

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Производно машинство
Предмет: Савремени обрадни системи
Број индекса: 365/2016**

Радисав Д. Величковић

**Екструдирање и анализа утицаја параметара
термообликовања на квалитет цеви од полипропилена**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Радисав Величковић**

Број индекса: **365/2016**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Екструдирање и анализа утицаја параметара термообликовања на квалитет цеви од полипропилена**

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о технологијама израде цеви од полипропилена у предузећу „Пештан“, Аранђеловац. Потребно је описати процес екструдирања са посебним акцентом на екструдирање цеви. Приказати особине, техничке карактеристике и технологије прераде полипропилена. У другом делу рада приказати технологије термообликовања краја цеви (муфовање) и извршити анализу утицаја параметара термообликовања на коначни квалитет производа.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основи процеса екструдирања цеви,
3. Особине и технологије прераде полипропилена,
4. Термообликовање краја цеви и квалитет добијеног производа
5. Закључци,
6. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 16.05.2019.

РЕЗИМЕ

У оквиру мастер рада дат је кратак опис, историјски развој и производни програм компаније „Пештан“, Аранђеловац. Описан је процес екструдирања са посебним акцентом на екструдирање цеви, приказане су особине, техничке карактеристике и технологије прераде полипропилена. У другом делу рада извршено је прикупљање и систематизација података о технологијама израде цеви од полипропилена у предузећу Пештан, Аранђеловац. Приказана је технологије термообликовања краја цеви (муфовање) и извршена анализа утицаја параметара термообликовања на коначни квалитет производа. На крају рада дати су закључци.

Кључне речи:

Екструдирање, полипропилен, цеви, термообликовање, муфовање.

Summary:

Within this master's thesis, there is a brief description of historical development and production program of „Peštan“ company. The extrusion process is described with a special emphasis on tube extrusion, also is shown a technical characteristics and processing technologies of polypropylene. In the second part of the thesis, the collection and systematization of data on polypropylene pipe production technologies in Peštan, Arandjelovac, and the end-product quality thermoforming parameters were performed. At the end of the thesis, conclusions were drawn.

Key words:

Extrusion, polypropylene, pipes, thermoforming, socketing.

САДРЖАЈ

1.	УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1	О компанији „РЕЏТАН“	2
1.2	Историјат	2
2.	ОСНОВИ ПРОЦЕСА ЕКСТРУДИРАЊА ЦЕВИ.....	4
2.1	Принцип екструдирања	5
2.1.1	Принудни ток	5
2.1.2	Производност	7
2.2	Линија за екструдирање цеви	8
2.3	Екструдер.....	10
2.3.1	Погонски делови екструдера.....	11
2.3.2	Левак за довод материјала.....	12
2.3.3	Цилиндар екструдера.....	14
2.3.4	Пуж екструдера	15
2.3.5	Уређаји за грејање и хлађење.....	19
2.3.6	Сита и цедило	22
2.4	Алати за обликовање профила цеви.....	24
2.5	Уређаји за калибрисање и хлађење	26
2.5.1	Спољашње калибрисање	27
2.6	Уређај за извлачење профила	28
2.7	Гравиметријски уређај.....	29
2.8	Уређај за означавање цеви (штампач).....	29
2.9	Уређај за намотавање цеви.....	29
2.10	Уређај за отсецање	30
2.11	Погонска јединица	30
3.	ПОДЕЛА ЕКСТРУДЕРА.....	31
3.1	Подела екструдера према конструкцији цилиндра за топлеење	31
3.2	Подела екструдера према стању доведеног полимера	34
3.3	Подела екструдера према начину загревања полимера.....	35
4.	ОСОБИНЕ И ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРЕРАДЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА.....	36
4.1	Добијање полипропилена.....	36
4.2	Технолошка својства хомополимера и кополимера	38
4.2.1	Технолошка својства полипропилена хомополимера	39
4.3	Структура полипропилена	40
4.4	Конфигурација и конформација ланаца.....	41
4.5	Кристална структура полипропилена	42
4.6	Својства полипропилена	43
4.7	Механичка својства	43
4.8	Реолошка својства.....	44

4.9 Топлотна својства	45
4.10 Хемијска и биолошка постојаност полипропилена	47
4.11 Технологије прераде полипропилена.....	48
4.11.1 Екструзија цеви	49
4.12 Мане које могу настати на цеви приликом екструзије и начин отклањања (Табела 1). 52	
5. ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ КРАЈА ЦЕВИ (МУФОВАЊЕ) И КВАЛИТЕТ ДОБИЈЕНОГ ПРОИЗВОДА	53
5.1 Основни делови и принцип рада муферице	53
5.2 Процес муфовања.....	57
5.3 Стандард EN1451	59
5.4 Неки од дефеката који се јављају приликом муфовања:.....	61
5.5 Утицај диманзија алата на муф.....	65
5.6 Анализа праћења параметара на линији РРК1 – SICA муферица.....	69
6. ЗАКЉУЧЦИ	72
7. ЛИТЕРАТУРА.....	73

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Најраспрострањенији поступак прераде полимера јесте поступак екструдирања. Екструдирање се у основи састоји од обликовања материјала континуалним поступком истискивања течног полимера, добијеног топљењем или омекшавањем, кроз главу екструдера односно алат. Истиснути полимер затим очвршћава у жељени облик хлађењем. Екструдирањем се добијају различите врсте производа као што су: профили различитих облика, траке, фолије, цеви и многи други, од различитих материјала. Тема овог рада јесте екстудирање цеви од полипропилена. Истраживачки део рада одрадђен је у компанији „Peštan d.o.o.“, на програму НТ (PP) цеви, у којој се процесом екстудирања производе цеви од полипропилена, полиетилена и PVC-а.

Производни програм Пештан НТ (PP) цеви за инсталације канализационих система унутар објекта обухвата цеви произведене од полипропилена, у технологији трослојне композитне цеви, а према захтевима EN 1451 стандарда, у пречницима од Ø32 до Ø160.

Након уводних разматрања, у првом делу рада речено је нешто више о самој компанији „Пештан“ као и приказан кратак историјски развој компаније.

У другом делу описан је процес екстудирања почевши од принципа екстудирања, делова целе линије за екстудирање, као и основних делова самог екструдера. Поред основних делова екструдера приказани су и описани делови линије за екстудирање цеви, попут уређаја и машина за калибрисање, хлађење, намотавање, означавање и други.

Екструдери и екстудирање су такође и тема трећег дела овог рада, где је дата подела екструдера према појединим критеријумима као и њихова примена.

Четврто поглавље се односи на материјал, полипропилен. У овом делу приказане су технологије добијања полипропилена, структура полипропилена, његова својства као што су: технолошка, механичка, топлотна, хемијска и друга као и технологије прераде полипропилена где је акценат стављен на технологију прераде екстудирањем.

Суштина овог рада дата је у петом поглављу где је описан процес термообликовања крајњег дела цеви који служи за спајање са другим цевима и дата анализа утицаја појединих параметара термообликовања на квалитет коначног производа. Један део овог поглавља односи се на опрему односно машине и алате који се користе у процесу термообликовања како би се ближе упознали са самим процесом, док су у наставку приказане грешке које настају на производу и начини њиховог отклањања, као и дијаграми на основу којих је извршена анализа утицајних параметара.

На крају рада дати су закључци, као и преглед коришћене литературе.

1.1 О компанији „PEŠTAN“

Компанија „Пештан“ је основана 1989.године и бавила се производњом цеви за воду од полиетилена. Временом је уводила нове материјале (полипропилен и PVC) и ширила производни програм. Данас се у понуди може наћи преко 6500 артикала, подељених у четири категорије:

- Цеви (енг. Piping Solution) - цеви за нискоградњу и високоградњу, односно цеви за воду и грејање, канализацију, дренажу и заштиту каблова;
- Сливници (енг. Drain Solution) - велики избор решења за купатила;
- Наводњавање (енг. Agriculture Solution) – цеви за наводњавање кап по кап;
- Кућни програм (енг. Houslend Solution) – PVC профиле, баштенске гарнитуре, канте, каце итд.

Производни погони компаније „Пештан“ налазе се у Аранђеловцу, у Србији. Годишњи приход прелази 90 милиона EUR-а, који се реализује уз помоћ око 1.200 запослених. „Пештан“ има директно присуство, путем својих ћерки фирми, у Босни и Херцеговини, као и у Румунији и кроз своја представништва у Албанији, Хрватској и Уједињеним Арапским Емиратима. Своје операције реализује у више од 70 земаља широм света путем глобалне мреже агената и дистрибутера. Примарно извозно оријентисана, компанија је присутна на тржишту Европе, Русије, Блиског Истока, Северне Африке, Латинске Америке и Сједињених Америчких Држава.

Целокупна производња је прилагођена Европским стандардима о чему говоре међународни сертификати за квалитет производа: DVGW, MPA, SABS, IMS, IGH, ZIK, VUPS, EMI, као и сертификати квалитета процеса: ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001 OHSAS 18001.

Ради што већег задовољења потреба купаца, компанија континуирано уводи иновације и унапређује кадрове и опрему. Од 2009. године се у компанију уводи систем SAP ERP са модулима MM, SD, PP, FI I CO, а од 2012. године су функционалности проширене и WMS-ом. Увођење WCM и WMC система повећало је ефикасност, допринело је распоређивању трошкова и професионалном одржавању.

Решења која „Пештан“ поседује у свом продајном портфолију, посвећеност запослених и константне иновације доприносе свеобухватном задовољству својих клијената. Сигурност својим добављачима и верност купцима гарантује се престижном оценом квалитета финасијског пословања AAA додељен од стране Бисноде [1].

1.2 Историјат

Године 1989. године основано је трговачко предузеће „Букуља Промет“ које се бавило трговином цеви за водовод и канализацију. Убрзо се схватило да на тржишту Србије постоји повећања потражња за пластичним цевима и доноси се одлука о покретању производње мање захтевних цеви од полиетилена.

Након две године, „Пештан“ почиње са производњом PVC цеви и фитинга за кућну канализацију, док 1996. године, започиње производњу PP-R програма. Након четири године застоја у инвестицијама 2000.године „Пештан“ започиње производњу коругованих цеви. Тада се доноси битна стратешка одлука, која је за резултат имала отварање новог производног погона, где долази до снажног повећања капацитета у производњи до тада освојених производа.

Почетком економске кризе, менаџмент „Пештана“ доноси одлуку да промени стратегију пословања и да се извозно оријентише. Те године се започиње са пројектом

PP-RCT програма за Северну Америку. Имплементација SAP ERP-а доноси „Пештану” усавршавање пословних процеса, а логичан след имплементација BI извештајног система доприноси ефикаснијем доношењу пословних одлука. У производњу Confluo сливника „Пештан” улази 2012. године, а годину дана након тога почиње производњу система цеви кап по кап, када долази и до финализације и почетка продаје PP-RCT цеви и фитинга на Америчком тржишту.

У последње четири године, „Пештан” је наставио снажан инвестициони циклус и реализовао је веома значајне пројекте, производња спиралних цеви пречника до 2 метра, S LINE нискошумног програма, Fluenta уградног водокотлића, преинсталираног Pert-Al-Pert-a, Ventos – вентилационе цеви, Frameless сливника и Spiropipe спиралних цеви. Данас „Пештан” важи за веома препознатљиву и значајну компанију на међународном нивоу, чији је фокус извоз на многа иностраних тржишта уз респектовање захтева сваког појединачног купца [1].

