrizgavanje
- b) ubrizgavanje taljevine u kalup
- c) otvaranje i zatvaranje kalupa
- d) vađenje otpreska,

te se tako svaki stroj za brizganje sastoji se od četiri jedinice:

- a) jedinica za pripremu taljevine i ubrizgavanje
- b) jedinica za otvaranje i zatvaranje kalupa
- c) pogonska jedinica
- d) jedinica za vođenje procesa.



Slika 10. Pojednostavljena shema stroja za injekcijsko prešanje [3]

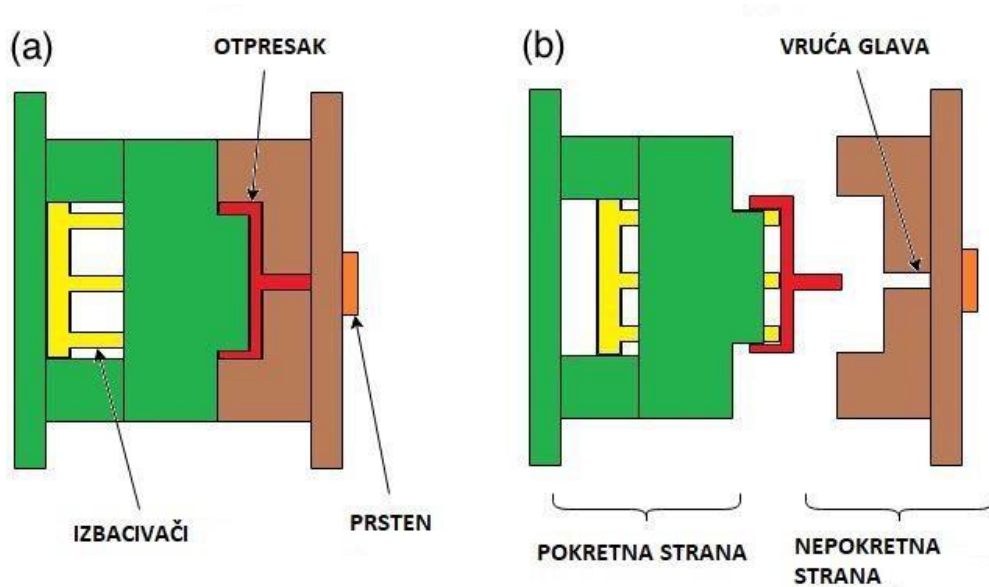
3.2 KALUPI ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE (BRIZGANJE)

Na svaki stroj se zasebno stavljaju alati (kalupi), koji određuju kakvog će oblika biti konačni proizvod. Kalupi se sastoje od pokretne i nepokretne strane. Cilindar od stroja za injekcijsko prešanje se spaja sa kalupom na njegovoj nepokretnoj strani, kroz koju će ulaziti rastopljena masa, te tako oblikovati u kalupu traženi oblik. Kalup ima točnu namjenu i može u pravilu poslužiti samo za pravljenje jedne vrste otpreska. Kalup mora sniženjem temperature taljevine dati oblik ubrizganom polimeru i omogućiti da se dovoljno ohlađeni otpresak izvadi iz kalupne šupljine. Kalupi kao i stojevi mogu biti od malih dimenzija i masa do jako velikih, čak do nekoliko desetaka tona. Pravilnom konstrukcijom kalupa uvelike se utječe na kasniju kvalitetu otpreska, tako da je on najbitniji dio sustava za injekcijsko prešanje.

Osnovni zadatci kalupa su: [4]

- prihvatanje taljevine pripremljene u stroju za brizganje
- razdjeljivanje i praoblikovanje taljevine
- očvršćivanje taljevine u željeni oblik otpreska
- izbacivanje obratka iz kalupne šupljine
- ciklički rad sustava za injekcijsko prešanje.

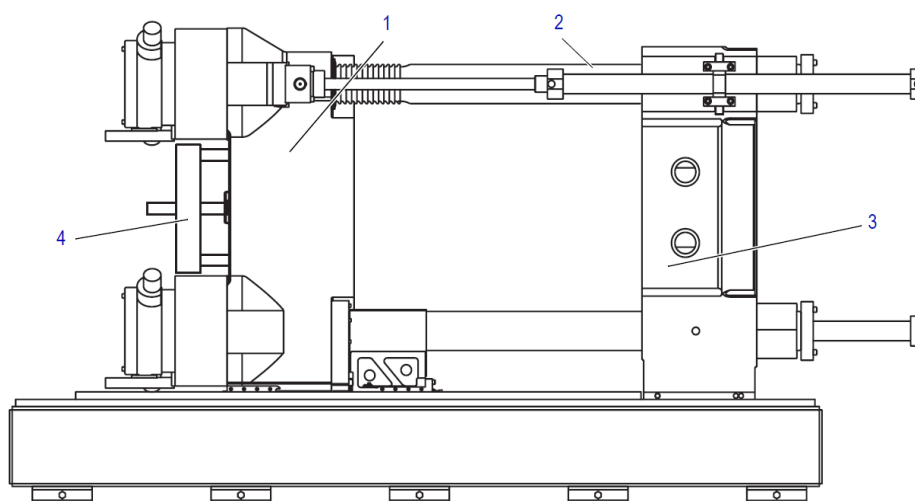
Glavni elementi kalupa su: 1) Kalupna šupljina, 2) Uljevni sustav, 3) Sustav za temperiranje, 4) Sustav za vađenje otpreska, 5) Sustav za vađenje i centriranje, 6) Sustav za odzračivanje i 7) Kućište kalupa



Slika 11. Shema pokretne i nepokretne strane kalupa za injekcijsko prešanje [6]

Iduća slika prikazuje (Slika 12.) jedinicu za otvaranje/zatvaranje kalupa.

Sastoji se od: [4] a) Ploča za stezanje kalupa, b) Vodilica, c) Nepokretna ploča za stezanje kalupa i d) Hidraulički srednji izbacivač



Slika 12. Jedinica za otvaranje/zatvaranje kalupa [4]

3.3 TEMPERIRALO (uređaj za temperiranje kalupa)

Uređaji za temperiranje kalupa koriste se kako bi bila osigurana konstantna temperatura kalupa, osiguravajući time ujednačene parametre procesa prerade i smanjeni udio škarta u proizvodnji. Pod pojmom temperiranje podrazumijeva se postizanje propisane temperature, bez obzira na to da li se toplina dovodi ili odvodi. Propisanu temperaturu kalupa moguće je postići i vodom iz vodovodne mreže (oko 18°C).

Temperirala kalupa mogu se podijeliti prema vrsti medija koji se upotrebljava za temperiranje, te podjela prema području radnih temperatura. Prema vrsti medija razlikuju se voda i ulje. Temperiranje kalupa vodom je najdjelotvorniji način temperiranja, primjenjuje se kada se kalupu odvodi toplina. Vodu kao medij je najbolje upotrebljavati pri atmosferskom tlaku iznad ledišta a ispod vrelišta. Ulje se može upotrijebiti kao medij u slučajevima kada voda ne zadovoljava. Glavna mu je prednost što se može koristiti na temperaturama iznad vrelišta vode. Od ulja primjenjuju se mineralna i sintetička ulja. Sintetička su pogodnija od mineralnih zbog višeg vrelišta. [5]

Temperirala prema području radnih temperatura se dijele u 3 skupine: [5]

- a) niske temperature (od -20 do 25 °C)
- b) srednje temperature (od 25 do 90 °C)
- c) visoke temperature (sve do 140 °C)



Slika 13. Uređaj za temperiranje kalupa (temperiralo) [5]

3.4 OSTALA OPREMA POTREBNA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE (BRIZGANJE)

3.4.1 SUŠARE

Sušare se koriste za sušenje higroskopskih i nehigroskopskih materijala kako bi se ostvarila veća kvaliteta proizvodnje, te smanjio udio škarta. Glavno obilježje sušara je da uklanja vlagu u materijalu. Moguće je spajanje sušare na nekoliko silosa (spremnika), kako bi mogla istovremeno tretirati više različitih materijala. U proizvodnji injekcijskog prešanja sušare se najčešće koriste na temperaturama od 70 do 110°C. Potrebno sušenje materijala je otprilike 1-3h ovisno o kojem se materijalu radi. Nije problem ako materijal ostane pod utjecajem sušare iznad navedenog vremena, ali je ako bude ispod zadanog vremena. Ukoliko materijal nije dovoljno suh, vrlo lako se uočava tijekom provođenja procesa. Izbrizgana masa polimera sadrži mjehuriće, a na gotovim proizvodima se javljaju bijele fleke („iskrenje“). [5] Navedena razlika u izbrizganoj masi prikazana je na slijedećoj slici (slika 14.). Ako materijal ima jednolični izgled, znači da može pristupiti obradi (lijevo na slici), a ako materijal sadrži mjehuriće, znači da sadrži previše vlage i mora se još sušiti (desno na slici). [6]



Slika 14. Provjera količine vlage u materijalu [6]

Postoje mini sušare kojima je svrha naknadno sušenje prije samog ulaska materijala u cilindar. Takvo sušenje se provodi na višim temperaturama (110-130°C), te dovoljno je samo 10-ak minuta za njihovu djelotvornost.

3.4.2 SILOSI

Silosi i spremnici su specijalno dizajnirani za skladištenje i čuvanje materijala od kontaminacije prašinom, osiguravajući time kvalitetu proizvoda. Rađeni su od nehrđajućeg čelika, a kapaciteti su im od 50-ak litara do nekoliko tisuća litara. U injekcijskom prešanju najviše se koriste silosi od 150 do 800 litara. Punjenje silosa najčešće izvršava radnik proizvodnje, na način da ručno otvori vreću sa granulatom određenog materijala i istrese ju

direktno u silos. Također punjenje silosa je moguće i automatski iz velikih vreća ili direktno iz kamiona. Iduća slika (slika 15.) prikazuje sušaru sa dva silosa. [5]



Slika 15. Sušara sa dva silosa [5]

3.4.3 DOZATORI MATERIJALA

Sustavi za doziranje materijala se koriste ukoliko je potrebno pripremiti mješavinu osnovnog materijala sa samljevenim ili aditivima (npr. masterbatcha) u točno zadanom postotku. U praksi se koristi otprilike 2-4% masterbatcha, ostalo je osnovni materijal. Također imaju ulogu reguliranja ulaska materijala u cilindar. Materijal crijevima iz sušare ili oktabina dolazi do dozatora materijala, te ga prema potrebi ispušta u cilindar. [5]



Slika 16. Dozator materijala [5]

3.4.4 MIKSERI

Osnovni zadatak miksera je miješanje osnovnog materijala i aditiva (npr. masterbatcha ili samljevenog materijala) kako bi se dobila homogena smjesa. Prikazan je na idućoj slici. [5]



Slika 17. Mikser za miješanje osnovnog materijala i aditiva [5]

3.4.5 MLINOVI

Mlinovi su od velike koristi u pogonima za proizvodnju plastičnih dijelova. Njihova uloga je mljevenje škartnih komada i uljevaka, te je tako moguć povrat materijala u proizvodni proces, te time dolazi do velikih ušteda materijala. Postoje tipovi mlinova koji mljevenje plastike vrše neposredno pokraj stroja za preradu, te tako imaju mogućnost automatskog vraćanja samljevenog materijala u proizvodni proces. [5]



Slika 18. Mlin za mljevenje plastike [5]

3.5 SREDSVA ZA ODRŽAVANJE

Sredstva za održavanje se prije svega odnose na održavanje stroja i kalupa za injekcijsko prešanje. Ovdje se koriste razna sredstva za čišćenje i odmaščivanje, podmazivanje, zaštitna sredstva i td. [7]

1.) Sredstva za čišćenje i odmaščivanje

- to su neabrazivna i nekorozivna sredstva u obliku spreja i granulata
- brzo se suše, nemaju jak i neugodan miris
- može se koristiti za sve materijale i na raznim temperaturama

2.) Sredstva za podmazivanje

- štite protiv korozije, sprečavaju blokade i zapečenost materijala
- osim kalupa sredstva za podmazivanje se koriste i za vodilice, izbacivače, samu montažu kalupa na stroj, te stazu po kojoj se stroj giba
- primjenjivi su i na temperaturama preko 1000°C

3.) Sredstva za zaštitu

- osiguravaju dugotrajnu zaštitu od atmosferskih utjecaja i zaštita od korozije
- nemaju štetnih utjecaja, proizvode se na bazi voska

4.) Sredstva za odvajanje

- ovdje je naglasak na silikonima u obliku spreja kojim se prskaju pokretna i nepokretna strana kalupa za injekcijsko prešanje, sa ciljem sprečavanja gore navedene zapečenosti i ljepljenja plastike za kalup
- velika je dugotrajnost tih sredstava za odvajanje (za velik broj komada), te su primjenjivi za sve vrste materijala i na svim temperaturama



Slika 19. Sredstva za čišćenje, odmaščivanje, zaštitu i odvajanje u obliku spreja [7]

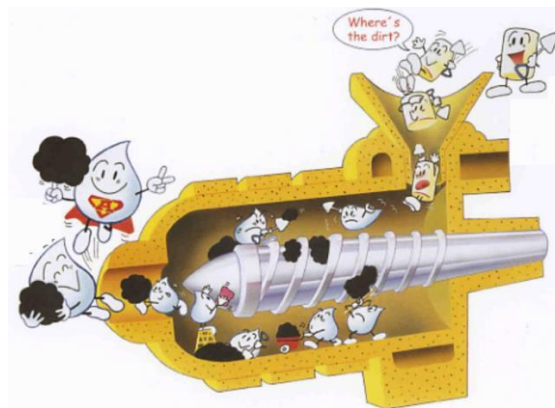
Aditivi za čišćenje cilindra

Aditivi za čišćenje se koriste kako bi se učinkovito očistili vijak i cilindar za plastificiranje stroja za injektiranje.