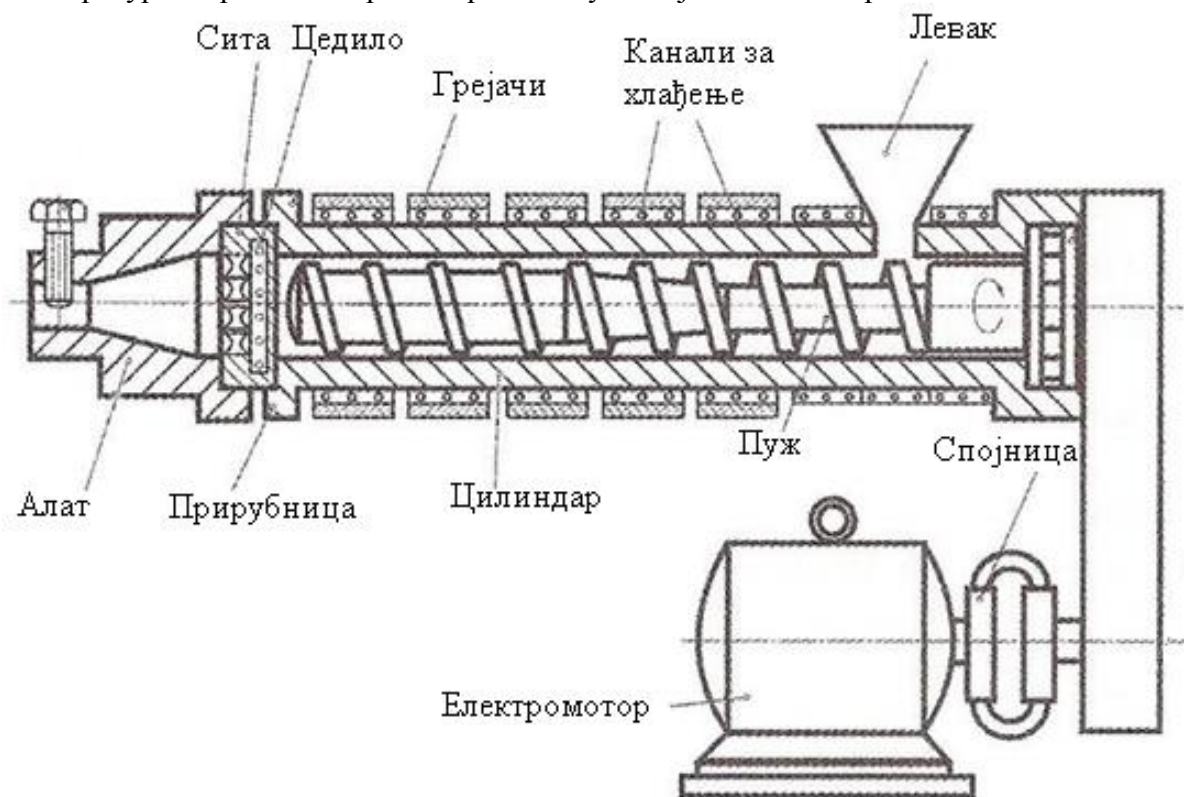


Слика 1. – Компанија Пештан [1]

2. ОСНОВИ ПРОЦЕСА ЕКСТРУДИРАЊА ЦЕВИ

Екструдирање је континуалан процес прераде пластичних маса. Овим поступком се пластична маса, као полазна сировина, у праху или што је најчешће у гранулату разних облика убацује путем левка у цилиндар машине у којој је смештен један или више пужева, који пластичну масу транспортују, а под утицајем доведене топлоте преводе је у течно стање. Дејством погона за обртање пужа као и савлађивањем отпора између пужа и цилиндра, маса се пластифицира, хомогенизује и на крају у алату формира се жељени облик [2].

Променом главе екструдера могу се на једној машини израђивати више облика производа пластичних маса у континуитету. Основни параметри процеса израде су температура загревања и брзина кретања пужа која зависи од врсте пластичне масе.



Слика 2. – Основни делови екструдера

Растопљени полимер из радног цилиндра улази у алат који формира обрадак одређеног профила. Профили алата и обрадака нису идентични, што се мора предвидети конструкцијом алата. При проласку полимера кроз алат постоје отпори течењу па на изласку из цилиндра мора, односно у глави алата мора постојати одговарајући притисак, који зависи од врсте материјала и геометрије обратка. Важно је напоменути да је притисак у глави алата проузрокован алатом, а не екструдером. Екструдер мора да створи довољан притисак, односно силу, која омогућује истискивање материјала кроз алат. Притисак у глави алата проузрокован је конструкцијом алата кроз који растоп тече [3].

2.1 Принцип екструдирања

Приликом процеса екструдирања сам материјал који пролази кроз екструдер, уједно пролази кроз три стања и то овим редоследом:

1. чврсто,
2. мешовито (течно и чврсто) и
3. течно.

Полазни материјал, из левка, обично гравитационо, улази у простор који је одређен првом секцијом пужа и радног цилиндра. Услед обртања пужа, а захваљујући трењу материјал се транспортује унапред, загрева и повећава се притисак. Загревање материјала врши се помоћу електричних грејача и делимично услед трења. Када температура пређе тачку топљења растопљени филм појављује се на површини цилиндра. То се дешава на крају зоне чврстог материјала и почетку зоне растопа. Треба напоменути да се ова тачка не мора подударати са почетком компресионе зоне. Положај границе између зона зависи од врсте материјала, геометрије машине (пужа) и услова обраде. Положај ове границе мења се са променом услова обраде, пошто се геометрија пужа не мења, ако се не мења цео пуж. Са померањем материјала унапред смањује се количина чврстог материјала, а повећава количина растопа. Са нестанком последње количине чврстог материјала дефинисана је дужина зоне пластификације и настаје зона транспорта растопа [2].

Поред овог преласка материјала кроз различита стања, у самом цилиндру имамо сложену слику притисака а самим тиме и струјања материјала. Унутар цилиндра имамо три основна протока:

1. Принудни ток (течење материјала који је последица релативног кретања пужа у цилиндру),
2. Повратни ток (последица постојања градијента притиска од алата ка улазу у цилиндар),
3. Цурење кроз зазоре на зубима пужа. Обично је ово цурење занемарљиво у односу на претходна два струјања. Ово струјање настаје као последица градијента притиска, а делује између две бочне површине зида навоја[2].

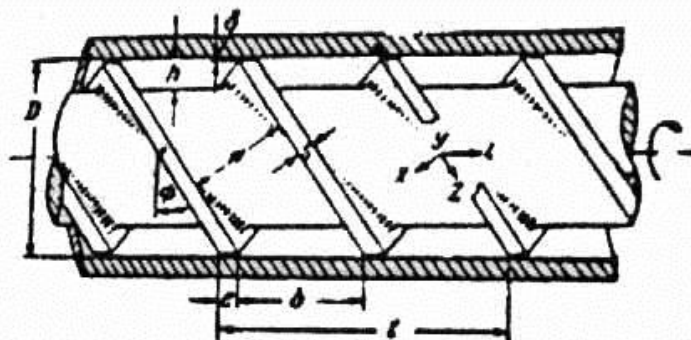
2.1.1 Принудни ток

Уколико би замислили идеалан случај да нема хидрауличких отпора у самом цилиндру, да је притисак у алату једнак нули, односно да нема сита и алата, материјал који се налази у овом простору подвргнут је деформацији на смицање, која се деловањем зидова спиралног навоја претвара у транслаторно кретање материјала по навоју. Параметри који одређују запремински проток су:

- Дубина навоја
- Ширина навоја
- Пречник пужа
- Брзина обртања пужа

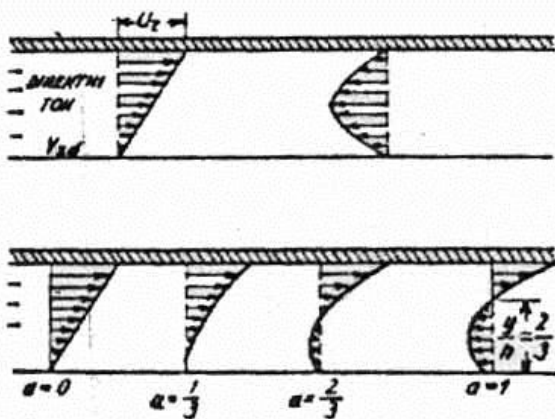
За детаљну анализу распореда брзина по попречном пресеку потребно је замислити следећу ситуацију: нека пуж мирује, а да се цилиндар екструдера окреће око заједничке осе. Самим тим можемо извршити и постављање једног координатног система са осама x , y , z и помоћном осом l , као што је приказано сликом 3. Са слике се

види да је помоћна оса l паралелна оси вретена пужа, док је оса z паралелна оси хеликоидног навоја пужа. Релативна брзина цилиндра U_c може се раздвојити на две компоненте, U_z и U_x које су међусобно управне. Да би се задовољила једначина континуитета мора постојати и компонента U_y . Ова компонента брзине је врло битна у близини зида навоја јер долази до локалне промене смера течења. Сама слика течења, односно брзина и притисак који овде настају је врло сложена [2].

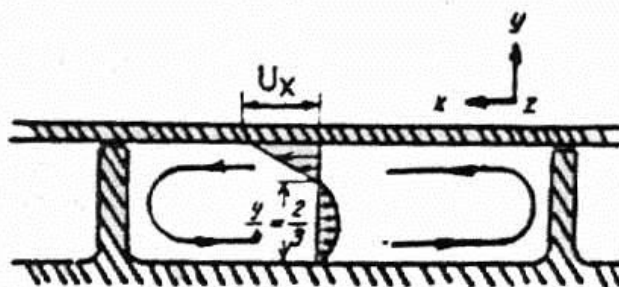


Слика 3. - Сегмент цилиндра екструдера [2]

Пошто постоје две струје који су главни носиоци течења директан и повратан ток, могу се посматрати граничне вредности ових појава. Прва гранична вредност ове појаве, када је директан ток у питању, је да на излазу нема никаквог алата, односно да је излаз из цилиндра слободан. Друга гранична вредност је да цилиндар буде затворен и да услед релативног кретања, у овом случају цилиндра, настане мешање материјала. Поља брзина у ова два гранична случаја приказана су сликом 4а и сликом 4б, течење које се јавља у реалном случају представља комбинацију претходно наведена два случаја. Тако можемо добити слику онога што се дешава у цилиндру [2].



Слика 4а. - Поље брзина граничног слоја



Слика 4б. - поље брзина граничног слоја пужа

Услед релативног окретања пужа долази до транспортавања растопљене пластичне масе. Пластична маса може се сматрати нестишљивом од улаза па до алата где долази до локалног сужавања и повећавања отпора течења. Као последица овога долази до формирања повећаног притиска на овом делу чији је градијент окренут ка улазу и изазива повратну компоненту течења (односно повратни ток). Може се и објаснити тако што, због своје нестишљивости, услед смањеног протока на овом делу маса мора да се креће уназад. Ова компонента је пропорционална брзини обртања пужа.

Компоненте брзине U_x и U_y повећавају унутрашње трење што се директно

одражава на повећање температуре масе. Оне не утичу на брзину течења која је у директној вези са протоком машине па их можемо занемарити. Значи за анализу протока потребно је користити само компоненту U_z паралелну оси вратила. Тако да за ову компоненту можемо узети да задовољава Ојлерову парцијалну диференцијалну једначину. Иако имамо два супротна млаза у цилиндру њихово кретање не можемо посматрати као два међусобно независна млаза, пошто се дуж цилиндра креће резултујући млаз масе [2].