Svaka zapreka, bilo kako mala (> 0.1 mm) može prouzročiti značajno trajanje zadržavanja. Mogu prouzročiti razne probleme u procesu injekcijskog prešanja, a neki od njih su: [6]

- promjena vremena povrata vijka
- promjenu težine proizvoda
- površinske nepravilnosti na proizvodu
- nejednoliku kakvoću taljevine
- crne točke i crte

Korištenje aditiva za čišćenje uvelike doprinosi dugotrajnosti i pravilnosti provođenja procesa injekcijskog prešanja. Na idućoj slici (slika 20.) je na simboličan način prikazana djelotvornost aditiva.



Slika 20. Djelotvornost aditiva za čišćenje u cilindru za injekcijsko prešanje [6]

Osim za čišćenje aditivi se koriste za bržu i lakšu promjenu boje ili materijala u cilindru. Iduća slika (slika 21.) prikazuje primjer promjene iz plave u bijelu boju. Aditivi su ti koji su doprinijeli da ta promjena bude što brža i čišća, odnosno da naknadno na bijeloj boji ne budu tragovi plave boje. Moguća je promjena svih tipova boja.



Slika 21. Utjecaj aditiva na promjenu boje u cilindru [7]

3.6 Materijali koji se koriste u injekcijskom prešanju

U procesu injekcijskog prešanja najviše se koriste plastomeri. Plastomeri su sintetski polimerni materijali koji su topljivi u otapalima i taljivi na povišenim temperaturama. Kada se zagriju do temperature taljenja ne mijenja im se kemijska struktura, već samo agregatno stanje (iz krutog u tekuće stanje). Ponovnim hlađenjem plastomeri opet mijenjaju agregatno stanje, odnosno vraćaju se u kruto agregatno stanje. Plastomeri su najproširenija skupina polimernih materijala obzirom na potrošnju, a po stupnju uređenosti mogu biti amorfni i kristalasti. U nastavku su navedeni i ukratko objašnjeni neki najčešći obrađivani plastomeri, te slikom potkrijepljena njihova primjena. Svi navedeni plastomeri su primjenjivi u injekcijskom prešanju. [8]

3.6.1 Polipropilen (PP)

-[CH(CH₃)-CH₂]-_n

Polipropilen spada u lakše polimerne materijale, gustoća mu je:

amorfni - 0.855 g/cm³,

kristalni - 0.946 g/cm³

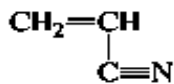
Industrijski se proizvodi polimerizacijom propilena. Temperatura taljenja je visoka (oko 160°C), što mu omogućuje primjenu u širokom temperaturnom području. Polipropilen karakterizira visoka rastezna čvrstoća, visoka tvrdoća, postojanost na vodu i organska otapala, dobra elastičnost i tečljivost. U procesu injekcijskog prešanja polipropilen se koristi pri temperaturama (220-230°C). Zadana temperatura je optimalna, pri višim temperaturama od zadane polipropilen teče brže što je nepovoljno za proces. Na nižim temperaturama pri kojima

polipropilen teče sporije, također dovodi do nepovoljnog procesa. Prije početka procesa injekcijskog prešanja polipropilen je potrebno sušiti oko 1-2 h na temperaturi od 80-90°C. Velika je primjena polipropilena zbog njegove prihvatljive cijene, uravnoteženih svojstava, mogućnosti kopolimerizacije i vrlo lake obrade. Zbog dobrih svojstava najveća primjena polipropilena je u automobilske industriji, zatim koristi se za izradu cijevi, dijelova namještaja i raznih uređaja. Nedostatak polipropilena je niska udarna žilavost, posebice pri niskim temperaturama, te nepostojanost prema jakim oksidansima i UV zračenju. [24]

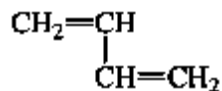


Slika 22. Proizvod izrađen od PP (polipropilena) [22]

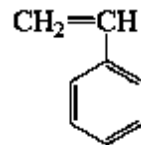
3.6.2 ABS (Akrilonitril butadien stiren)



Akrilonitril



Butadien



Stiren

ABS je neproziran termoplastični i amorfni polimer koji je sastavljen od tri različita monomera: [9]

- akrilonitrila- daje mu kemijsku otpornost,
- butadiena - daje mu optornost na udarce i
- stirena - daje mu krutost, čvrstoću i laku obradivost.

U tekuće agregatno stanje prelazi već pri 105°C, a koristi se i obrađuje na temperaturama većim od onih na kojima se koristi polipropilen (240-250°C). Prije početka procesa injekcijskog prešanja ABS je potrebno sušiti oko 2-3h na prosječnim temperaturama od 80-90°C. ABS ima jaku otpornost na korozivne kemikalije i fizičke utjecaje. Raznim modifikacijama ABS-a može se poboljšati otpornost na udarce, žilavost i otpornost na toplinu. Glavne prednosti

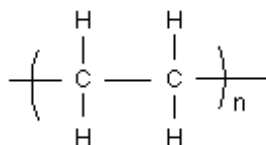
zbog kojih se uvelike koristi u injekcijskom prešanju su mu niska temperatura topljenja, te niska cijena. Također je bezopasan, nema štetnih utjecaja po zdravlje.

Primjena ABS-a je široka, a najviše se koristi za kompjutersku opremu, zidne utičnice, automobilske branike, kućne uređaje, igračke i td. [9]



Slika 23. Proizvodi izrađeni od ABS-a (akrilonitril-butadien-stirena) [9]

3.6.3 Polietilen (PE)



PE je kristalasti plastomer koji se industrijski dobiva polimerizacijom etena (etilena). Prema molekularnoj građi i svojstvima razlikuju se polietilen niske gustoće (PE-LD, 0,910-0,925g/cm³) i polietilen (PE) visoke gustoće (PE-HD, 0,940-0,965g/cm³). Osim ova dva tipa polietilena razlikuju se još polietilen srednje gustoće (PE-MD), linearni polietilen niske gustoće (PE-LLD), te polietilen visoke molekularne mase (PE-UHMW).

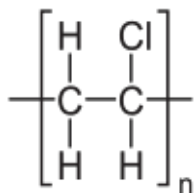
Polietilenima se porastom gustoće povećava tvrdoća, rastezna čvrstoća, krutost, kemijska postojanost, otpor prema puzanju ali i talište. Od negativnih utjecaja s porastom gustoće smanjuje se savitljivost, žilavost i prozirnost. Jedna od najvažnijih značajki polietilena je njegova molekularna masa koja određuje njegovu sposobnost prerađivanja. Za injekcijsko prešanje najpogodniji su polietileni niske molekularne mase, zbog brže tečljivosti. Prije početka procesa injekcijskog prešanja polietilen je potrebno sušiti oko 1h na temperaturi od 85°C. Uglavnom sve vrste PE karakterizira niska cijena, jednostavnost preradbe, postojanost na kemikalije, te dobra mehanička i električna svojstva.

Polietilen se najviše koristi za izradu ambalažnog materijala za prehrambene, farmaceutske, tekstilne i druge proizvode (folije, vrećice, boce, industrijski spremnici), te za izolaciju električnih kablova. [24]



Slika 24. Proizvod izrađen od PE (polietilena) [22]

3.6.4 PVC (Poli vinil - klorid)



PVC je plastomerni materijal koji se dobiva radikalskom polimerizacijom vinil-klorida, najčešće u vodenoj suspenziji, ali i u emulzijama i otopinama, pri temperaturi od 50 do 70°C.

PVC se dijeli na:

- a) **kruti**: tvrd, žilav, proziran, teško prerađljiv, otporan na kemikalije i vlagu
- b) **savitljivi**: lako prerađljiv, slabijih mehaničkih svojstava, manje otporan na kemikalije i atmosferilije. Sadrži 20-30% omekšavala.
- c) **pjenasti**: koristi se u proizvodnji umjetne kože (skaj), izradi putnih torbi i td.

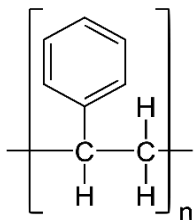
Svojstva PVC-a lako se mogu mijenjati ugradnjom drugih monomera tijekom polimerizacije, ali i dodatkom raznih omekšavala, punila, toplinskih stabilizatora i poboljšivača žilavosti. Prije početka procesa injekcijskog prešanja PVC je potrebno sušiti oko 2 h na temperaturi od 90-100°C. Primjena PVC-a je jako raširena, a najviše u građevinarstvu, izradi okvira prozora,

krovova, spremnika, posuda, električnih izolacija, cijevi i td. Obrada PVC-a je moguća sa skoro svim načinima prerada plastike. [24]



Slika 25. Proizvod izrađeni od PVC-a (poli(vinil-klorida)) [22]

3.6.5 PS (Polistiren)



Polistiren je polimerni materijal lake obradljivosti, široke primjene i niske cijene. Najvažnije vrste polistirena su:

- a) **obični** - proziran, sličan staklu, lake bojivosti, male udarne žilavosti, tvrd ali krhak.
- b) **žilavi** – nazivan i modificirani polistiren (PS-HI), dvofazni je sustav polistirena i dispergiranih čestica elastomera. Karakterizira ga visoka udarna žilavost, te otpornost prema lomu (može se istegnuti i do 60% više od svoje početne vrijednosti prije samog loma).

Obični i žilavi polistiren koriste se za izradu kućanskih aparata, ambalaže za prehrambenu industriju (čашice za jogurt, puding, sireve i sl.), za dijelove raznih uređaja.

- c) **pjenasti** – poznat kao stiropor (EPS) proizvodi se impregniranjem polistirena lakohlapljivim kapljevinama, koje zagrijavanjem ekspandiraju i stvaraju ćelijastu strukturu materijala. To je postupak nastanka stiropora (čvrsta i lagana pjena), koji je odličan materijal za toplinsku i zvučnu izolaciju u građevinarstvu, za ambalažnu robu osjetljivu na udar, dijelove čamaca i pojaseva za spašavanje.

Polistiren ima široku primjenu u injekcijskom prešanju, te ga je potrebno prije početka procesa sušiti oko 1h na temperaturi od 80°C. [24]

Uz gore navedene vrste polistirena postoje još:

Stiren/akrilonitrilni kopolimer (SAN) – boljih mehaničkih svojstava i kemijske postojanosti od običnog polistirena, koristi se za izradu školskog, uredskog, medicinskog i kozmetičkog pribora, te za izradu dijelova aparata i instrumenata.

Akrlonitril butadien stiren (ABS) o kojemu je već prije napisano.



Slika 26. Proizvod izrađen od PS (Polistirena) [22]

4. POSTUPCI PREOBLIKOVANJA

Preoblikovanjem se poliproizvodu dobivenim jednim od postupaka praoblikovanja mijenja oblik uz eventualno očvršćivanje. Najvažniji postupci preoblikovanja su toplo i hladno oblikovanje, puhanje i izvlačenje. Pretežno se preoblikuju plastomeri.

4.1. Oblikovanje

To je ciklički postupak obrade polimera tokom kojega se bez odvajanja čestica mijenja oblik obradka (folija, ploča, filmovi). Dijeli se na toplo i hladno oblikovanje, a pretežno se preoblikuju plastomeri. [8]

4.1.1. Toplo oblikovanje

Kod postupka toplog oblikovanja najviše se koristi postupak razvlačenja i toplo oblikovanje savijanjem. Postoji još postupak pritiskanja i mješoviti postupci. Toplo oblikovanje može se podijeliti prema metodi oblikovanja:

- a) Podtlačno toplo oblikovanje
- b) Tlačno toplo oblikovanje
- c) Mehaničko toplo oblikovanje

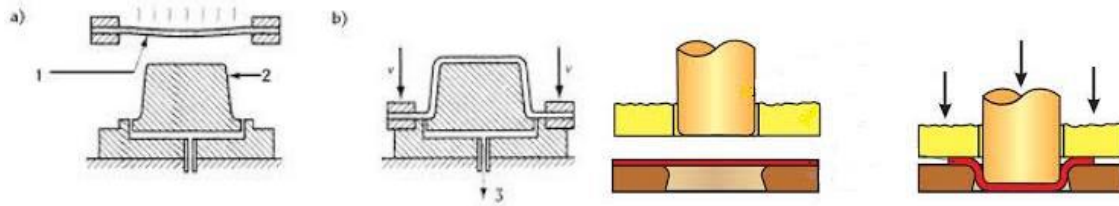
Potrebna oprema za izvršavanje toplog oblikovanja čine:

- Oblikovalica
- Kalup
- Temperiralo

Postupak razvlačenja može se izvesti na nekoliko načina. To su mehaničko pritiskanje, djelovanjem tlakom zraka ili podtlaka, te kombinacijom navedenih postupaka. Kod postupka razvlačenja dolazi do velike promjene debljine stijenke. Toplo oblikovanje savijanjem koristi se za dobivanje cijevi.

4.1.2. Hladno oblikovanje

Pod postupke hladnog oblikovanja (na sobnim temperaturama) spadaju duboko vučenje, valjanje, prešanje itd. Hladnim oblikovanjem se najčešće izrađuju predmeti cilindričnog oblika (npr. limenke). Od polimera za hladno oblikovanje najviše se koristi PE, PP, PVC, PC i drugi.



Slika 27. Primjeri toplog (sa žigom) i hladnog (duboko vučenje) oblikovanja [8]

4.1.3. Izvlačenje-Stezanje

Izvlačenje je postupak koji se koristi za preoblikovanje npr. filmova. Prilikom postupka izvlačenja obradak se proširi do nekoliko puta. Neposredno nakon izvlačenja, postignuto prošireno stanje mora se zagrijavanjem zadržati iznad staklišta amorfnih i tališta kristalastih plastomera. Postupak se primjenjuje za povišenje čvrstoće vlaknima, nitima ili vrpca. [8]

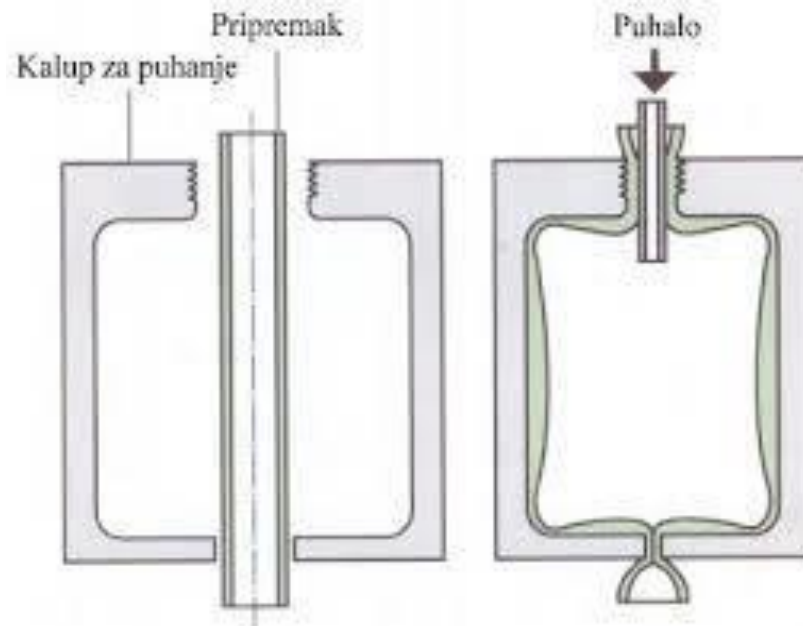
Stezanje je postupak preoblikovanja pogodan za proizvodnju cijevi sa unutarnjim navojem. [8]

4.2 PUHANJE ŠUPLJIH TIJELA

Postupak puhanja šupljih tijela svrstava se u ciklički postupak preoblikovanja kod kojeg se obradak može oblikovati u šuplje tijelo otvoreno na jednom kraju (spremnici, boce) ili zatvoreno šuplje tijelo (lopte, igračke). Može se podijeliti na dva osnovna postupka puhanja šupljih tijela, a to su ekstruzijsko i injekcijsko puhanje. [21]

4.2.1. Ekstruzijsko puhanje

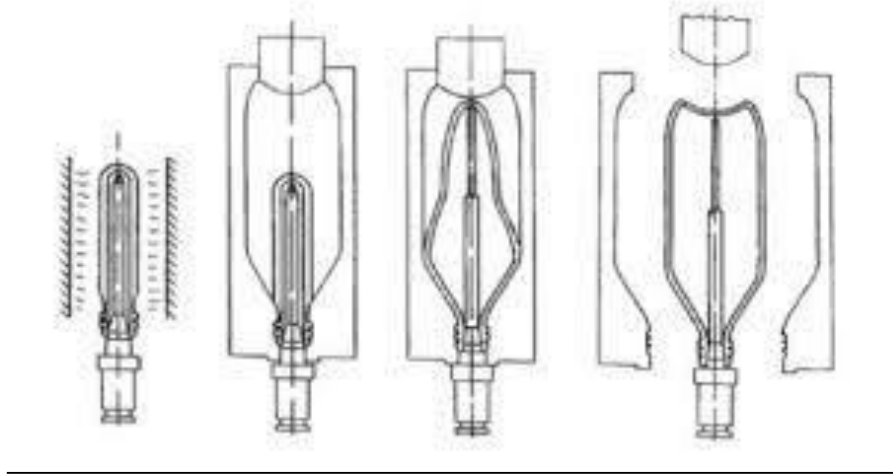
Ekstruzijsko puhanje je trodimenzionalni ciklički postupak dobivanja plastičnih boca, kod kojeg se u prvoj fazi kroz mlaznicu ekstrudera oblikuje pripremak u obliku gipke cijevi, te se zatim stavlja u kalup odgovarajućeg oblika. Kalup se zatvara, donji dio obradka se stisne kalupom i zavari (dno proizvoda), dok gornji dio se odreže nožem i u njega ulazi puhalo, koje oblikuje grlo proizvoda. Kroz puhalo se upuhuje zrak pod tlakom koji širi pripremak i potiskuje ga do stijenki kalupa. Kalup mora biti izrađen na način da se lako može ukloniti zrak koji se prije upuhivanja nalazio u prostoru između cijevi i zatvorenog kalupa. Zatim slijedi hlađenje, koje najčešće dugo traje, a da bi se ubrzalo, umjesto stlačenog zraka u puhalo se može dovoditi ukapljeni ugljikov dioksid ili dušik. Nakon hlađenja kalup se otvara i izbacuje gotov proizvod. Više proizvoda se može proizvoditi istovremeno, te se u tu svrhu koriste horizontalno i vertikalno postavljeni kalupi za ekstruzijsko puhanje.



Slika 28. Ekstruzijsko puhanje [21]

4.2.2. Injekcijsko puhanje

Injekcijsko puhanje se koristi za izradu manjih boca, te izradi šupljih tijela kvalitetne površine i da su nepropusna na plinove. Takve proizvodi se većinom upotrebljavaju u medicini i kozmetici. Injekcijsko puhanje sastoji se od dvije radne faze. Prva faza je već detaljno objašnjena, to je injekcijsko prešanje. Injekcijskim prešanjem izrađuje se pripremak, na način da se taljevina ubrizgava u kalupnu šupljinu, gdje se nalazi jezgreno puhalo. Nakon završenog procesa injekcijskog prešanja otpresak ostaje na jezgri i prenosi se u kalup za puhanje. Zatim se kroz jezgru puhala upuhuje stlačeni zrak, te se proizvod dalje oblikuje na način objašnjen pod ekstruzijskim puhanjem. Međutim proizvodi dobiveni injekcijskim puhanjem imaju kvalitetniju površinu od proizvoda dobivenih ekstruzijskim puhanjem, zato što kod injekcijskog puhanja nema zavarenih rubova, samim time nema ni srha ni otpadnog materijala.



Slika 29. Injekcijsko puhanje [21]

5. MONTAŽA, KONTROLA KVALITETE, PAKIRANJE i SKLADIŠTENJE

Svaki uspješni proizvodni proces se sastoji od navedenih postupaka. Nakon npr. procesa injekcijskog prešanja slijede montaža i kontrola kvalitete. Ako proizvod zadovolji u svim traženim kategorijama (masa, aspekt, sjaj, dimenzije) spreman je za pakiranje i skladištenje.

5.1. Montaža

Riječ montaža je širok pojam, a u injekcijskom prešanju koriste se razne naprave za montiranje potrebnih dijelova.

Naprave za montažu koriste se za: [12]

- klipsanje
- stezanje vijcima
- spajanje zakovicama
- spajanje zavarivanjem (ultrazvučno, vibraciono, metoda „hot plate“)



Slika 30. Uređaj za montažu (vibraciono zavarivanje) [12]

Branson je najveći i najsnažniji standardni stroj za vibraciono zavarivanje.

Često se koristi postupak montaže zajedno s zavarivanjem i *Poka-yokom*.

Poke-yoke je japanski izraz koji znači "provjera pogrešaka" ili "nenamjerno sprječavanje pogreške". *Poka-yoke* je bilo koji mehanizam u bilo kojem procesu koji pomaže operateru opreme da izbjegne (*yoke*) pogreške (*poka*). Njegova svrha je eliminirati nedostatke proizvoda sprječavajući, ispravljajući ili skrećući pozornost na ljudske greške koje se pojave.

Na idućoj slici prikazan je primjer izgleda *Poka-yoke* za kontroliranje proizvoda dobivenog injekcijskim prešanjem. Uz kontrolu na ovom primjeru je potrebna montaža vijaka, te zakivanje zakovica.

Nakon odrađenih operacija na ekranu su prikazana mjesta na kojima su moguće pogreške.

Ako je sve ispravno izvršeno sva ta mjesta će biti označena zeleno, a ukoliko se negdje pojavi pogreška ili nesukladnost, to mjesto će biti označeno crveno (prikazano dole na slika 31.).

U navedenom primjeru pogreška se javila na mjestu gdje se zakiva zakovica, odnosno radniku daje do znanja da mora opet koristiti pištolj za zakivanje, te bolje izvršiti zakivanje.

U suprotnom dok radnik ne obavi valjano zakivanje, *Poke-yoke* će stalno javljati grešku. Tek kad prepozna da se naknadno zakivanje valjano odradilo, onda će se zazeleniti i otpustiti će komad. Nakon otpuštanja vakuuma *Poke-yoke* radnik skida proizvod i slaže ga u paletu. [13]



Slika 31. Primjer izgleda *Poka-yoke* i njenog zaslona

5.2. Kontrola kvalitete

Podrazumijeva niz postupaka i upravljanje istima, a kako bi se postigla potrebna razina kvalitete proizvoda koj se isporučuje kupcu, s krajnjim ciljem postizanja zadovoljstva kupca. Kontrola kvalitete poprilično je širok pojam, a hijerarhijski gledano, prikazana kroz piramidu dokumentacije sustava upravljanja kvalitetom, mogla bi izgledati ovako:

NIVO 1 - QM: Poslovnik upravljanja poslovanjem

NIVO 2 - QAP: Procedure upravljanja poslovanjem

NIVO 3 - QU: Upute za rad sektora/službi

NIVO 4 - Ostala dokumentacija i obrasci

Ovdje je naglasak na kontroli kvalitete u automobilskoj industriji. Unutar autoindustrije, koriste se specifične metodologije, analize, kontrole i mjerne metode kao što su:

CSR karakteristike, PPM, FMEA (Analiza načina rada i učinaka), Ishikawa, 8D metodologija, QRQC metodologija (Brza kontrola kvalitete odgovora) , auditi proizvoda i procesa, AVES standard i SPC (statistička kontrola procesa) itd.

Uobičajena su razna mjerenja (1, 2, 3D mjerenja), bilježenje rezultata u formi mjernih izvještaja, analiza rezultata, sustava informiranja, a koriste se i razne mjerne metode i instrumenti. Referentni dokument Kvalitete za svaki proizvod je CP (kontrolni plan), koji se kreira u fazi razvoja, a predaje proizvodnoj kvaliteti na SOPu (standardni radni postupak). Taj dokument definira protok materijala od ulaza do skladištenja gotovog proizvoda, sa svim relevantnim stavkama poput referenci, idenata, naziva materijala, metoda i frekvencija ispitivanja i mjerenja. Služba Kontrole kvalitete primjenjuju korektivne i preventivne aktivnosti, a koje se poduzimaju u svrhu otklanjanja uzroka postojećih i potencijalnih nesukladnosti kako bi se spriječilo njihovo ponovno pojavljivanje, U automobilske industriji, čitav sustav kvalitete recertificira se sa godišnjim auditom IATF 16949 (Međunarodna radna skupina za automobilsku industriju) koji je globalan i odnosi se na cijeli lanac auto i moto sektora. Ciljevi su osigurati stabilan proces, kvalitetan proizvod s minimumom odstupanja od specifikacija koje zahtjeva kupac, isporučiti kupcu kvalitetan proizvod, te osigurati što veću razinu zadovoljstva kupca.