2.1.2 Производност

Из свега претходно наведеног следи да укупну производност машине можемо написати као:

$$Q = Q_1 - Q_2 - Q_3$$

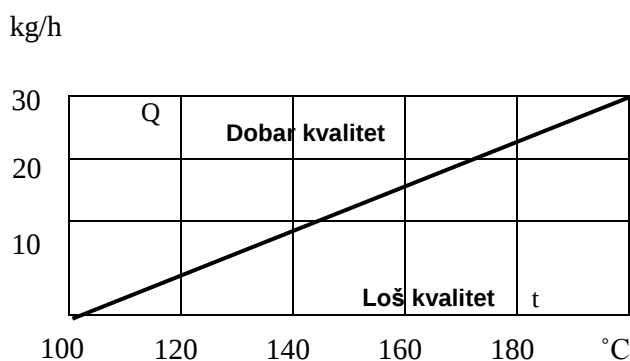
где су :

Q_1 - проток млаза који се креће унапред,

Q_2 - проток млаза који се креће уназад,

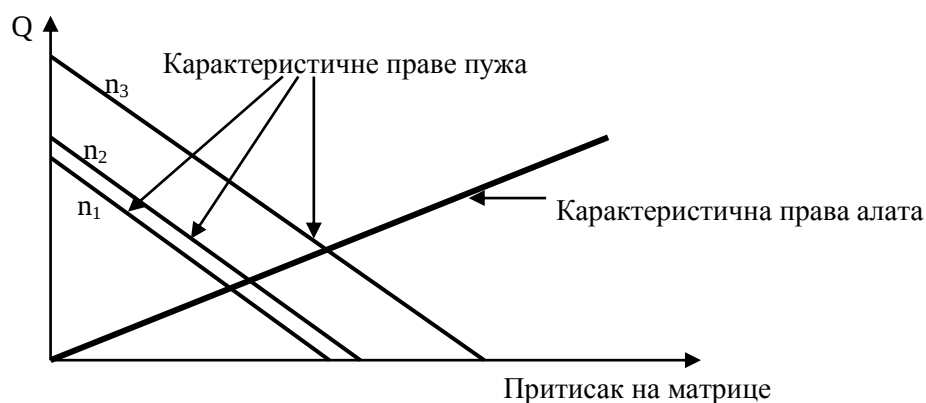
Q_3 - проток млаза губитака измађу гребена завојнице и зида цилиндра

Производност екструдера зависи од више фактора као што су : температура, број ортаја пужа, притисак у матрици, облика матрице итд. Производност екструдера у функцији температуре је права линија која је дата на слици 5.



Слика 5. - Приказ производности у функцији од температуре [2]

У пракси кретање масе у потпуности не одговара законима кретања вискозних течности, праве линије које карактеришу пуж и матрицу деформишу се у криве. За неки



Режим рада екструдера за дати број обртаја пужа (n)

Слика 6. - Домен рада машине [2]

дати материјал домен рада машине је ограничен карактеристичним кривама за минимални и максимални број обртаја пужа. Све ово се види са слике 6. Област која се налази између ових кривих линија зове се домен рада машине [2].

2.2 Линија за екструдирање цеви

У процесу екструдирања најважнији делови који се увек користе су систем за довод материјала, екструдер и алат, док се остали елементи линије употребљавају према потреби, тј. У зависности од намене поједине линије за екструдирање. На слици 7, дат је шематски приказ операција и опреме линија за екструдирање полимера, а на слици 8, приказан је пример једне линије [4].



Слика 7. – Шематски приказ операција и опреме линија за екструдирање [4]



Слика 8. – Линија за екструдирање трослојне цеви, battenfeld-cincinnati [5]

Као што је већ речено, екструдери су главни део линије за екструдирање, а они су заправо системи који служе за истискивање растопљеног полимера. Постоји више различитих врста екструдера, а међусобно се разликују према конструкцији цилиндра за топљење, стању полимера који се користи и начину загревања полимера.

Према одлукама Европског одбора произвођача машина за производњу полимерних производа, EUROMAP, екструдери се означавају на следећи начин:

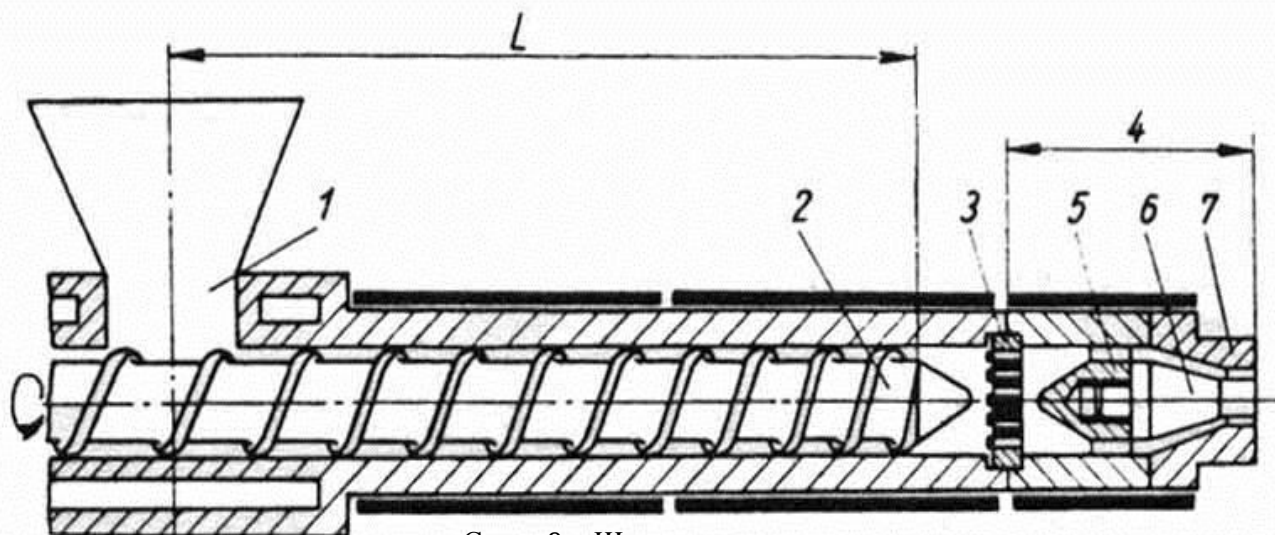
$P - D - L/D$

где је: P – број пужних завојница, D – пречник пужне завојнице, а L/D димензија делотворне дужине пужног вретена и његов пречник. Код екструдера за прераду полимера вредност пречника пужног вретена D износи од 15 до 300 mm, док је дужина пужног вретена L од 15D до 40D. Код екструдера за прераду каучукове смесе пречник пужног вретена D износи од 350 до 600 mm код довода топле траке и до 250 mm код довода хладне траке. Дужина пужног вретена L код оваквих екструдера износи од 12D до 24D [4].

Производња цеви одвија се у неколико етапа па се и сама линија састоји из више делова који се надовезују један на други. Линија за производњу цеви приказана је на слици 8, и састоји се од екструдера на коме је смештена глава (алат) за обликовање, алат за калибрисање и линије за хлађење, гравиметријског уређаја, уређаја за транспорт профила, уређаја за означавање производа, уређаја за намотавање готовог производа или уређаја за одсецање ако је реч о крутим цевима великих димензија.

2.3 Екструдер

Процес транспортовања растопљеног материјала од улаза ка алату одвија се уз помоћ уређаја који се зове екструдер, чија је шема приказана на слици 9.



Са шеме се виде основни делови екструдера без погонског механизма:

1. Левак
2. Пуж
3. Сито
4. Глава са алатом
5. Усмеривач масе
6. Трн
7. Млазница

Постоји две врсте екструдера и то екструдери са једним пужем и екструдери са два пужа. Који ће се користити зависи углавном од материјала и облика делова који се израђују. У свом основном облику екструдер се састоји од левка, отвора за дозирање сировине, цилиндра у коме се креће истопљена маса и у коме је смештен пуж. Задатак пужа је да транспортује масу дуж цилиндра до отвора на коме се поставља алат. Погон се обезбеђује мотором, који преко система преносника и редуктора врши обртање пужа. За грејање цилиндра користе се електрични грејачи, док за темперирање и хлађење се користи систем циркулације воде или ваздуха. При преради неких типова термопласта користи се систем за дегазацију и извлачење влаге помоћу вакуума, док се за исправан рад пужа, нарочито дела који се спаја са редуктором користе специјални лежајеви, ради спречавања евентуалних вибрација, а врши се и темперирање и хлађење једног дела пужа. Код двопужних екструдера и осталих типова екструдера сви наведени елементи су исти, или са истим функцијама, разлике су само у начину транспорта растопљене масе.

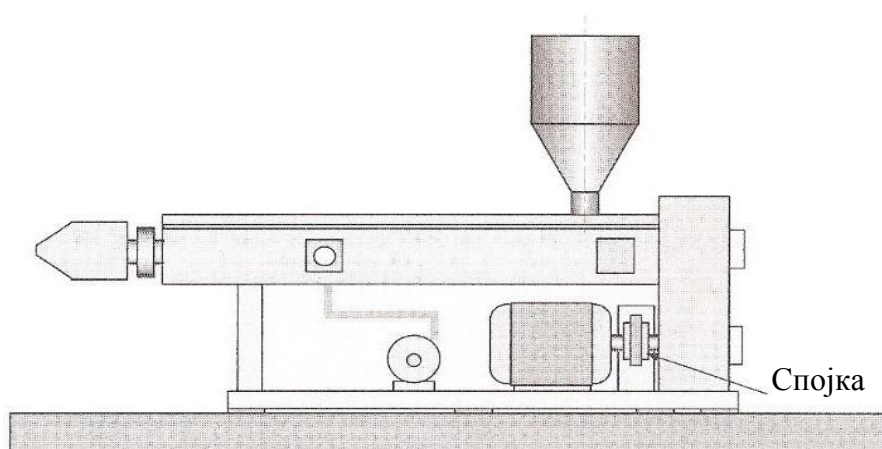
На излазном крају налази се променљива глава екструдера у зависности од облика финалног производа. Поред конструктивних у овој глави налазе се и извршни елементи. То су трн и конусна матрица који су у непосредном контакту са растопљеном масом и дефинишу њен коначан облик. Они су променљиви у зависности од жељних димензија производа [2].

2.3.1 Погонски делови екструдера

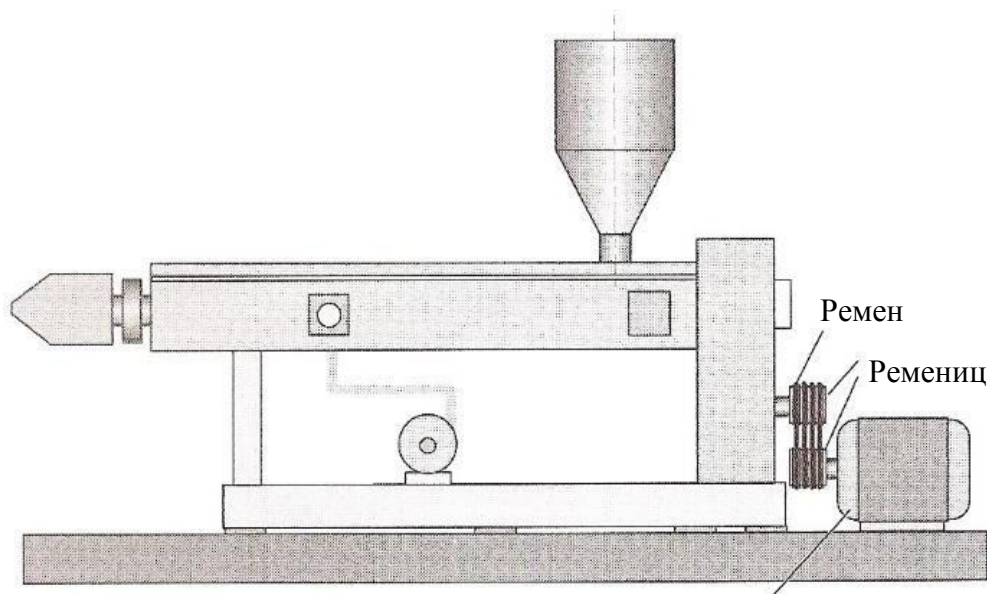
За погон екструдера користи се електромотор са фреквентним регулятором, чиме се постиже фреквенција пужног транспортера у распону од 10 до 300 о/мин. То се остварује коришћењем погонског мотора с одговарајућим регулятором чија је просечна фреквенција обртања од 1000 до 2000 о/мин.

Електромотор може бити директно спојен на погон преко спојке па се онда говори о директном погону (слика 10.).

Међутим, електромотор на погон може бити спојен и непосредно преко ременског преноса као што је приказано на слици 11, што се назива индиректним погоном. [6]



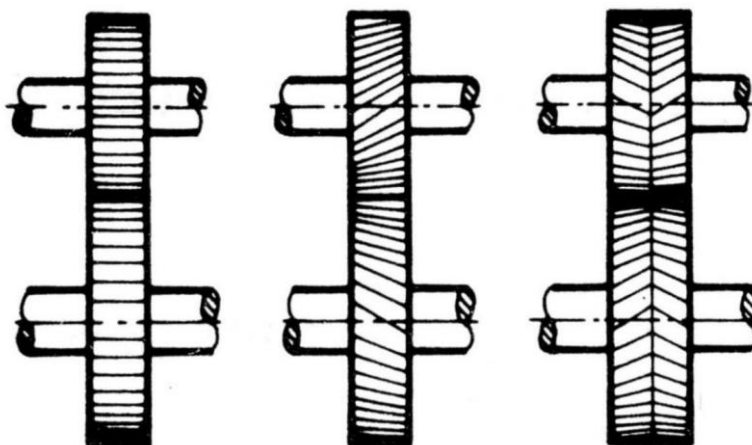
Слика 10. – Директан погон [6]



Слика 11. – Индиректан пренос преко каишних преносника [6]

У гоњеном делу екструдера налази се редуктор којим се смањује фреквенција, а типичне вредности редукције износе од 15:1 до 20:1. Најчешће се користе зупчасти редуктори код којих зупчаници имају равне или косе зубе, а код висококвалитетних

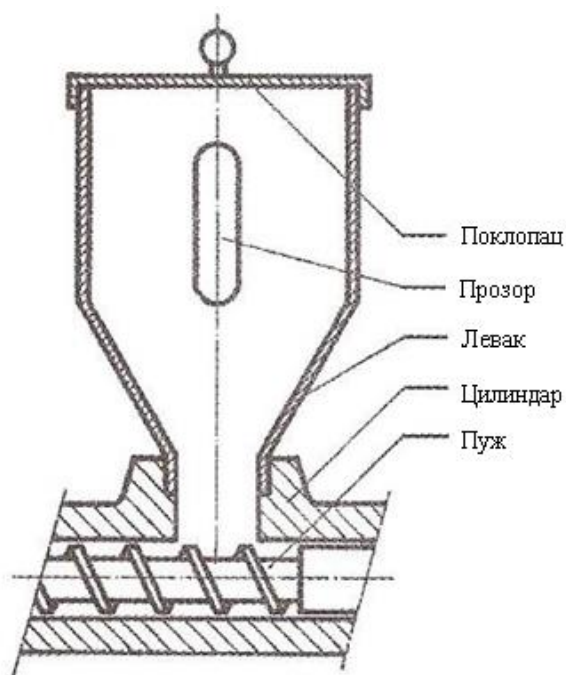
редуктора користе се зупчаници са стреластим зубима. На слици 12. приказане су најчешће кориштене врсте зупчаника [4], [6], [7].



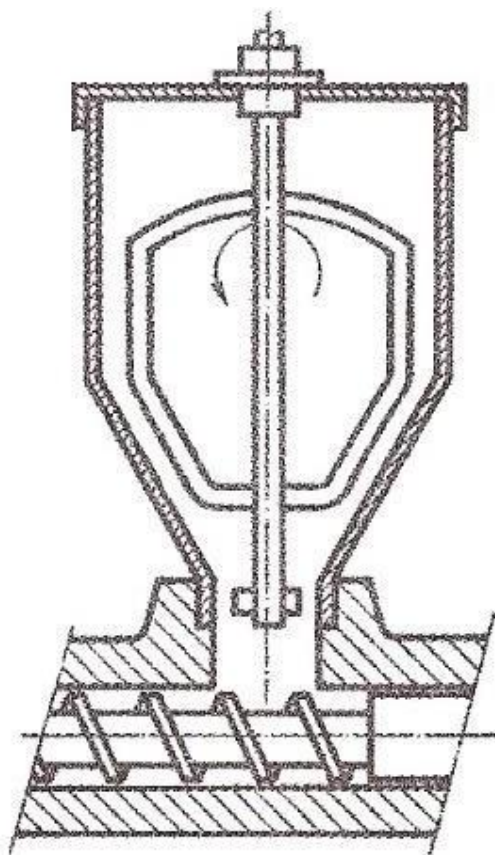
Слика 12. – Најчешће кориштене врсте зупчаника (зупчаника са правим, косим и стреластим зупцима) [5]

2.3.2 Левак за довод материјала

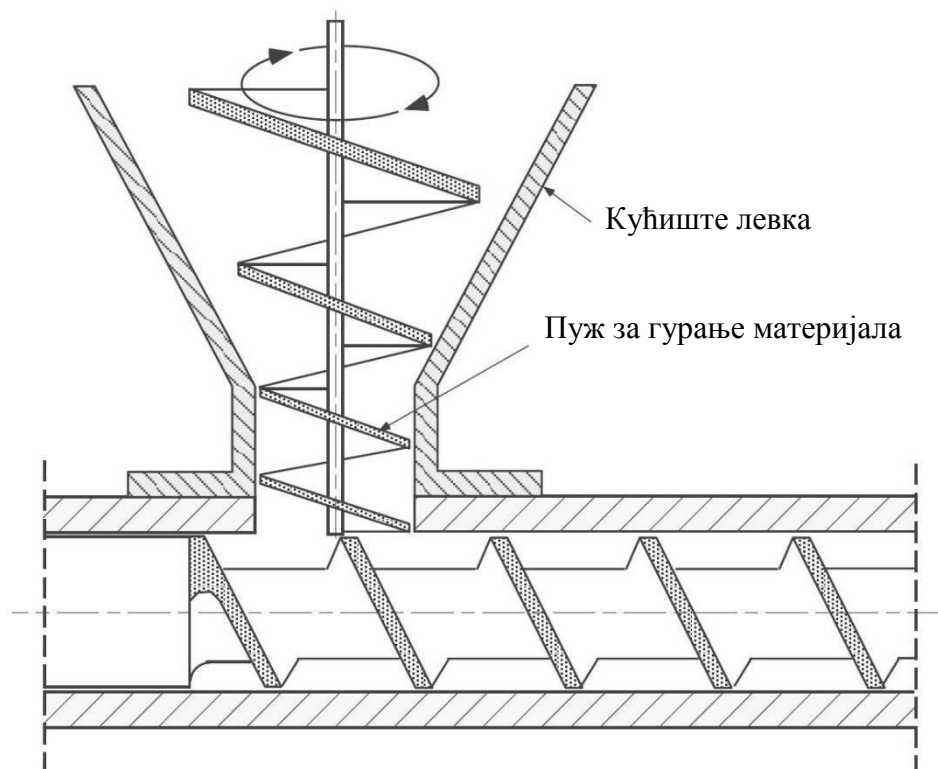
Левак за полимерни материјал израђен је најчешће од нерђајућег челика, челичног лима емајлираног с унутарње стране или алуминијског лима. Левак је кружног пресека у горњем делу, док се у доњем делу конично сужава. Левак мора бити поклопљен како би се спречио унос нечистоћа, а на дну се налази вентил којим је могуће прекинути довод полимера у цилиндар за топљење. Пуњење може бити вакуумским или издувним системима за довод, али и ручно. На слици 13. приказан је стандардни левак. Посебне конструкције левка омогућавају предсушење материјала врућим ваздухом, отплињавање, мешање полимера с додатцима за бојење или угуравање материјала у цилиндар екструдера посебним пужним вијком. На слици 14. приказан је левак с ротирајућим мешачем, а на слици 15. приказан је левак с пужним вијком за угуравање материјала) [4].



Слика 13. - Стандардни левак [4]



Слика 14. - Левак са ротирајућим мешачем [4]



Слика 15. - Левак са пужом за гурање материјала [4]

2.3.3 Цилиндар екструдера

Цилиндар екструдера (енгл. Extruder barrel) је равни цилиндар превучен с унутрашње стране тврдом превлаком, врло отпорном на хабање. У већини случајева та превлака има већу отпорност на хабање од пужног транспортера, јер је њега пуно лакше поправити или заменити у односу на цилиндар, који се најчешће не може поправити [6].

Унутрашња страна цилиндра осим што је превучена тврдом и на хабање отпорном превлаком је и хонована, док је сам пужни транспортер полиран. Прегруба површина цилиндра омогућава транспорт, али без мешања, док прегруба површина пужног транспортера има за последицу окретање полимера у месту, у том случају нема мешања и транспорта полимера према алату за екстудирање [4], [6].

Цилиндар и пуж екструдера чине најважније елементе машине. У најопштијем случају цилиндар и пуж треба да транспортују гранулат или прах полимера, да га топе и избацују при константном притиску и температури. Да би се постигло топљење масе, цилиндар екструдера се загрева споља, а та топлота уводи се на унутрашњи зид цилиндра. Изглед екструдера дат је на слици 16. Температура цилиндра од дозера до алата мора се контролисати у зависности од топлотних карактеристика материјала који се прерађује. Сваки материјал има свој одређени температурни програм, који се регулише грејањем. Поред тога и финални производ утиче на температуру цилиндра [2].



Слика 16. - Приказ једног екструдера [8]

Да би имали поуздану регулацију температуре у цилиндру поред загревања потребно је и хлађење цилиндра. То се постиже циркулацијом ваздуха или воде.

Уласком материјала у сам цилиндар долази до његовог загревања и течења, због тога треба водити рачуна да температура на уласку буде коректно контролисана. Уколико овај процес загревања, није довољно коректан може доћи до повећања отпора. Недовољно хлађење може довести до пада притиска на улазу, слабог преношења температуре на лежајеве. Хлађење ове зоне врши се струјањем воде, која мора бити свежа.