5.3. Pakiranje

To je složeni radni proces koji se sastoji od više jednostavnih procesa. Pakiranje je važna aktivnost koja ima bitnu ulogu i mnoge funkcije. Osim zaštitne funkcije, na koju se prvo pomisli kada se spominje pakiranje, postoji još ekološka (korištenje polimera i kartona koji se mogu reciklirati), marketinška (estetska), upotrebna, logistička funkcija, te funkcije za proizvodnju.

Razlikujemo slijedeće razine pakiranja: [14]

- a) **primarno** - izravno sadrži proizvod
- b) **sekundarno** - štiti primarnu ambalažu
- c) **tercijarno** - manipulativna uloga (npr. lakše skladištenje)

Operacije kod pakiranja su:

- priprema ambalaže za pakiranje
- odmjeravanje robe i punjenje ambalaže
- zatvaranje ambalaže i
- završne radne operacije

Pakiranje se može sagledati sa dva aspekta:

- **logistički aspekt** - Logistika definira pakiranje kao postupak stavljanja proizvoda u ambalažu odgovarajuće kvalitete, oblika i načina zatvaranja. Sustav pakiranja sastoji se od tri elementa : a) proizvod, b) omot, c) proces
- **marketinški aspekt** - U ovom aspektu naglasak je na pakiranju koje mora biti atraktivno dizajnirano, kako bi privuklo kupce, te osim estetike mora imati visoku funkcionalnost.

Postoje mnogi načini pakiranja, a najčešći su: palete, kontejneri, kutije, sanduci, posude raznih veličina i drugo.

5.4. Skladištenje

Pravilno skladištenje je jedna od najvažnijih aktivnosti, a njome se uglavnom bave logističari. Troškovi skladištenja su izuzetno visoki, te ta aktivnost mora biti maksimalno kvalitetno odrađena. To je planirana aktivnost kojom se materijal dovodi u stanje mirovanja, a uključuje fizički proces rukovanja i čuvanja materijala te metodologiju za provedbu tih procesa. Po definiciji skladište je prostor za uskladištenje robe u rasutom stanju ili u ambalaži s namjerom da poslije određenog vremena roba bude uključena u daljnji transport, proizvodnju, distribuciju ili potrošnju. Skladište može biti ograđeni ili neograđeni prostor, pokriveni ili nepokriveni prostor koji se koristi za čuvanje sirovina, poluproizvoda ili gotovih proizvoda. U njemu se roba preuzima i otprema, te čuva od raznih fizičkih, kemijskih i atmosferskih utjecaja.

6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

U eksperimentalnom dijelu diplomskog rada objašnjen je proces dobivanja gotovog proizvoda iz granulata injekcijskim prešanjem. Provest će se postupak od samog ulaska granulata u stroj kroz postepeno optimiranje parametara tokom procesa, sve do gotovog proizvoda spremnog za pakiranje, skladištenje te daljnju transakciju. Navedena je i opisana sva oprema koja se koristila tokom procesa, te objašnjen KM (Krauss Maffei) zaslon za injekcijsko prešanje. Također su detaljno navedene mogućnosti KM softwarea, odnosno značenje parametara, te na koji se način može utjecati promjenom parametara na sami proces injekcijskog prešanja.

Dobiveni proizvod je **donja zaštita motora kod automobila**. Navedeni proizvod je dobiven od materijala Hifax CB 1160 A Black. Radi se eksterijernom proizvodu koji nije vidljiv, tako da nije nužno sušiti materijal.

Tijekom procesa korištena je sljedeća oprema:

- Ubrizgavalica Krauss Maffei 1600 (sila do 16000 kN)
- Kalup za injekcijsko prešanje navedenog proizvoda
- Temperiralo *Simple*
- Granulat materijala Hifax CB 1160 A Black
- Pumpa za dovod materijala *Colotronic*
- Dozator materijala *Colotronic*
- Sepro robot (3-osni)
- Software na stroju (MX_MC 5)
- Potrebna oprema za mjerenje proizvoda (pomično digitalno mjerilo-šubler i digitalna vaga)
- Mjerač sjaja („Glossmeter“)
- Palete i kutije za pakiranje proizvoda

6.1. Ubrizgavalica KM 1600

Praktična proba za donju zaštitu motora automobila je proizvedena na ubrizgavalici Krauss Maffei 1600. Stroj Krauss Maffei 1600 pripada skupini ubrizgavalica velikih veličina. U tablici 1 (Tablica 1.) prikazane su njegove karakteristike:

Tablica 1. Karakteristike ubrizgavalice KM1600

| Karakteristike ubrizgavalice KM1600 | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Dimenzije stroja | 14,34x4,01x2,93 | m |
| Masa stroja bez ulja | 110 | t |
| Minimalna visina kalupa | 700 | mm |
| Maksimalna visina kalupa | 1900 | mm |
| Svijetli otvor stroja horizontalni | 1850 | mm |
| Svijetli otvor stroja vertikalni | 1400 | mm |
| Sila zatvaranja | 1600 | kN |
| Maksimalna masa alata (kalupa) | 43000 | kg |
| Broj zona za grijanje kalupa | 48 | - |
| Maksimalni tlak ubrizgavanja | 1760 | bar |
| Maksimalna temperatura cilindra | 375 | °C |
| Maksimalna masa ubrizgaja | 6700 | g |

Na slici 32 prikazan je primjer stroja Krauss Maffei na kakvom je odrađen rad.



Slika 32. Krauss Maffei stroj za injekcijsko prešanje [4]

6.2. Kalup za injekcijsko prešanje

Kalupi za injekcijsko prešanje su izrađeni od poboljšanih čelika koji u manjem postotku sadrže mangan, molibden i krom. Naknadno se kalupi provode kroz procese toplinske obrade, kaljenje ili nitriranje. Kalup koji će se koristiti sadrži 5 sapnica kroz koju se ubrizgava rastaljenii polimer. One su smještene vertikalno jedna iznad druge, prva je skroz gore, dok peta dole na dnu. Ovaj podatak o pozicijama sapnica na kalupu je od velike važnosti kod procesa ubrizgavanja.

U tablici 2. prikazane su osnovne karakteristike kalupa na kojem je proveden eksperimentalni dio rada.

Tablica 2. Karakteristike kalupa (alata)

| Karakteristike kalupa(alata) | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Visina | 1800 | mm |
| Horizontalna dimenzija | 1450 | mm |
| Vertikalna dimenzija | 1250 | mm |
| Masa | 13100 | kg |
| Pokretna strana masa | 6100 | kg |
| Nepokretna strana masa | 7000 | kg |
| Broj jezgri nepokretna strana | - | - |
| Broj jezgri pokretna strana | 1 | - |
| Broj sapnica | 5 | - |
| Broj zona grijanja | 15 | - |
| Temperature zona kalupa | 220 | °C |
| Broj gnijezda | 1 | - |

Na slici 33. je prikazan kalup (alat) na kojem je proveden eksperimentalni rad, odnosno njegova pokretna i nepokretna strana. Kalup je već stavljen na stroj, te se nalazi u otvorenoj poziciji (na 1300 mm). Prilikom transporta, te stavljanja ili skidanja sa stroja kalup uvijek mora biti zatvoren. Za stavljanje kalupa na stroj korištena je dizalica maksimalne nosivosti od 40000 kg. Spomenuti kalup je mase oko 13000 kg, tako da je dizalica odgovarajuće nosivosti.

Crveni brojevi (od 1 do 5) na nepokretnoj strani kalupa označavaju broj i mjesto sapnica na kalupu.



Pokretna strana kalupa

Nepokretna strana kalupa

Slika 33. Pokretna i nepokretna strana kalupa za injekcijsko prešanje

Prije je navedeno da se radi o stroju sile zatvaranja od 16000 kN. Ta sila od 16000 kN ukazuje kolika je maksimalna sila zatvaranja kalupa (alata). Sila otvaranja/zatvaranja definira se prema maksimalnoj sili koja se mora ostvariti da bi kalup ostao zatvoren pod djelovanjem tlaka brizganja. Do veličine sile zatvaranja dolazi se tako da se ortogonalna projekcija otvora u kalupu pomnoži s koeficijentom K , koji je ovisan o materijalu koji se upotrebljava za injekcijsko prešanje.

Provjera sile zatvaranja [6]

$$FC = S \times (p \times K)$$

FC = Sila zatvaranja u N

S = Površina otrpeska

p = Tlak injektiranja

$K = 1$ za nisko viskozne materijale (PP, PE, PS, PA6, PA66)

$K = 1,5$ za srednje viskozne materijale (ABS, POM, CAB, CA, SB)

$K = 2$ za vrlo viskozne materijale (PVC, PC, PMMA, PO)

Osim upravljanja **silom** zatvaranja kalupa, bitan parametar kojim se može upravljati je i **brzina** otvaranja/zatvaranja kalupa. Na idućim slikama je prikazana tablica koja prikazuju zadane parametre vezane za brzinu i put otvaranja/zatvaranja kalupa.

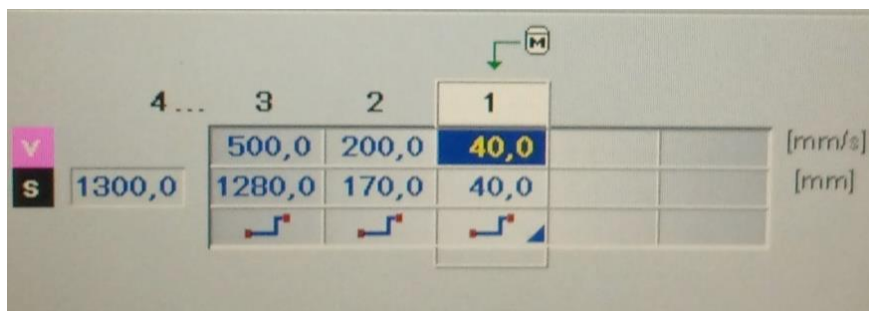
| | 1 | 2 | 3 | ... | 3 |
|-----------------|-------|-------|-------|-----|-------|
| F [kN] | 200,0 | 100,0 | 100,0 | | 16000 |
| V [mm/s] | 500,0 | 250,0 | 100,0 | | |
| S [mm] | 170,0 | 100,0 | | | |

Additional parameters shown: Total Force = 16000 kN, Total Stroke = 1300,0 mm.

Slika 34. Parametri za zatvaranje kalupa

Desno na slici prikazana je spomenuta sila zatvaranja od 16000 kN. Put [s] od 1300 mm označava koliko je kalup otvoren, znači kad je kalup zatvoren put [s] iznosi 0 mm. Maksimalan put [s] koji ovaj stroj može izvršiti je 1400 mm.


Prilikom zatvaranja (*Stupac 1*) kalup djeluje silom [F] 200 kN i brzinom [v] 500 mm/s od početnog puta [s] 1300 mm do puta [s] 170 mm. Zatim prelazi na (*Stupac 2*), gdje se kalupu smanjuje sila na 100 kN i brzina na 250 mm/s, te tim parametrima ide od ranije završenih 170 mm do 100 mm. Zadnji dio puta (*Stupac 3*) od 100 mm pa do kraja, odnosno 0 mm, kalup će se zatvarati isto silom od 100 kN ali brzinom od 100 mm/s.



Slika 35. Parametri otvaranja kalupa


Isto se događa i prilikom otvaranja kalupa, samo u ovom slučaju se kreće od puta 0 mm (zatvorenog kalupa) do krajnjeg zadanog puta kada je kalup potpuno otvoren koji iznosi 1300 mm. Broj stupaca i parametre otvaranja/zatvaranja kalupa može se korigirati i tijekom procesa injekcijskog prešanja.

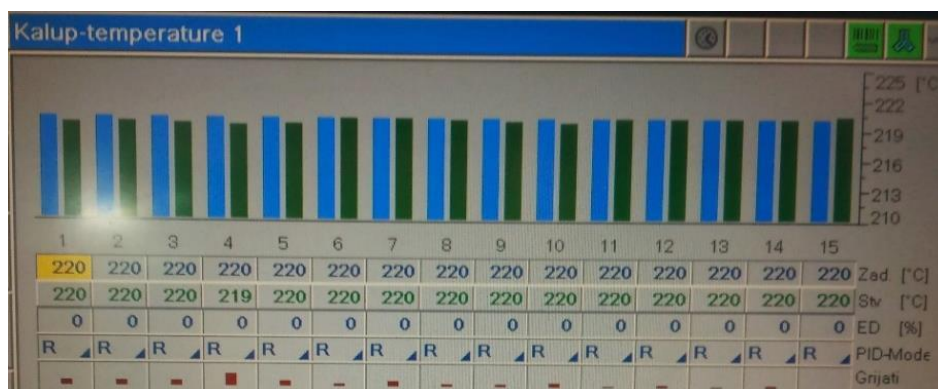
Vrlo važna stavka kod kalupa se odnosi na njegovu radnu temperaturu tijekom procesa. Temperature ovise o materijalu koji se koristi u procesu, a rasponi vrijednosti temperatura kalupa su 200-260°C. Kalup korišten u eksperimentalnom radu ima 15 zona i svaka je bila definirana na 220°C.