На другом крају цилиндра, између алата и краја пужа налази се перфорирана плоча, чији је циљ да изврши заштиту, како алата тако и финалног производа. Та заштита односи се првенствено на прљавштину (има улогу филтера). Поред ове функције, плоча има задатак и да обезбеди коректан проток растопљене масе.

При конструисању зида цилиндра треба водити рачуна и о простирању саме топлоте. Дакле, простирање топлоте може бити у два основна правца: радијалном и аксијалном. Аксијално простирање топлоте првенствено зависи од дебљине зидова цилиндра, ако су зидови цилиндра већи то ће и простирање топлоте бити брже. То значи да се разлика у температури, која је неопходна у различитим зонама, смањује што може имати последице на саму коректност технолошког поступка.

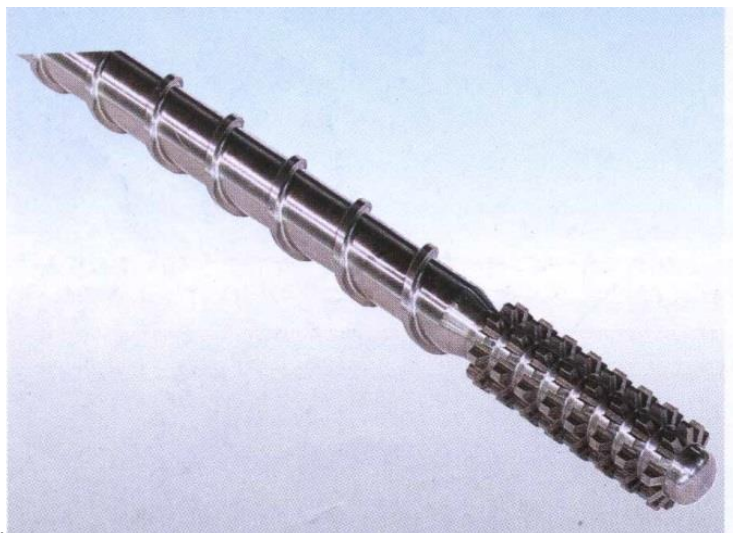
Унутар самог цилиндра упресована је, лако променљива челична чаура отпорна на абразију, у којој се обрће пуж. Материјал те чауре мора да је мекши од материјала пужа, да не би дошло до његовог евентуалног оштећења. Сам зазор мора бити мали од 0,1 до 0,15mm. Овако мали зазор представља нужно решење, јер при већим зазорима учинак машине би се смањио. Мањи зазор се не дозвољава јер би машина радила нееконично [2].

Да би пуж могао коректно да врши транспорт растопљене масе, потребно је да се међупростор између пужа и чауре постепено смањује.

2.3.4 Пуж екструдера

Пуж је смештен у унутрашњости цилиндра и служи за транспортовање пластичне масе. Да би транспортовање било добро (подразумева се са аспекта технологије самог материјала) потребна је синхронизација, између броја обртаја пужа и грејача. На самом крају пута налази се глава, алат за обликовање профила, екструдера. Пролазећи кроз ову главу материјал добија своју крајњу форму и димензије. У глави екструдера налазе се извршни делови главе, алата, трн и конусна матрица који су лако заменљиви јер треба да обезбеде флексибилност процеса.

Пуж својим обртним кретањем доводи до хомогенизације и омекшавања самог материјала као и настајења фриксионе топлоте. Пуж представља дугачак ваљак са посебно обрађеним завршетком по чијој је целој радној дужини урезана једна или више навојница са навојем одређеног профила и корака. У самом процесу јавља се потреба за великим обртним моментом, па материјал екструдера мора бити жилав и отпоран на абразију, с обзиром на температуре мора бити отпоран и на корозију. Због овога пуж се израђује од хром-никл-челичних легура, посебно отпорних на корозију са отворднутом спољном површином, док се по гребену навојнице веома често наноси варењем специјално тврди материјал, на пример стелит. Универзална конструкција пужа погодна за све врсте термопластичних маса не постоји. Приказ једног пужа за прераду полиолефина дат је сликом 17 [2].



Слика 17. - Изглед пужа за полиетилен [2]

У принципу пуж има три зоне, приказане на слици 18, и то:

1. зону храњења – прва зона има улогу да транспортује материјал до друге зоне односно до пластификације. У овој зони материјал се постепено растапа како не би дошло до пада притиска, због чега је слабије грејана од осталих зона,

2. зону пластификације – ова зона има задатак да материјал претвори у вискозну растопину и да је у компактном стању, без ваздуха, преда следећој фази. Код многих конструкција ова зона има пораст пречника који одговара следећој зони, тј. зони истискивања. На тај начин запремина хода се смањује, материјал се сабија. Ово сабијање омогућује да се укључени ваздух, и евентуално испарења, потисну и да прелаз топлоте на пластичну масу буде бољи. Компресиони однос пужа унутар компресионе зоне зависи од повратног притиска на крају пужа. Компресија се постиже на тај начин што се промер језгра пужа повећава, и на тај начин се компресија постепено расподељује на дуже подручје. Код пужева са кратком компресионом зоном само део пужа има прогресивно језгро.

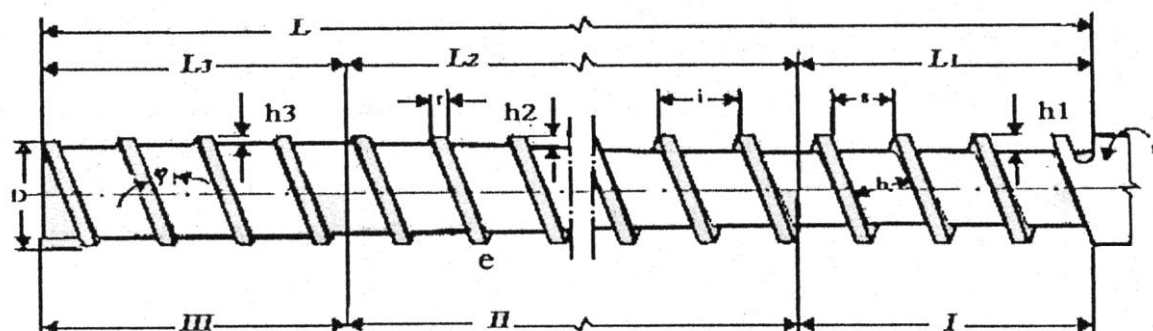
3. зону истискивања – ова зона има функцију да растопину у константно хомогеној струји и уз константан притисак истисне кроз алат. Дужина ове зоне варира, по концептима нарочито у новије време, од 6 до 12 D. Унутар зоне истискивања дубина хода је у функцији вискозитета масе која се прерађује и углавном је константна. У зависности од материјала који се прерађује облик врх пужа је веома различит и он много утиче на капацитет машине. Тупи врхови пужева I, II, IV, слика 20, стварају празан простор непосредно пре изласка масе из цилиндра, па се његова употреба препоручује за вискозније масе, али уз обавезну употребу плоча са филтерима (ситима) [2].

Пуж у цилиндру је веома тесно постављен у зазор који чине зуб пужа и унутрашњи зид цилиндра, који износи од 0,8 до 0,6 mm зависно од пречника цилиндра.

Важна карактеристика пужа је и угао успона. Пужеви са једнаким успоном преко целог пужа имају ширину хода од 0,8 до 1,8 D. У тежњи да се постигне што већи капацитет, уз мањи утрошак енергије, многи произвођачи опреме се труде да произведу што оптималније типове пужева, за разне типове производа. Пуж може имати једну или две завојнице ожљебљене по целој радној дужини и прелазити из једне у две. За прераду гумених мешавина, PVC маса и полиетилена обично се користи пуж са једном завојницом ожљебљеном по целој радној дужини. За прераду најлона и полиетилена препоручује се пуж са торпедом на крају у циљу смањења пулзације пластичне масе, док се за прераду гуме мешавине у загрејаном стању препоручује

пуж са две чак и са три завојнице [2].

Дубина корака завојнице знатно утиче и на карактеристике саме машине. Наиме, уколико је корак краћи утолико је притисак већи, али и учинак машине је мањи. Веома мали кораци завојнице дају велики механички рад уз највећи притисак и најмањи учинак. Максималне брзине обртања пужа под оптерећењем износе око 150 о/мин за мање пречнике, односно око 100 о/мин за веће пречнике.



D (mm) – пречник пужа

e (mm) – ширина зуба

h (mm) – дубина хода

b (mm) – ширина хода нормално на зуб

s (mm) – ширина хода паралелно са зубом

t (mm) – успон навоја

φ (°) – угао успона

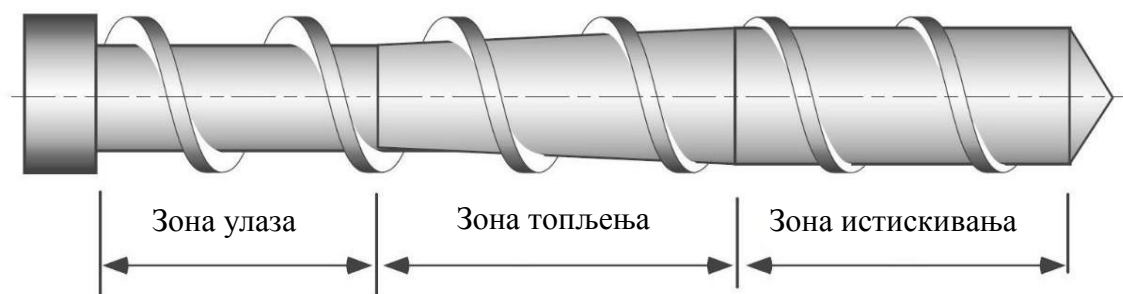
n – број обртаја пужа у минути

I – зона улаза

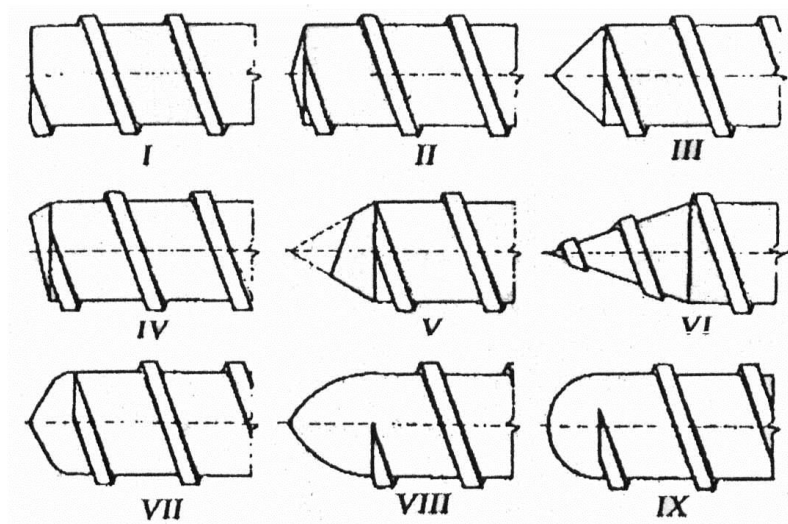
II – зона топљења масе (пластификација)

III – зона истискивања

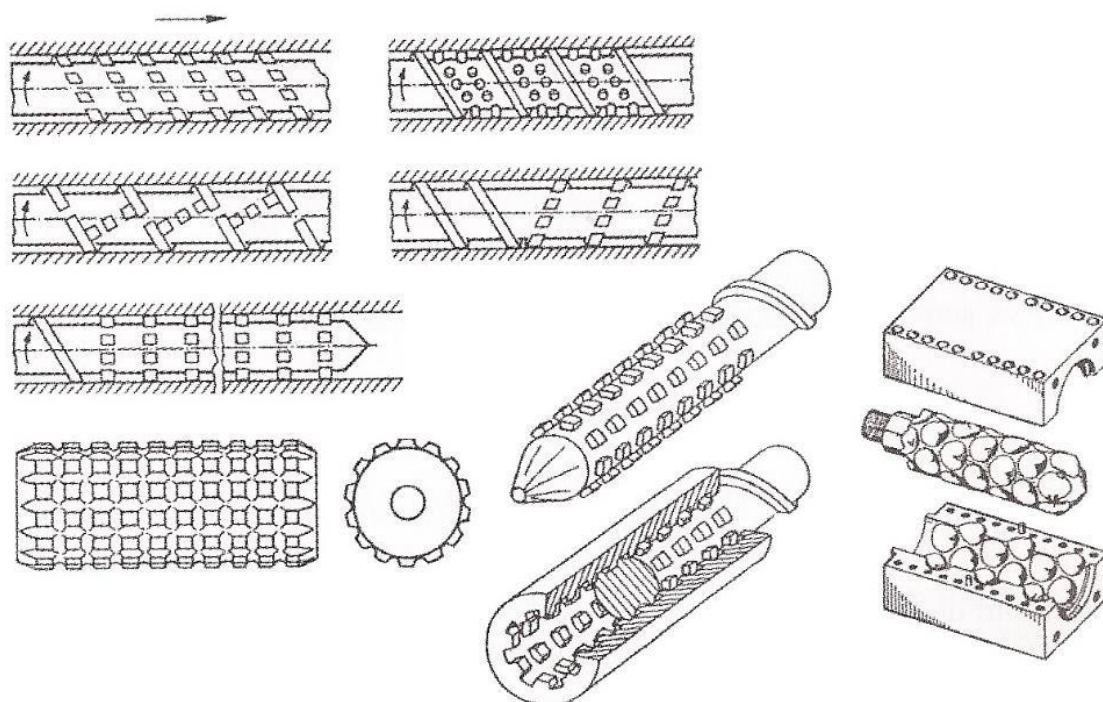
Слика 18. - Димензије пужа [2]



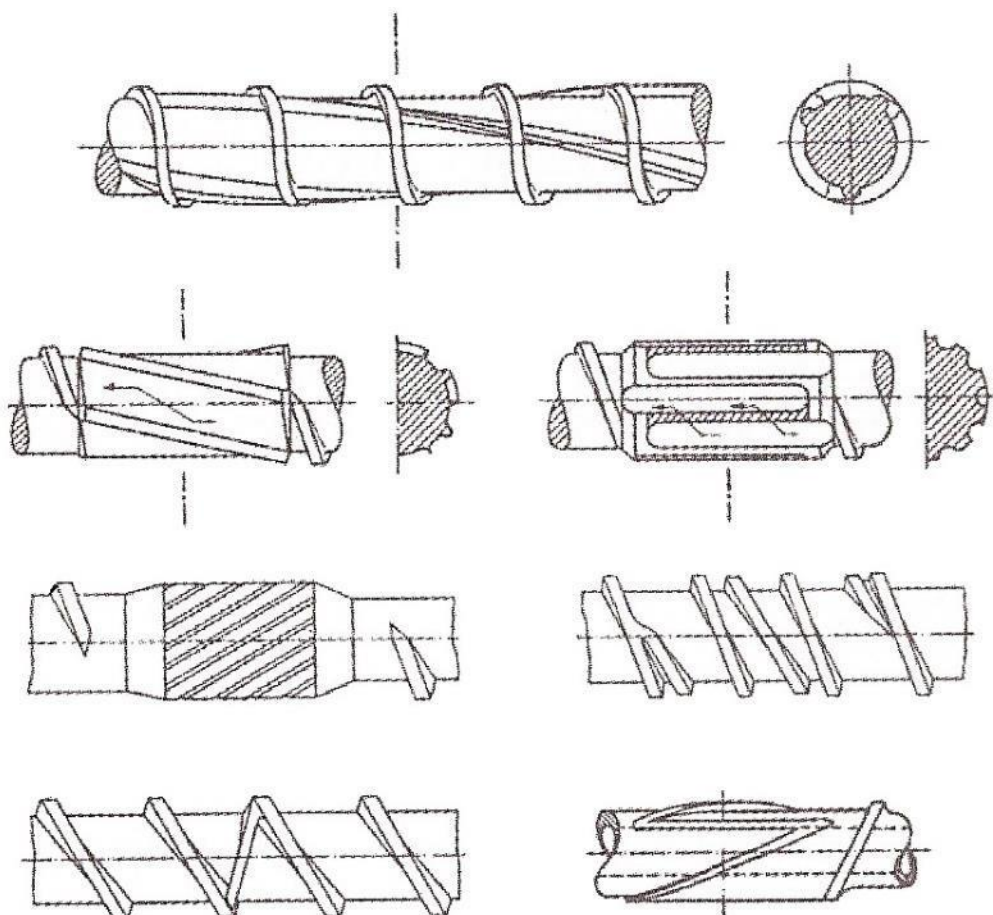
Слика19. - Зоне пужног вретена [3]



Слика 20. - Izgled vrhova puža [2]



Слика 21. - Различити елементи за мешање растопљене масе [4]



Слика22. - Различити смицајни елементи пужног вретена [4]

2.3.5 Уређаји за грејање и хлађење

Цилиндар за топљење, екструдера има могућност загревања и хлађења. Загревање се најчешће изводи помоћу тракастих електричних грејача смештених по дужини цилиндра за топљење, али се може вршити и помоћу паре (претежно засићена пара) и течним средством (нпр. уље). Грејачи који се користе за загревање код екструдера су : грејачи изоловани „mica“ материјалом (енгл. Mica Insulated Heaters), керамички грејачи и грејачи интегрисани у одливку (енгл. Cast-in Heaters). На слици 23. приказан је прстенасти грејач изолован „mica“ материјалом. Грејачи интегрисани у одливку најчешће су изливени у облику полукруга те имају врло добре карактеристике преноса топлоте. Израђени су од алуминија (загревање до 400°C) или бронзе (загревање до 550°C). На слици 24. приказан је један грејач интегрисан у бронзаном одливку [6].



Слика 23. – Прстенасти грејач изплован „миса“ материјалом [9]

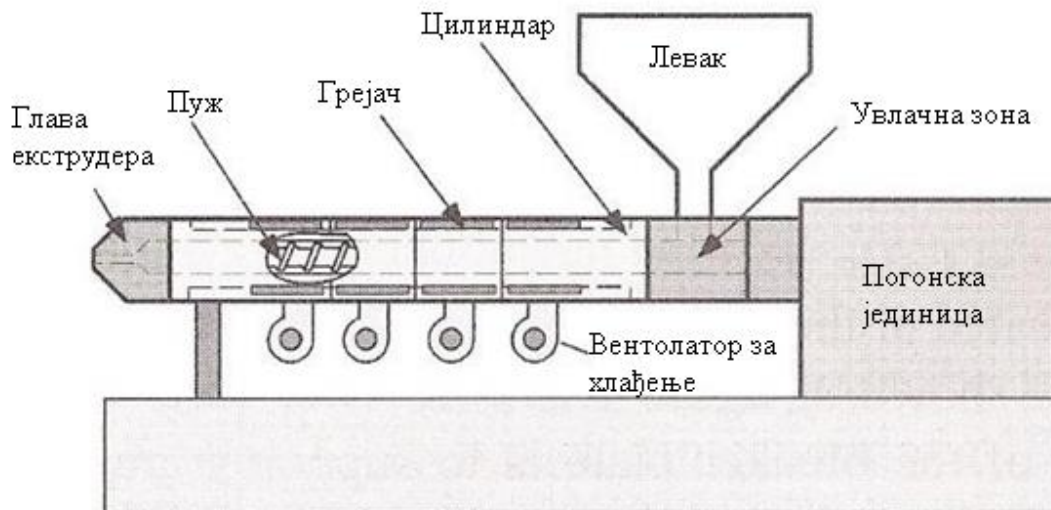


Слика 24. – Грејач интегрисан у бронзаном одливку

Већина екструдера има најмање три зоне загревања уздуж цилиндра за топљење, док екструдери већих дужина могу имати и по осам или више зона загревања. Свака зона загревања има могућност засебног загревања и хлађења, зато постоји барем један сензор температуре којим се мери температура унутар цилиндра за ту зону [6].

Алат за екструдирање такође има зоне загревања, а њихов број зависи од сложености тог алата. Тако врло комплексни алати могу имати и по десет зона загревања. Сам алат у себи има грејаче, али најчешће нема могућност активног хлађења.

Процес екструдирања даје најбоље резултате када се већина потребне топлотне енергије добија преко пужног транспортера те не треба превише користити нити грејаче нити системе хлађења. На слици 25. дат је шематски приказ постављања гршјача и вентилатора на екструдер.



Слика 25. – Шематски приказ постављања грејача и вентилатора на екструдер [6]

Цилиндар за топљење мора поседовати и могућност хлађења у случају да температура растопљене у појединој зони загревања пређе задату вредност. Овакве су појаве могуће код екструдирања материјала високе вискозности или код екструдирања великим брзинама пужног транспортера.

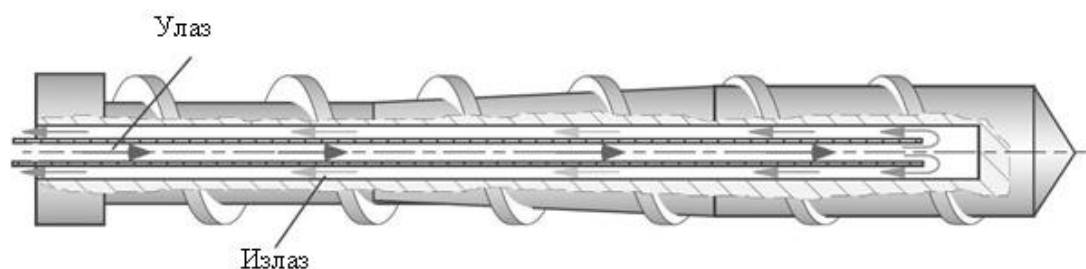
Најједноставнији начин хлађења је помоћу индустријских вентилатора постављених с доње стране цилиндра екструдера, а свака зона загревања је међусобно одвојена како хлађење једне зоне не би довело до хлађења суседних зона [6].

Осим коришћења ваздуха цилиндар за загревање може се хладити и водом, међутим овај се начин користи само у случајевима када је потребно у кратком року одвести велику количину топлотне енергије, јер се коришћењем воденог хлађења отежава одржавање температуре на задатој вредности. Осим воде, као средство за хлађење може се користити и уље [6].

Како је одржавање температуре на задатој вредности за поједину зону загревања током поступка екструдирања врло битно, на уму треба имати и чињеницу да када је измерена температура приликом хлађења цилиндра за топљење једнака задатој, стварна температура растопа увек ће бити барем мало већа од измерене. Разлог томе је израда самог мерног система, код којег се не мери конкретно температура самог растопа, већ се мери температура зида цилиндра па се као последица јавља тромост мерног система.