Prije početka potrebno je definirati do koje temperature je potrebno kalup zagrijati, a zatim se sve zone zagrijavaju do tražene temperature. Nakon toga započinje proces. Na iduće dvije slike (slika 36. i slika 37.) prikazane su temperature kalupa. Prva slika prikazuje optimiranje grijanja kalupa dok još nije dostigao tražene vrijednosti u svim zonama (još nije optimiran!), te za to postoji ikonica , „Optimiranje u tijeku“.



Slika 36. Temperature kalupa prilikom optimiranja

Na drugoj slici kalup je optimiran i spreman za proces , „Optimiranje zone završeno“. Vrijednosti temperatura koje još nisu optimirane su prikazane u crvenoj, dok one optimirane u zelenoj boji. Plavi brojevi označavaju zadane vrijednosti, koje su zadane.



Slika 37. Temperature kalupa nakon optimiranja

Nakon što je kalup jednom uspješno optimiran, nisu potrebna naknadna optimiranja u serijskoj proizvodnji.

6.3. Temperiralo Single

Za temperiranje kalupa korišteno je temperiralo tvrtke Single, a zadana temperatura bila je definirana na 50°C. Rukovanje temperiralom vrlo je jednostavno. Crna tipka se okrene sa 0 na 1 (prema gore) za paljenje, te iznad su tipke za podešavanje odgovarajuće temperature. Ispod je prikaz temperirala Single (slika 38.) i njegove karakteristike (Tablica 3.).



Slika 38. Temperiralo Single

| Karakteristike temperirala | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|----------------------------|-------------|-----------------|
| Snaga električne pumpe | 0,9 | kW |
| Medij za temperiranje | Voda | |
| Maksimalna temp. medija | 150 | °C |
| Protok | 60 | l/min |
| Raspon grijanja | 6-18 | kW |
| Snaga hlađenja | do 60 | kW |
| Spremnik vode (volumen) | 8 | l |
| Tlak | 400-500 | bar |

Tablica 3. Karakteristike temperirala Single

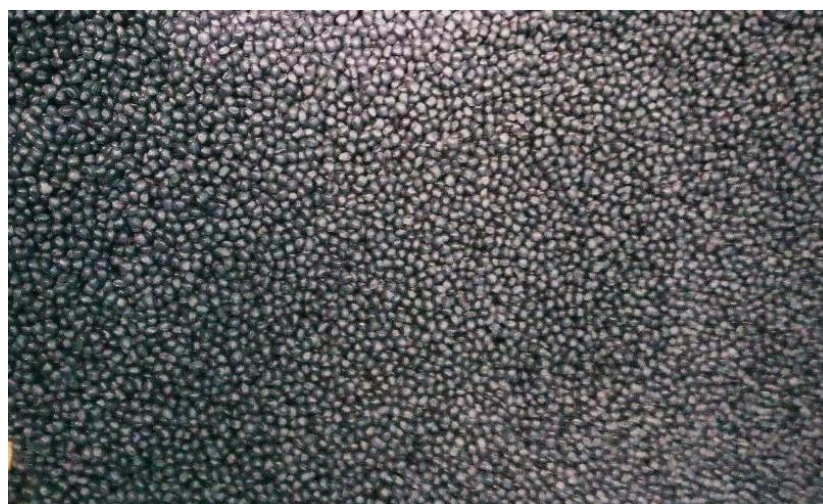
6.4. Materijal i pumpa za dovod materijala Colotronic

Navedeno je da je tokom provođenja procesa korišten materijal pod nazivom Hifax CB 1160 A Black. Navedeni materijal nije potrebno sušiti prije procesa injekcijskog prešanja, zato što se radi o eksterijernom proizvodu, tako da nepravilnosti na površini nisu vidljivi.

Tablica 4. prikazuje karakteristike materijala Hifax CB 1160 A Black, a slika ispod (slika 39.) prikazuje izgled granulata navedenog materijala.

Tablica 4. Karakteristike materijala Hifax CB 1160 A Black [15]

| Karakteristike materijala | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|---|------------|-------------------------|
| Indeks protoka taline | 14 | g/min |
| Temperatura obrade | 230 | °C |
| Opterećenje | 2.16 | kg |
| Granica tečenja | 18 | MPa |
| Modul elastičnosti | 1400 | MPa |
| Temperatura progiba pod opterećenjem od 1.80MPa | 50 | °C |
| Gustoća | 970 | kg/m³ |



Slika 39. Granulat materijala

Materijal se direktno iz oktabina čiji je kapacitet 1000 kg materijala dovodi prema stroju. Za dovodjenje materijala iz oktabina potrebno je crijevo koje je uvučeno u granulat i pumpa za

dovod materijala. Zadatak pumpe je da povuče granulat materijala iz oktabina i dovede ga prvo do dozatora materijala, koji postepeno taj materijal ispušta u cilindar. Slika ispod (slika 40.) prikazuje oktabin sa granulatom materijala, te crijevo koje je spojeno iz oktabina preko pumpe do dozatora materijala.



Slika 40. Oktabin sa granulatom materijala

Slika 41. prikazuje pumpu za dovod materijala, te na istoj slici iznad i kutiju za upravljanje na kojoj se pali/gasi rad pumpe. Rukovanje je vrlo jednostavno, crvena velika tipka stoji u vertikalnom položaju prema gore kada je pumpa ugašena, te ako se želi upaliti tipka se okrene prema desno. Okretanjem tipke prema desno materijal momentalno krene prema dozatoru materijala. Također se može korigirati snaga povlačenja materijala, ovisno o potrebi. Snaga pumpe sa slike je 2.2 kW. Tijekom izvođenja eksperimentalnog rada korištena je pumpa za dovod materijala i dozator materijala od tvrtke Colotronic.



Slika 41. Pumpa za dovod materijala Colotronic

6.5. Dozator materijala Colotronic

Pri dolasku materijala iz oktabina do dozatora materijala, potrebno je okrenuti tipku s 0 na 1, te tako pokrenuti dozator materijala. U ovom slučaju najbitnija uloga dozatora materijala je da regulira potrebu stroja za materijalom, te prema potrebi pušta njegov prolazak u cilindar. On se nalazi na samom cilindru, kako je prikazano na slici ispod. Također kao što je već spomenuto u ovom radu osim reguliranja prolaska materijala, dozatori materijala mogu se još koristiti ukoliko je potrebno pripremiti mješavinu osnovnog materijala sa samljevenim ili aditivima (npr. masterbatcha) u točno zadanom postotku. U ovom slučaju to nije bilo potrebno. Na slici (slika 42.) se vidi manji dozator materijala, kojemu je primarna uloga da se koristi ako se osnovni materijal miješa sa nekom bojom. Njegova uloga nije bila potrebna tokom provođenju eksperimentalnog rada. Općenito dozatori materijala omogućuju veću efikasnost procesa, te veće uštede u potrošnji materijala. Dozator materijala koji je korišten tokom provođenja procesa ima vrlo veliki opseg doziranja od 30 g/h do 140 kg/h, te maksimalnu preciznost i kontrolu doziranja sa točnošću od $\pm 0,5\%$.



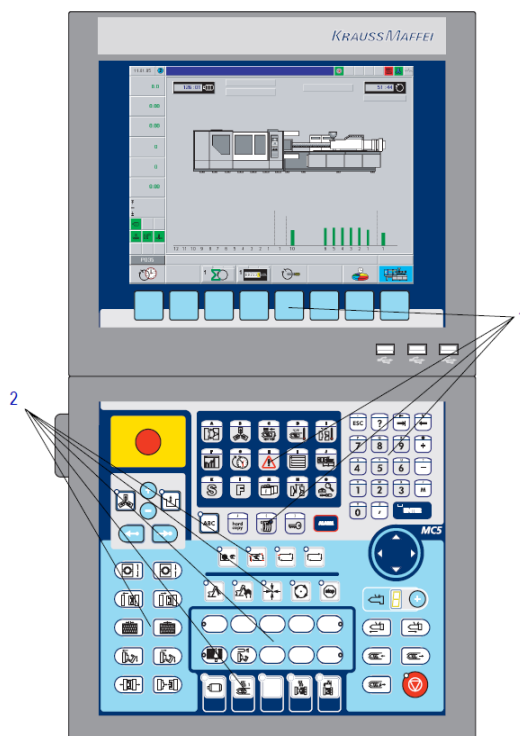
Slika 42. Dozator materijala Colotronic

6.6. Uvod u proces injekcijskog prešanja

Nakon što je doveden granulat materijala u cilindar, sve je spremno za početak provođenja procesa injekcijskog prešanja. Na zaslonu stroja učita se program proizvoda koji se planira provesti kroz proces. Kalup (alat) koji se već nalazi na stroju je zatvoren, što omogućuje da se odradi justiranje cilindra, odnosno da se cilindar spoji sa nepokretnom stranom kalupa. Nakon obavljenog justiranja cilindra s kalupom, provjeravaju se temperature na temperiralima, kako bi bilo sigurno da je sve spojeno kako proces zahtijeva. Crijeva s toplom ili hladnom vodom trebaju biti dobro prispojena na pokretnu i nepokretnu stranu kalupa. Nepravilno spojena crijeva ili netočne temperature na temperiralima koje reguliraju temperaturu vode koja protječe kroz ta crijeva može uvelike negativno utjecati na proces injekcijskog prešanja.

Prije samog kretanja ubrizgavanja polimera, kalup se otvara i prema potrebi nanosi se silikon, koji osigurava da se neće polimer prilikom ubrizgavanja zalijepiti za kalup. Ukoliko dođe do zalijepljivanja polimera za kalup, najučinkovitija metoda uklanjanja polimera je otapanje s

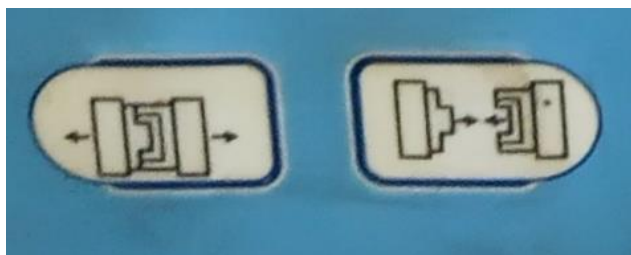
plinskim plamenikom, te tako ukloniti sa kalupa. Na slici 43. prikazan je zaslon Krauss Maffei stroja, koji je glavno pomagalo za korigiranje i upravljanje proizvodnim parametrima.



Slika 43. Prikaz Krauss Maffei zaslona [4]

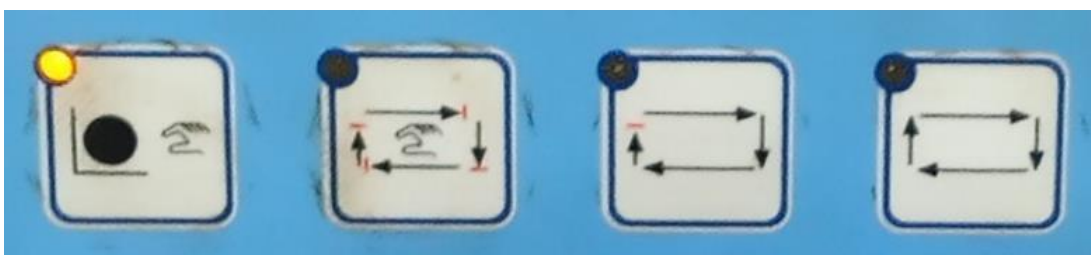
Broj 1 na slici označava tipke za posluživanje zaslona, a broj 2 tipke za posluživanje stroja.

Nakon odrađenih uvodnih operacija, sve je potpuno spremno za proces ubrizgavanja. Na zaslonu se pritisne tipka za ubrizgavanje i zatvaranje kalupa. Zatim se čeka zatvaranje kalupa i start procesa ubrizgavanja. Program procesa je ranije optimiran, te će biti pojašnjeno kako je dobiven proizvod od početne faze ubrizgavanja do završne kada je proizvod potpuno ispunjen i zadovoljava svim traženim kriterijima. Na slikama ispod su prikazane opcije sa zaslona koje su najučestalije i najbitnije za razumijevanje procesa. Prva slika (slika 44.) prikazuje upravljanje otvaranjem i zatvaranjem kalupa. Lijeva tipka na slici označava otvaranje kalupa, dok desna zatvaranje kalupa.