У већини екструдера пужни транспортер се не користи нити за унутрашње загревање нити за унутрашње хлађење, због чега се назива и „неутралним“. Међутим, постоје и пужни транспортери кроз које протиче течност за загревање/хлађење (кроз

издубљени средишњи део пужног транспортера), какав је приказан на слици 26, или се у њима налазе електрични грејачи, док се електрична енергија преноси преко клизних прстенова који се налазе на погонском делу пужног транспортера [6].



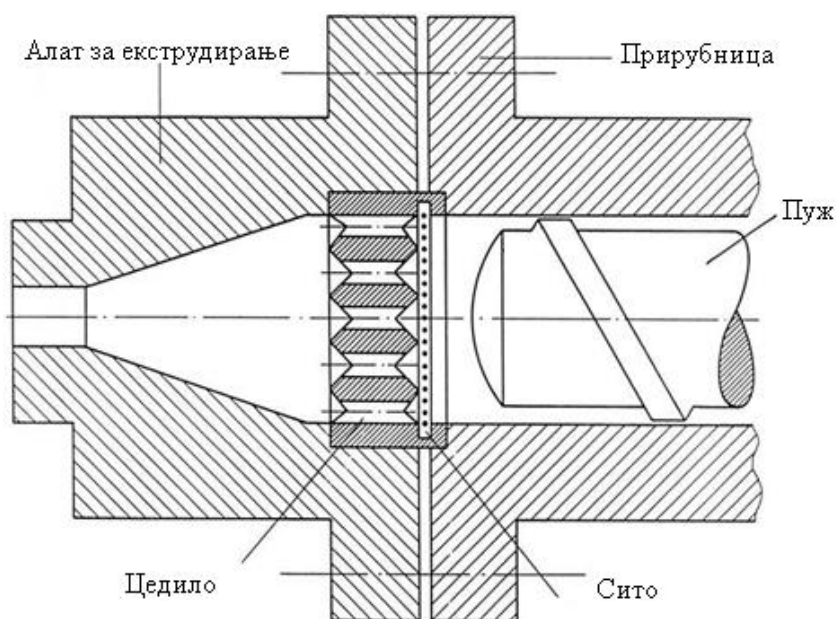
Слика 26. – Пужни транспортер са каналима за загревање/хлађење течностима [7]

2.3.6 Сита и цедило

На крају цилиндра екструдера, између врха пужног транспортера и алата за екструдирање смештена су сита и цедило. Цедило (енгл. Бреакер Плате) је дебели метални диск (од 25 до 50 mm зависи од пречника пужног транспортера D) на којем се налази већи број отвора пречника од 5 до 8 mm. Главни задатак цедила је допунско хомогенизовање и осигуравање једноличности довода растопљене масе. Како је немогуће за сваки полимер имати „савршен“ пужни транспортер, цедило на неки начин исправља те недостатке. Осим тога, цедило служи и као потпора за сита која се налазе непосредно пре њега. Цедило се не може увек користити, нпр. при преради крутог PVC-а би дошло до топлотне разградње полимерне масе проласком кроз цедило. На слици 27. приказан је пример цедила, а на слици 28. приказан је склоп сита и цедила [4], [6].



Слика 27. – Пример цедила [6]



Слика 28. – Сито и цедило у склопу [4]

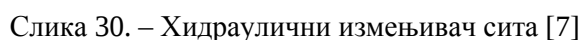
Сита се постављају пре цедила те се заправо говори о склопу сита различитих величина отвора, а разлог зашто се сита умећу у склопу пре цедила јесте њихова недовољна крутост. Полимерна растопљена маса најпре пролази кроз најфинија сита. Задатак сита је двоструки: служе за задржавање нерастопљених честица, нечистоћа, осталих страних тела и изгорелих делића полимера те стварају отпор протоку растопе с циљем њеног хомогенизовања. Финоћа сита означава се као број жичаних нити по инчу (25,4 mm), тј. што је већи број жичаних нити по инчу, то је сито финије. На слици 29. приказано је неколико сита различите финоће. [6]



Слика 29. – Сита различите финоће [6]

Данас се користе различите врсте сита с обзиром на њихову конструкцију. Најчешће се користе сита са жичаним нитима (обично квадратно сито или сито с

Учесталост замене сита варира зависно од врсте сита и количине нечистоћа, а њихова замена може се извршити ручно или аутоматизовано. У неким се случајевима могу се користити измењивачи сита, тј. уређаји који омогућавају њихову брзу замену. Тако постоје ручни измењивачи сита, хидраулични измењивачи, делимично аутоматизовани и аутоматизовани и ротацијски измењивачи сита. Код већине аутоматизованих измењивача замена се одвија када пад притиска на сити пређе неку претходно задату вредност. На слици 30. приказан је хидраулични измењивач сита, који помоћу хидрауличног клипа убацује прихватну плочу с новим ситом [4], [6].



Најинтересантнији део линије за екструдирање цеви је свакако алат за обликовање цеви који се још назива и глава екструдера. Алат за обликовање служи за предобликовање растопљене масе у жељени облик финалног производа. Основни захтев за алат за обликовање је да омогући континуалан проток материјала без икаквог деградирања масе. Ради овога њена радна запремина мора бити што мања, не сме бити места где може доћи до задржавања и разлагања материјала. Такође не сме бити наглих промена смера, већ млаз материјала мора постепено смањивати пресек, тако да му се брзина повећава како се приближава алату. Алат за обликовање је по правилу снабдевен системом за одржавање и евентуално дизање температуре екструдоване масе, такође се често загрева и алат да би се смањио отпор истицања пластичне масе, као и побољшање спољашњег сјаја производа. Систем контроле температуре мора бити адекватно решен [2].

У зависности од врсте материјала и димензија цеви мења се и његов изглед. Алате за израду цеви могуће је поделити на :

- уздужне главе за израду цеви,
- попречне главе и
- офсет главе.

24

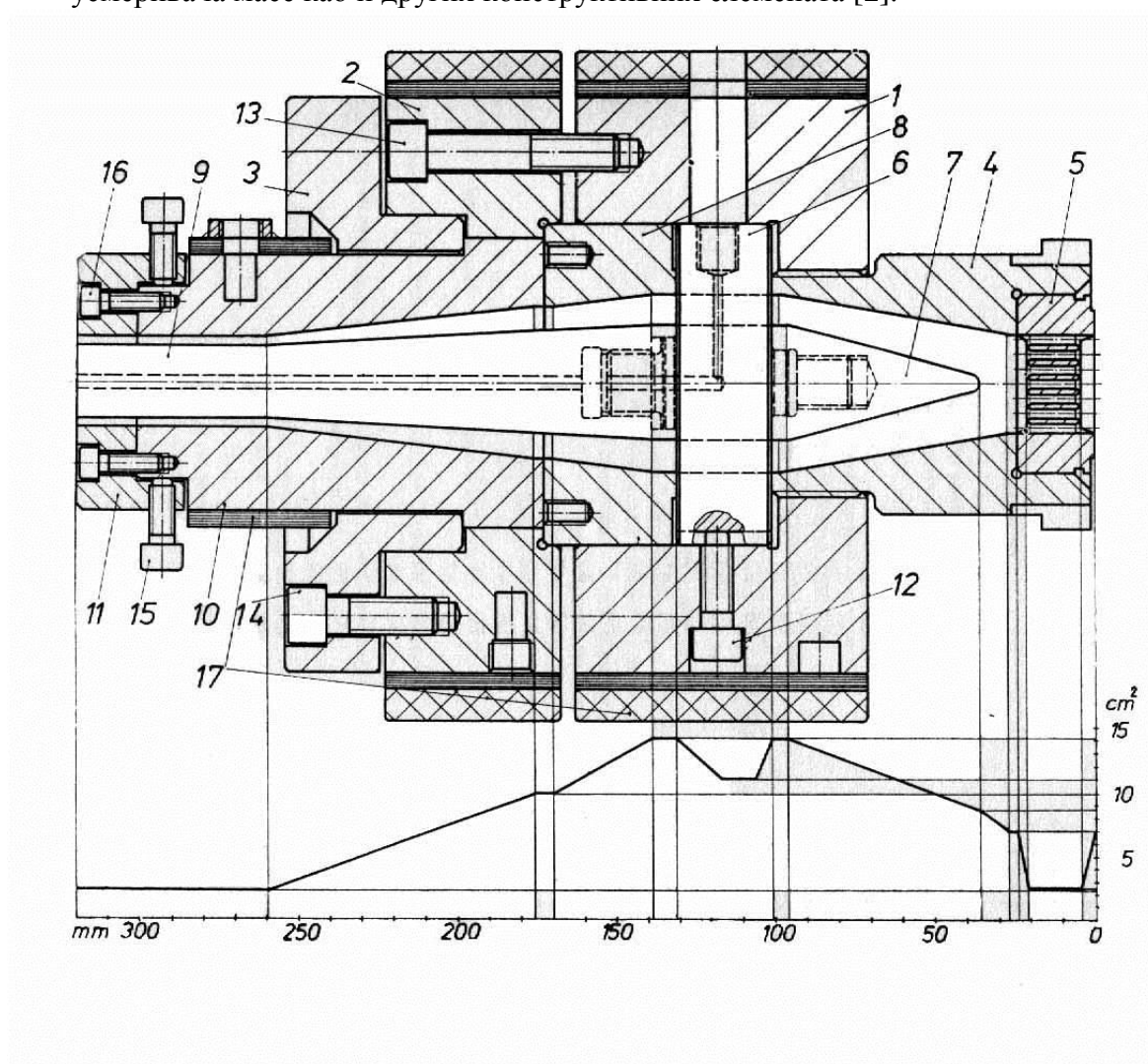
Попречна и офсет глава се ретко примењују и то највише код унутрашњег калибрисања.

Алате за мале димензије цеви можемо поделити и према прикључку на екструдере, на алате са:

- једноструким пужним прикључком и
- двоструким пужним прикључком.

На слици 31 приказан је један класичан алат за обликовање цеви од полиамида. Алат за екстудирање цеви разликује се у зависности од обрађиваног материјала, али у основи састоји се од :

- кошуљице,
- држача трна,
- грејача,
- трна,
- усмеривача масе као и других конструктивних елемената [2].

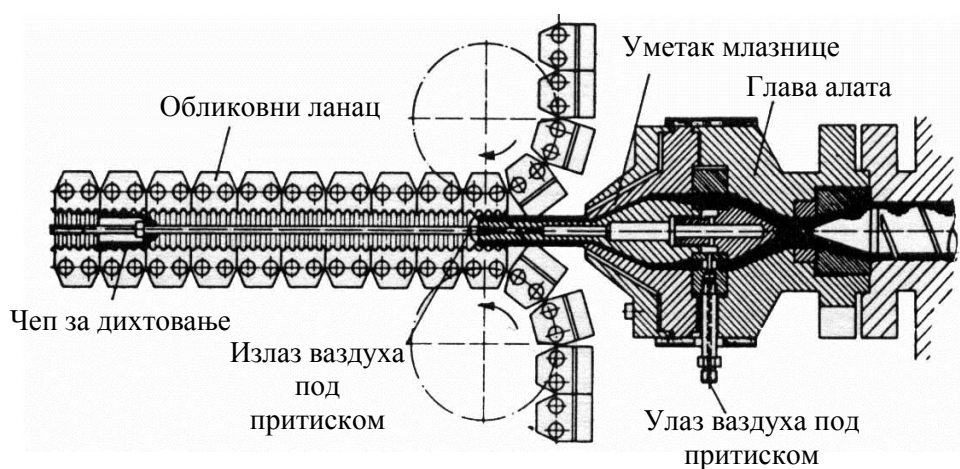


Слика 31. - Алат за обликовање цеви од полиамида [2]

По изласку из цилиндра екструдера растопљена маса наилази на перфорирану плочу (5), која има улогу да ,као што је раније речено, да изврши заштиту како алата тако и финалног производа, та заштита се односи првенствено на заштиту од нечистоћа али улога ове плоче је и да, ова препрека у попречном пресеку струјања, изазива

еластично померање растопљене масе и обезбеди критичан проток растопљене масе. Затим се маса уз помоћ усмеривача (7) усмерава да опструји око трна (9) који је тачно постављен и фиксиран уз помоћ одстојника (8). На овај начин се врши правилно усмеравање масе, преко трна, у зазор између конусно-прстенастог сегмента и самог трна. На тај начин добија се цев тачних димензија и доброг квалитета цеви, како површине тако и механичких особина [2].