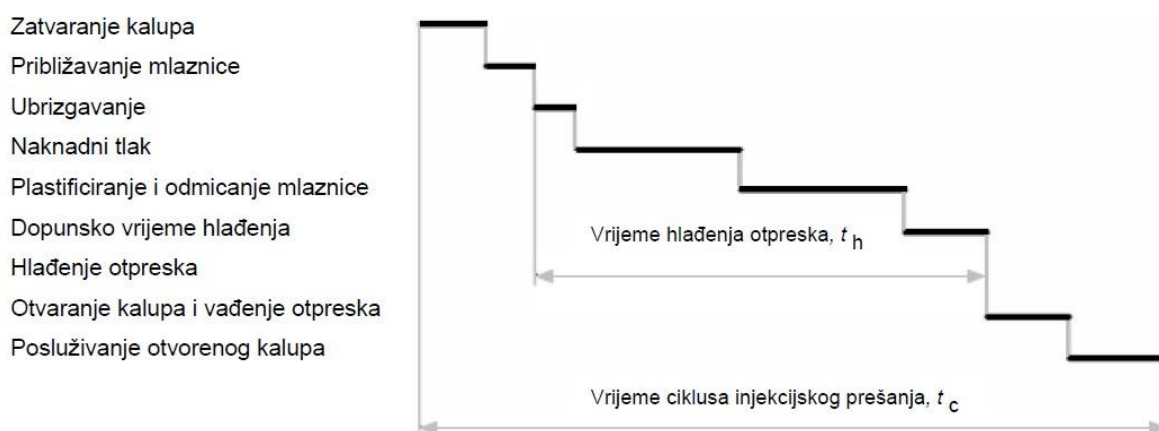
Slika 44. Tipke za upravljanjem otvaranja i zatvaranja kalupa

Druga slika (slika 45.) prikazuje način upravljanja strojem. Prva tipka na slici označava manualni rad, a kretanje stroja je aktivno samo dok se pritišće navedena tipka. Druga označava poluautomatski rad, te traje sve dok se ne izvrši jedna zadana operacija. Pomoću tipke za poluautomatski rad može se obaviti slijedeće posluživanje stroja: a) Kalup zatvoriti/otvoriti, b) Cilindar za injektiranje naprijed/nazad, c) Plastificiranje i d) Izbacivači naprijed/nazad. Te dvije tipke se ne odnose na brizganje, već samo na upravljanje kalupom ili cilindrom. Za poluautomatsko brizganje koristi se treća tipka po redu. Poluautomatsko brizganje znači da će stroj odraditi samo jedan ciklus. Svaki daljni ciklus rada mora se pokretati ponovnim pritiskanjem tipke „Kalup zatvoriti“. Za potpuno automatsko brizganje i ponavljanje ciklusa koristi se zadnja tipka.



Slika 45. Tipke za upravljanjem rada stroja

Za izradu jednog otpreska potrebno je određeno vrijeme, koje ovisi o brojnim faktorima, a naziva se ciklus injekcijskog prešanja. Najviše vremena u ciklusu potrebno je za hlađenje otpreska u kalupu. Na idućoj slici su prikazana okvirna trajanja svake od faza koje su dio procesa injekcijskog prešanja. [3]



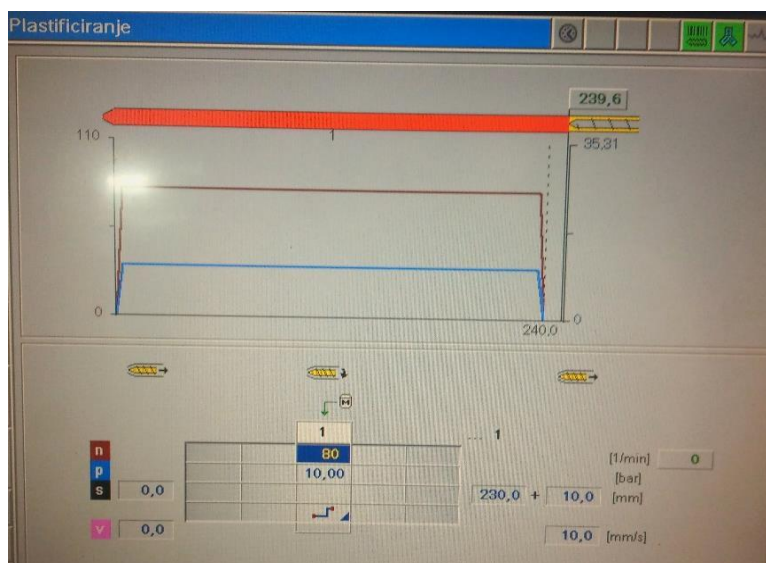
Slika 46. Faze injekcijskog prešanja [3]

Za uspješno punjenje kalupne šupljine i stlačivanje taljevine potrebni su visoki tlakovi ubrizgavanja (od 500 do 3000 bar). Brzine ubrizgavanja za plastomere su oko 2 m/s.

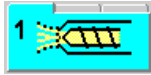
Nakon završetka punjenja kalupne šupljine i stlačivanja taljevine dolazi do preklapanja na naknadni tlak u cilindru za ubrizgavanje. Naknadni tlak je poprilično niži od tlaka brizganja, zato što više ne postoje visoki otpori od tečenja taljevine. Svrha naknadnog tlaka je da dodatnim punjenjem kalupne šupljine popuni mogući nedostatak taljevine koji može nastati prilikom hlađenja i skupljanjem iste. Naknadni tlak djeluje sve dok ne očvrstne spojno mjesto između kalupne šupljine i uljavnog sustava tijekom hlađenja, tako nije više moguć protok taljevine. U vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja računa se i vrijeme spuštanja robota po proizvod nakon otvaranja kalupa, te njegovo dostavljanje do proizvodne trake.

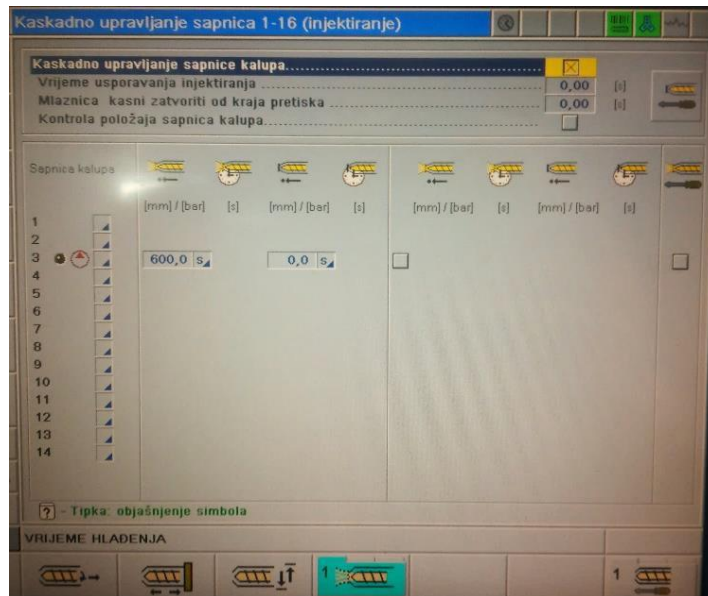
6.7. Proces postepenog ubrizgavanja i dobivanja gotovog proizvoda

Kao što je spomenuto kalup se sastoji od 5 sapnica. Proizvod je simetričnog oblika, te je zbog toga najjednostavnije krenuti ubrizgavati od sredine proizvoda pa prema van, te ubrizgavanje kreće od sapnice broj 3 koja se nalazi u sredini proizvoda. Na idućoj slici (slika 47.) bitan podatak je put od 230 mm + 10 mm koji ukazuje kolika je doza materijala potrebna za jedan puni ubrizgaj (izražena je kroz put u milimetrima). Također je prikazan broj okretaja puža za plastificiranje **n** izražen u litrama po minuti, te tlak plastificiranja **p** izražen u barima. Ta dva parametra su promjenjiva te ih se lako može korigirati tokom procesa, ovisno o potrebi.

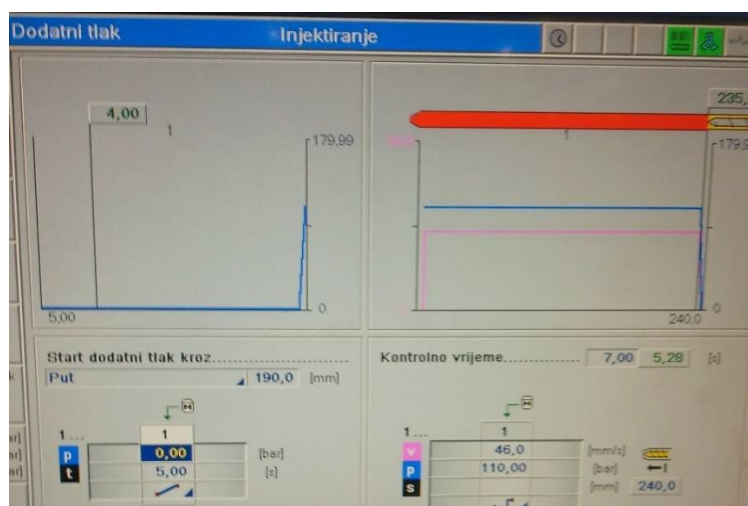


Slika 47. Parametri plastificiranja

Na zaslonu se otvara kaskadno upravljanje sapnicama , te pali sapnica pod brojem 3 na punu vrijednost, odnosno sve iznad 240 mm (spomenutih 230 mm + 10 mm), što znači da će se kroz tu sapnicu ubrizgavati polimer cijelo vrijeme. Simbolično je stavljeno da ta vrijednost iznosi 600 mm, a mogla se staviti bilo koja vrijednost iznad 240 mm. Nakon zatvaranja kalupa započinje proces ubrizgavanja sa parametrima injektiranja prikazanim na iduće dvije slike. (slika 48. i slika 49.)



Slika 48. Kaskadno upravljanje sapnicom 3



Slika 49. Parametri injektiranja 1

Budući da se krenulo ubrizgavati samo s jednom sapnicom, put je povećan na visokih 190 mm, a prilikom priključivanja ostalih sapnica, taj se put [s] postepeno smanjuje. Kako je doza materijala 240 mm, a put 190 mm, znači da se iskorištava samo 50 mm doze materijala (u

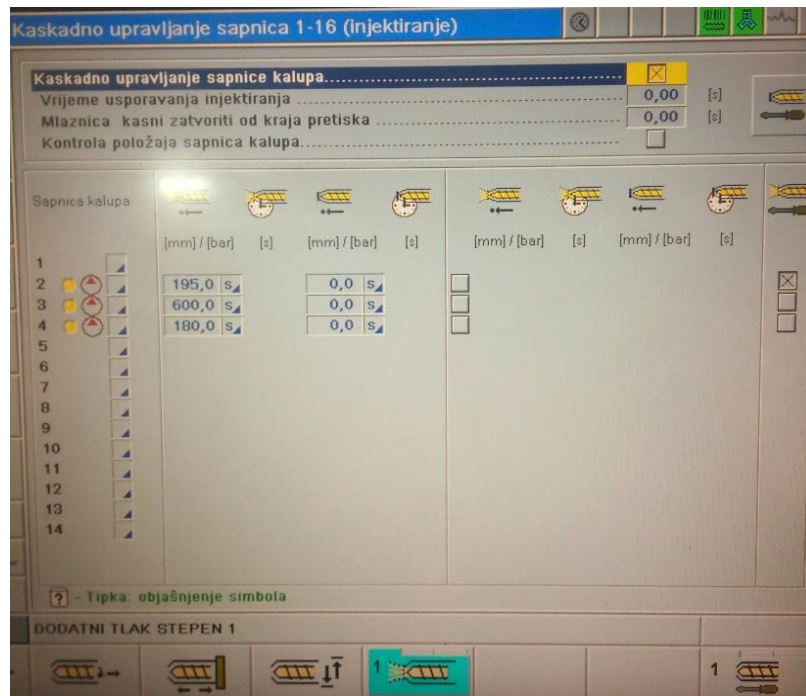
postotku cca 20 % od pune doze). Sa smanjivanjem puta [s] ta razlika od 50 mm se povećava, te samim time koristi se veća količinu materijala za ubrizgavanje.

Ubrizgavanje je provedeno poluautomatskim načinom brizganja, tako da je vađenje komada s kalupa rađeno ručno. Potpuno automatski način brizganja se koristi tek prilikom dobitka potpuno gotovog proizvoda. Odrađen je prvi ubrizgaj i dobiven slijedeći dio. Na slici (slika 50.) se nalazi središnji dio proizvoda s obje strane.

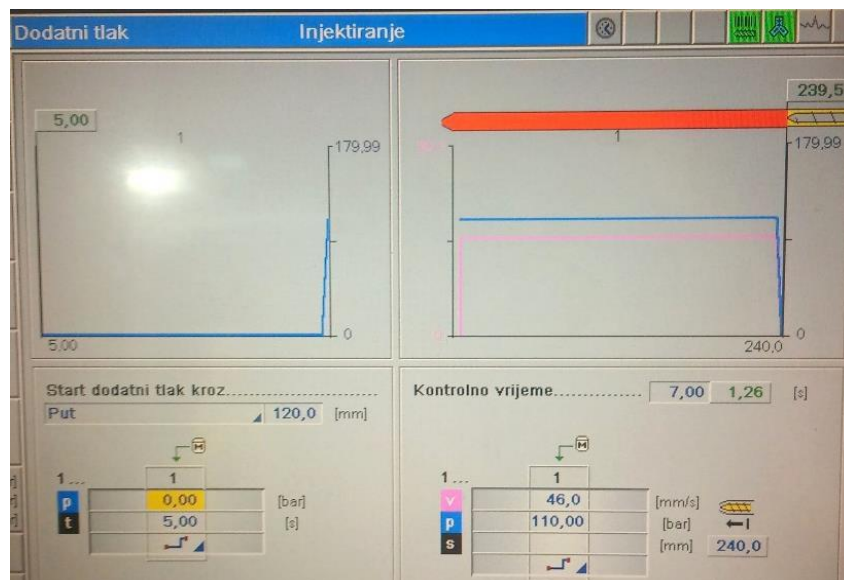


Slika 50. Dio proizvoda dobiven ubrizgavanjem sa sapnicom broj 3

Na izbrizganom komadu se vidi da se popunjava od iznutra prema van, tako što rubove komada oblikuje ohlađena neformirana plastika. Kreće se sa daljnjim popunjavanjem komada. Komad je simetričnog oblika, tako da uz sapnicu 3 se istovremeno uključuju i one pod brojem 2 i 4. Sapnica pod brojem 2 na kalupu se nalazi iznad sapnice 3, a pod brojem 4 ispod (slika 32.). Tako da sapnici pod brojem 2 se dodaje više materijala od one pod brojem 4, zbog djelovanja gravitacije. Dodavanje više materijala znači da će put biti veći, odnosno razlika do zadane doze materijala (240 mm) je manja. Pored kaskadnog upravljanja sapnicama, smanjuje se i put injektiranja, odnosno i tu se ubrizgava veća količina materijala. Na idućim slikama (slika 51. i slika 52.) se nalaze dopunjeni parametri s tri uključene sapnice i sniženim putom injektiranja. Prilikom uključivanja sapnica pod brojem 2 i 4, samo je njima upravljano, a sapnica pod brojem 3 je i dalje ostala nepromjenjena, odnosno otvorena do kraja.

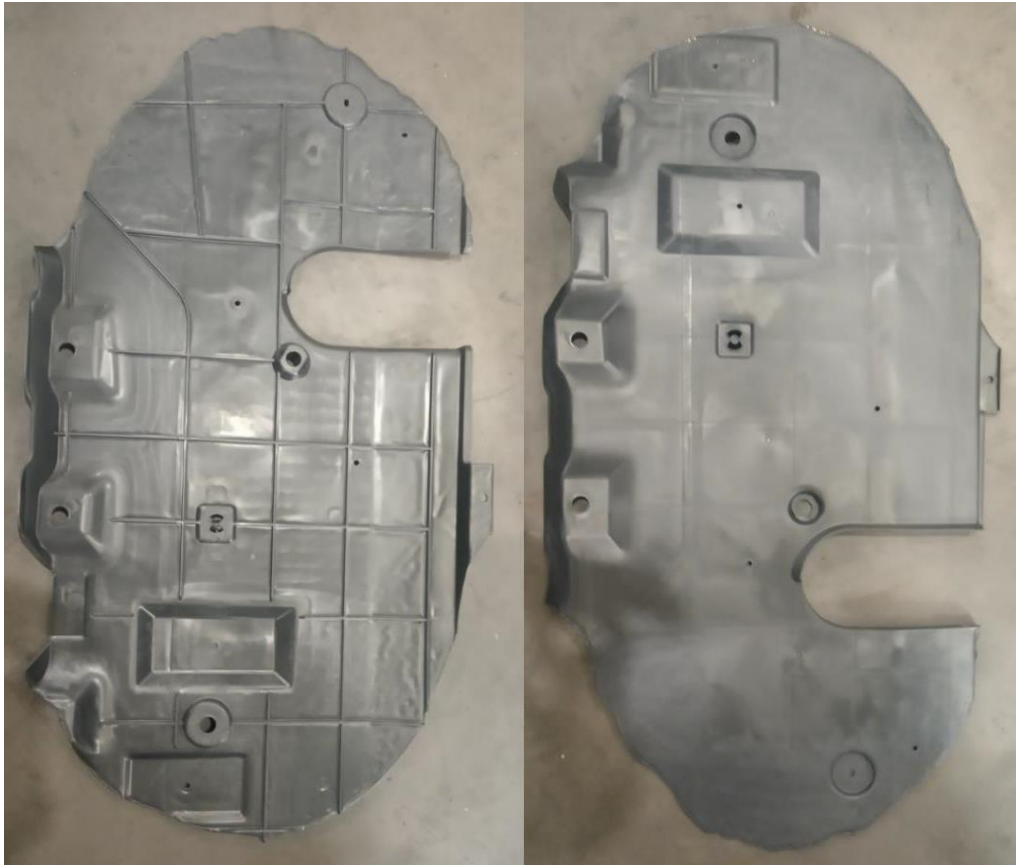


Slika 51. Kaskadno upravljanje sapnicama 2 i 4



Slika 52. Parametri injektiranja 2

Na slici 53. nalazi se dio proizvoda dobiven nakon injektiranja s tri upaljenje sapnice. Proizvod je prikazan sa obje strane, te je sa slike vidljivo kako je komad dodatno obujmom povećan u svim smjerovima, zato jer je u proces unesena veća količina materijala.



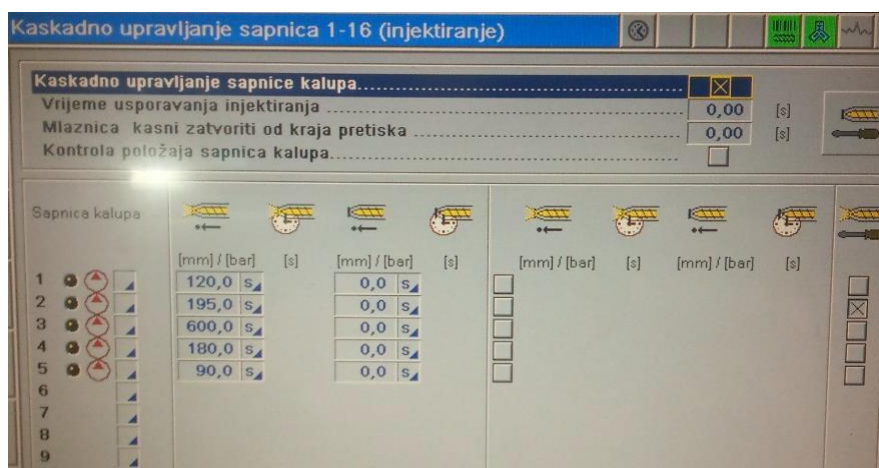
Slika 53. Dio proizvoda dobiven ubrizgavanjem sa sapnicama 2,3 i 4

U prva dva ubrizgavanja nije korišten naknadni tlak. Naknadni tlak se koristi za konačno dopunjavanje proizvoda, odnosno kad se ubrizgava cijeli proizvod. Naknadni tlak djeluje zadnjih nekoliko sekundi ubrizgavanja, te njegova vrijednost najčešće iznosi od 30 do 50 bara. U zadnjem ubrizgavanju pri uključivanju svih sapnice za injektiranje, koristi se i naknadni tlak koji u ovom primjeru djeluje 5 sekundi na 40 bara. Naknadni tlak djeluje cijelo vrijeme (5 sekundi) kroz svih pet sapnica.

Put [s] injektiranja smanjen je na 32 mm, zato što se sada ubrizgava puni komad, te su uključene sapnice pod brojem 1 i 5. Ista situacija kao i sa sapnicama 2 i 4, zbog djelovanja gravitacije, sapnicu koja se nalazi u gornjem položaju (u ovom slučaju sapnica pod brojem 1) se prije otvara, odnosno potrebna je veća količina materijala da u potpunosti ispuni proizvod. Put [s] je optimiran na 32 mm, te u slučaju da je on 30 mm, mogli bi se pojaviti problemi sa prelijevanjem, jer se više materijala ubrizgava. Isto tako da je put na 34 mm mogli bi se pojaviti problemi sa neispunjavanjem, jer u ovom slučaju se ne dobiva dovoljna količina materijala. Ostalo je 32 mm materijala od pune doze, on se djelomično troši prilikom djelovanja naknadnog tlaka, a ostatak je izražen kroz jastuk mase. Jastuk mase je količina materijala koja

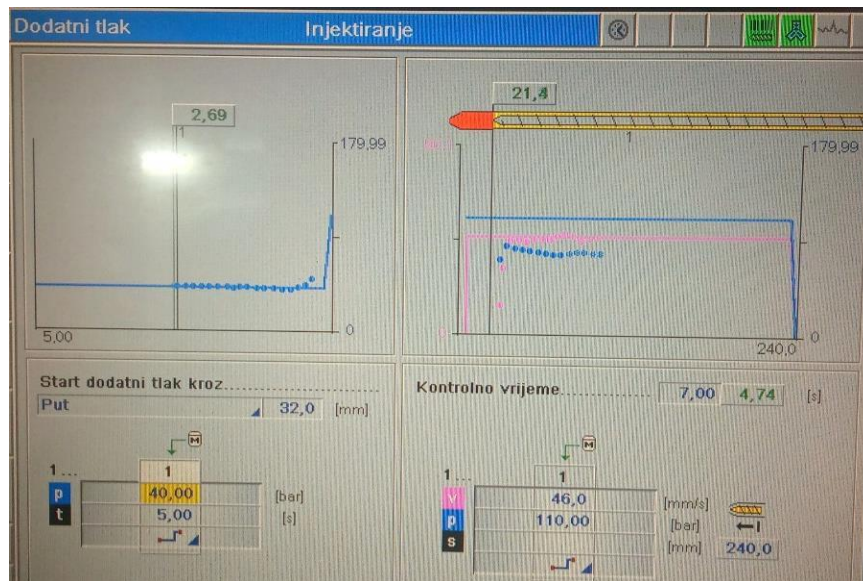
ostaje u cilindru nakon izvršene faze injekcijskog prešanja i faze naknadnog tlaka, te iznosi približno 5% od ukupne doze materijala. Također slično se događa i prilikom optimiranja kaskadnog upravljanja sapnicama, samo tu je naglasak na optimiranju svake sapnice zasebno na kalupu, dok put [s] kod injektiranja se odnosi na čitavu dozu materijala koja se iz cilindra ubrizgava prema kalupu. Ukoliko metoda podizanja ili spuštanja puta injektiranja nije otklonila postojeći problem (jedan kraj proizvoda preliven, a drugi kraj neispunjen), primjenjuje se naknadno rješavanje postojećeg problema kaskadnim upravljanjem sapnica.

Optimiranje parametara je dug i kompleksan proces. Da bi se točno odredili gore navedeni parametri, potrebno je približno odrediti dozu materijala s obzirom na masu traženog proizvoda, te pogađati s otvaranjem sapnica i postepenim smanjivanjem puta injektiraja. Nakon nekog vremena postižu se parametri koji odgovaraju za provođenje procesa, te samim time ih se sprema u memoriju stroja. Osim gore navedenih parametara, bitno je već spomenuto otvaranje/zatvaranje kalupa, te pravilno vremensko određivanje faza injekcijskog prešanja (vrijeme hlađenja, naknadni tlak, plastificiranje). Na idućim slikama nalaze se konačni parametri traženog proizvoda, koji se odnose na injektiranje i kaskadno upravljanje sapnicama. Ispod slika parametara (slika 54. i slika 55.) je slika gotovog ispunjenog proizvoda (slika 56.) koji je vizualno dobar, ali slijedi daljna procedura provjere sjaja, mase i dimenzija. Nakon odrađenih svih provjera, ako proizvod odgovara u svim traženim ispitivanjima, može se pristupiti serijskoj proizvodnji.

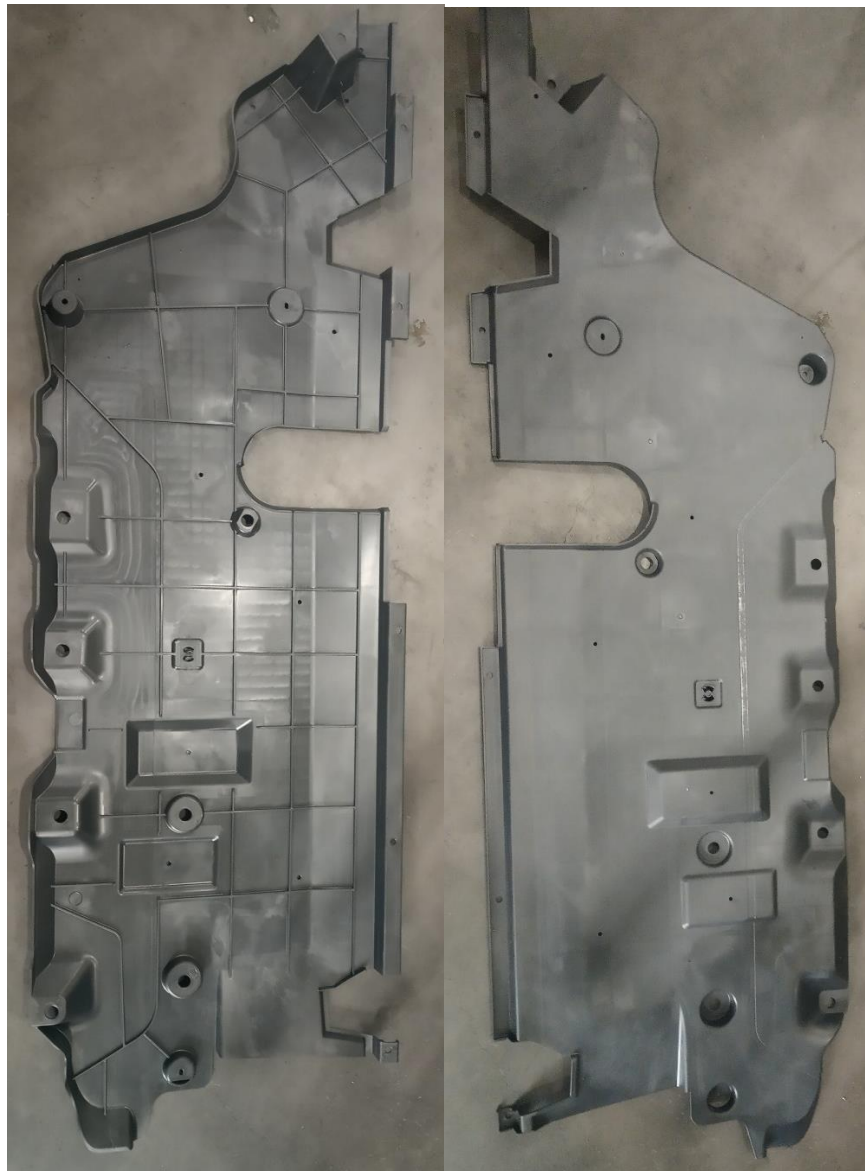


Slika 54. Kaskadno upravljanje sapnicama 1 i 5

Na ovom kaskadnom upravljanju sapnicama, upravljano je samo sapnicama pod brojem 1 i 5, a ostale 3 su već u prijašnjem provođenju procesa optimirane, tako da su ovdje ostale onakve kakve jesu, bez promjena.



Slika 55. Parametri injektiranja 3



Slika 56. Gotov proizvod

6.8. Kontrola gotovog proizvoda

Nakon dobivanja gotovog proizvoda, slijedi provjera dimenzija, mase i sjaja proizvoda. Uzima se gotov proizvod i mjeri masa na digitalnoj vagi. Mase proizvoda su propisane, te postoji tolerancija od 5%. Masa proizvoda je 2215 grama, a propirane tolerance su od 2200 do 2250 grama. Vagani proizvod se nalazi u tolerantnom polju, te po tom kriteriju zadovoljava. Zatim je mjeren sjaj proizvoda s uređajem koji se najčešće naziva „Glossmeter“ (mjerac sjaja), te tokom mjerenja nije bilo nikakvih odstupanja. Zadnje i najbitnije je mjerenje dimenzija proizvoda, te udaljenosti raznih točaka na proizvodu, koje moraju biti unutar tolerancija. Navedene mjere moraju biti strogo ispoštovane, tako da prilikom montiranja dijelova ne dođe do nepoklapanja dva ili više proizvoda. Za mjerenje dimenzija koristi se pomična mjerka („šubler“). Sve dimenzije su unutar traženih mjera, te samim time proizvod je prošao kontrolu kvalitete i spreman je za daljnju proizvodnju.



Slika 57. Oprema za kontrolu kvalitete proizvoda [20]

6.9. Pakiranje i skladištenje gotovog proizvoda

Dobiven je gotov proizvod koji zadovoljava po svim kriterijima, te se samim time može početi proizvoditi na automatskom ciklusu. To znači da prilikom automatskog procesa po svaki izbrizgani proizvod dolazi robot, koji ga dostavlja na transportnu traku. Radnik dodatno vizualno pregledava moguće greške na proizvodu (neispunjavanje, prelijevanje materijala, razne nesukladnosti na proizvodu, mehanička oštećenja od robota ili izbacivača na kalupu), te ukoliko nema nikakvih problema, slaže se u velike transportne kutije. Neadekvatni komadi se odvajaju u škart. Kasnije ti škartni komadi idu u mlin, te se mogu ponovno upotrijebiti kao regenerat. Ovaj proizvod ne iziskuje nikakve dodatne montaže kopči, spužvica ili nekakvih dodatnih dijelova. To uvelike olakšava posao radniku na traci, čiji je zadatak samo vizualna kontrola i pakiranje proizvoda u kutije. Nakon napunjenog odgovarajućeg broja komada u

kutiju, na vrh kutije treba postaviti kartonski poklopac. Zatim kutiju treba limovati s dvije trake, kako bi bila zaštićena tokom transporta. Zadnja operacija radnika je obilježavanje kutije s proizvodnom etiketom, koja označava da je kutija u potpunosti napravljena. Ta etiketa daje do znanja viličaristima da mogu odvesti napravljene kutije u skladište, na unaprijed pripremljeno mjesto. Cilj je da gotova roba što kraće odleži u skladištu, da se što je moguće prije pripremi za isporuku i transport na određenu lokaciju.

Slika 58. prikazuje način pakiranja gotovog proizvoda (donja zaštita motora kod automobila). U ovom slučaju se slaže 15 proizvoda po transportnoj kutiji. Dimenzije kutija su 1700 x 1200 x 600 [mm].



Slika 58. Pakiranje gotovog proizvoda

7. ZAKLJUČAK

Proizvodnja plastike u svijetu naglo je porasla u zadnjih 60-ak godina. Gotovo da je nezamisliv normalan život bez proizvoda izrađenih od plastike. Prema podacima *PlasticsEurope* u Europi od cjelokupne proizvodnje plastike najviše se troši na ambalažu, čak 39,3%. Zatim slijedi građevinarstvo sa 20,3%, automobilska industrija 8%, te elektro i elektronska industrija 5,6%. Ostalih 26,6% plastike potroši se za sve ostale namjene. Najučestaliji materijali su polietilen (PE) i polipropilen (PP). Kako je proizvodnja plastike enormno raširena, tako je i nažalost raširena zagađenost okoliša njome. Velika većina proizvedene plastike se koristi samo jednokratno. Svake godine do oceana dođe oko 13 tona plastičnog materijala koji ugrožava život u moru. Potrebno je i nekoliko stotina godina prije nego što se plastika raspadne u oceanu.

Rezultati ispitivanja su pokazali da najčešći korišteni postupci preradbe polimernih materijala su injekcijsko prešanje i ekstrudiranje. U ovom radu naglasak je bio na obradi polimera postupkom injekcijskog prešanja. Taj postupak također se pretežno koristi za proizvodnju ambalaže i za potrebe automobilske industrije. Svaki dobiveni obradak ima svoju svrhu, te pravilnim korištenjem i odlaganjem znatno se može pomoći protiv zagađenja okoliša. [16]

Vežano na eksperimentalni rad, u radu je prikazan način rada i funkcioniranja sve potrebne opreme za provođenje procesa injekcijskog prešanja. Naglasak je bio na injektiranju i kaskadnom upravljanju sapnicama, koji su najvažniji parametri za samo ubrizgavanje polimera. Spomenuti su i ostali važni parametri (vrijeme hlađenja, plastificiranje, temperature kalupa, temperature cilindra...) koji također utječu na proizvodni proces. Postupak optimiranja parametara je kompleksan proces koji iziskuje puno vremena i znanja inženjera zaduženog za uspostavljanje tog procesa. Prilikom optimiranja potrebno je obratiti pozornost na mehaničke, reološke i toplinske karakteristike kalupa. Nakon prvotno uspostavljenih parametara, proces je moguće naknadno korigirati, ukoliko to bude potrebno. Proces injekcijskog prešanja karakterizira visoka produktivnost i ponovljivost, pa samim time je pogodan za automatizaciju. Iz tog razloga postupak injekcijskog prešanja je najrašireniji postupak u automobilskoj industriji.

8. LITERATURA

- [1] T.Tomić.: Predavanja iz kolegija „Prerada polimera“, Veleučilište u Karlovcu, proizvodno strojarstvo, 2018., str.1, te 15-21
- [2] A.Rogić, I.Čatić, D.Godec: Polimeri i polimerne tvorevine, Zagreb, 2008
- [3] D.Siminiati, L.Pomenić, F.Oršić: Određivanje osnovnih parametara za injekcijsko prešanje plastike
- [4] Krauss Maffei.: Tehnička dokumentacija stroj za injekcijsko prešanje, Konstrukcijska serija MX_MC5, Jedinica za zatvaranje, str.45-49
- [5].....<https://www.nomis.hr/Oprema/Moretto>: Temperirala, sušare, spremnici i silosi materijala, dozatori materijala, mikseri, mlinovi, pristupljeno travanj 2019.
- [6] Ruggerio Testori.: Injekcijsko prešanje, problemi u radu i njihovo rješavanje, Zagreb, 2016., str. 14-18 (PPT)
- [7].....<https://www.nomis.hr/Pomocna-sredstva>: Sredstva za čišćenje, odvajanje, podmazivanje, zaštitu, pristupljeno travanj 2019.
- [8] Ivanišević.M.: Trendovi razvoja industrije polimera u Republici Hrvatskoj, Diplomski rad, 2011., FSB, Plastomeri str.4-8
- [9].....<https://www.plastikainfo.com/tehnologija/materijali-abs-akrilonitril-butadien-stiren-acrylonitrile-butadiene-styrene>, pristupljeno travanj 2019.
- [10] Ivanišević.M.: Trendovi razvoja industrije polimera u Republici Hrvatskoj, Diplomski rad, 2011., FSB, Postupci preoblikovanja str.42-44
- [11] Govorčin Bajsić Emi.: Prerada polimera, interna skripta, FKIT, Zagreb, 2017., (str. 4-9 Dodaci aditivima (aditivi), te str. 31-38 Prešanje i str. 53-55 Puhanje i Lijevanje)
- [12].....<https://www.emerson.com/en-us/catalog/branson-m936l-vibration-welder>, pristupljeno travanj 2019
- [13].....<https://en.wikipedia.org/wiki/Poka-yoke>, pristupljeno travanj 2019
- [14].....<https://hr.wikipedia.org/wiki/Pakiranje>, pristupljeno travanj 2019.
- [15].....<https://www.materialdatacenter.com/mb/material/pdf/19099/19099/HifaxCB1160ABLACK>, pristupljeno svibanj 2019.
- [16].....<http://zg-magazin.com.hr/od-1950-proizvodnja-plastike-u-svijetu-porasla-207-puta/>, pristupljeno svibanj 2019
- [17]..... <http://www.plastika-haluzan.hr/ekstruzija/>, pristupljeno travanj 2019
- [18].....<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=kalandriranje>, pristupljeno travanj 2019
- [19].....<http://www.sepro-group.com/products/s7-line>, pristupljeno travanj 2019
- [20].....<https://conrad.ba/category/pomicna-mjerila>, pristupljeno svibanj 2019

[21] Bolfek.Ž.:Izrada kalupa za lampione koristeći CNC tehnologiju, Završni rad, 2016., Varaždin, Procesi puhanja šupljih tijela str.9-11

[22].....<https://aawfrance.org/namjestaj-i-predmeti-interijera/proizvodi-od-polimernih-materijala/>, pristupljeno svibanj 2019.

[23] Vlašić.N.:Optimiranje parametara injekcijskog prešanja za akrilonitril/butadien/stiren, Diplomski rad, 2009., FSB, Sraščivanje u kalupu str.6, te str. 18-21 Plastomeri

[24].....<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=49145>, pristupljeno travanj 2019