Поред израде класичних глатких цеви могућа је израда и валовитих (ребрастих) цеви. Оне се користе за електро инсталације, ваздушне инсталације, у сврхе дренажа и слично. Израђују се најчешће од PVC-а, полиетилена велике густине, полипропилена и могуће их је произвести у веома великим димензијама. Због велике чврстоће задржавају облик и мали утрошак материјала добијају све важније место. Сликаом 32 приказан је процес израде ребрастих цеви које се још зову и коруговане цеви [2].



Слика 32. - Процес израде ребрастих цеви [2]

Код ових алата млазница мора да улази у калибратор, јер калибрисање се одвија истовремено са провлачењем. Пластично црево се одмах након напуштања продуженог трна уз помоћ надпритиска утискује у алат за обликовање коругованих цеви. Сам процес обликовања се одвија у накнадно прикљученом уређају који врши повлачење и калибрацију. Кружно кретање пара обликовних ланаца, са сегментима у облику полулопти које су ребрасте, које се при уласку црева у алат спајају једна уз другу и тако у ходу изводе калибрисање. Вакуум присиљава пластичну масу да у потпуности попуни жљебове алата и на тај начин поприми његов облик. Хлађење се изводи кроз одвођење топлоте у сегментима. Отвори који се налазе на алату могу се израђивати и на траци која је задужена за повлачење. Ребрасте цеви се израђују на екструдерима за PVC, полиолефине уз прикључак главе и уређаја за повлачење и уређаја за бушење отвора код дренажних цеви [2].

2.5 Уређаји за калибрисање и хлађење

По изласку екструдираниог материјала из алата за обликовање неопходно је извршити калибрисање и хлађење. Калибрисање у процесу екструдирања значи тачно дообликовање цеви на жељену димензију. Будући да се пластична маса у поступку калибрисања треба истовремено очврснути потребно је истовремено хлађење масе [2].

Конструкција алата за калибрисање је једнако важна као и конструкција алата за обликовање. Алат за калибрисање мора бити прилагођен конструкцији алата за

обликовање (главе алата). У основи се разликују две врсте калибрисања и то: спољашње и унутрашње калибрисање. При производњи цеви најчешће се користи спољашње калибрисање. Разумна комбинација ова два система није позната и ако би код производње великих цеви било пожељно додатно унутрашње хлађење због бржег хлађења великих дебљина зидова цеви. Избор начина калибрисања утиче на напрезања у зиду цеви, и ако унутрашњим калибрисањем добијамо повољније резултујуће напоне у цеви, само у посебним случајевима се примањује [2].

2.5.1 Спољашње калибрисање

Спољашње калибрисање састоји се од једне цилиндричне водом хлађене цеви за калибрацију кроз коју се провлачи још пластични, цревно обликован материјал који излази из алата. Контакт који је потребан да би се остварила размена топлоте, измађу екструдираног црева и калибрушуће цеви, остварује се најчешће помоћу вакуума. На слици 33 приказани су изгледи вакуум калибратора различитих димензија. Предности вакуум калибратора је и у слободној дужини цеви. Унутрашња површина калибратора, код прераде ПВЦ-а је глатка, евентуално полирана или благо охрапављена, док је код прераде полиолефина темељно охрапављена. Величина храпавости зависи од димензија цеви. Калибратори су смештени непосредно иза алата за обликовање цеви, а на самој воденој кади (купатилу) [2].



Слика 33. - Изглед вакуум калибратора

Водена купатила постављају се у низу, једно иза другог, при чему је дужина сваког 3÷6 метара, изглед једног таквог дато је сликом 34. За различите типове материјала потребно је обезбедити различите дужине купатила и температура воде. Апсолутни притисак у купатилу при изради цеви варира, а најчешћи је од 0,2 до 0,4 бара, али може бити и већи [2].



Слика 34. - Водено купатило (када)

2.6 Уређај за извлачење профила

Да би се омогућио континуитет процеса израде цеви неопходно је да се охлађена цев континуално креће истом брзином, која је задата. Овај задатак има уређај за транспорт екструдираних цеви - вучник, слика 35.



Слика 35. - Уређај за вучење цеви

Одговарајућу силу повлачења могуће је добити мењањем дужине захвата, јер постоје ограничења притисака гусеница на цеви. Са једне стране постоји опасност да се деформише профил цеви а са друге да дође до повећаног хабања потпорних профила и ланчаних вођица. Из поменутих разлога дужина захвата ланчано-гусеничарских повлакача зависи од силе повлачења и креће се од 700÷2500 mm. Две траке притискају цеви, вуку је захваљујући фрикционим површинама. Брзине трака се крећу у

зависности од димензија цеви и врсте материјала, од $0,5 \div 10 \text{ m/min}$. Брзина повлачења директно утиче на дебљину зида цеви који је уз спољашњи пречник најважнија димензија [2].

2.7 Гравиметријски уређај

Усклађивање брзине повлачења готове цеви у уређају за транспорт готових цеви, и брзине кретања растопљене масе из алата за обликовање профила цеви, тј. екструдера, врши гравиметријски уређај. То је уређај који врши упоређивање сигнала добијених из система и задатих вредности, брзине кретања цеви, притиска, температуре у цилиндру екструдера, и на директан начин утиче на дебљину зида цеви. Ако на пример, дође до пада напона у мрежи електричне енергије, екструдер ће за неку величину променити своје параметре, што ће утицати на промену брзине кретања цеви што се опет одражава на дебљину зида цеви која мора бити у задатом опсегу. Гравиметријски уређај број обртаја пужа у минути претвара у метре у минути и метре на час и врши стално упоређење са брзином вучења која је у метрима у минути и прилагођава брзину вучења задатим вредностима, да би се добила прописана дебљина зида цеви [2].

2.8 Уређај за означавање цеви (штампач)

Овај уређај (слика 36.) исписује на спољашњем зиду цеви потребне податке, а то су димензије цеви, номинални притисак, стандард у складу са којим се врши производња, и наравно име произвођача који је израдио цев.



Слика 36. – Штампач за натпис на цевима

2.9 Уређај за намотавање цеви

На крају линије за екструдовање пластичних маса налази се уређај за намотавање (слика 37), ако то материјал и димензије цеви дозвољавају. Овај уређај налази се на крају линије за израду цеви:

- за водовод од HDPE PE-100,
- за водовод од HDPE PE -80,
- флексибилне-дренажне цеви од HDPE/LDPE,
- једнослојне електроизолационе ребрасте цеви за каблове,
- флексибилне вентилационе цеви .

Овакав начин складиштења је економичнији са становишта рационалног коришћења простора, али се брже и квалитетније полажу у земљу машинским путем, што омогућава овакав начин складиштења.



Слика 37. - Намотавање цеви у котур

2.10 Уређај за отсецање

Уколико се ради о крутим цевима и није могуће намотавање на котуре неопходна је машина за отсецање цеви на стандардну дужину.

2.11 Погонска јединица

Функцију погонске машине код екструдера готово искључиво има електромотор. Број обртаја код конвенционалних једнопужних машина је између 10 и 250 обртаја у минути, а у зависности је од промера пужа. Двопужни екструдери раде са битно мањим бројем обртаја. Пораст пречника екструдера изазива повећање момента који је потребан да се систем покреће, а самим тим повећава се и потребна погонска снага.

Да би се постигли што бољи резултати потребно је имати што приближнији број обртаја пужа, броју обртаја задатом технолошким поступком. То захтева што је могуће више бројева обртаја на излазу (пужу). Најидеалније решење је континуални преносник.

Најбоље решење погона показали су трофазни паралелни електромотори снаге до 70 kN. Међутим, уколико имамо потребу за већим моторима или нека су то мотори који ће давати мању снагу, али са специјалним захтевима, онда треба користити паралелне моторе на једносмерну струју са тиристорским напајањем. Номинални обртни момент ових мотора је приближно константан као и обртни момент који је потребан пужу да би транспортовао материјал [2].

3. ПОДЕЛА ЕКСТРУДЕРА

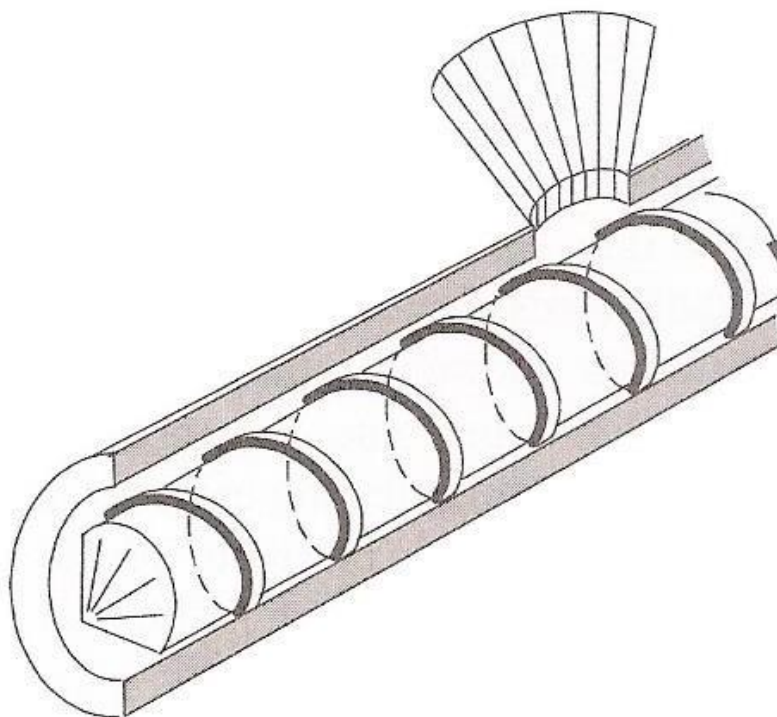
Подела екструдера се може извршити према различитим критеријумима, као нпр:

- Према конструкцији цилиндра
- Према стању доведеног полимера
- Према начину загревања полимера

3.1 Подела екструдера према конструкцији цилиндра за топљење

Када се говори о подели екструдера према конструкцији цилиндра за топљење, заправо се говори о различитом принципу транспорта полимерне, истопљене масе. Тако постоје изведбе с једним пужним транспортером, с више пужних транспортера (најчешће два) или клипни екструдери [6].

Код једнопужних екструдера (енгл. Single Screw Extruder) транспорт растопљене масе остварује се ротацијом пужног транспортера унутар цилиндра за топљење, како је приказано на слици 38. Ово је најчешће коришћени тип екструдера [6].



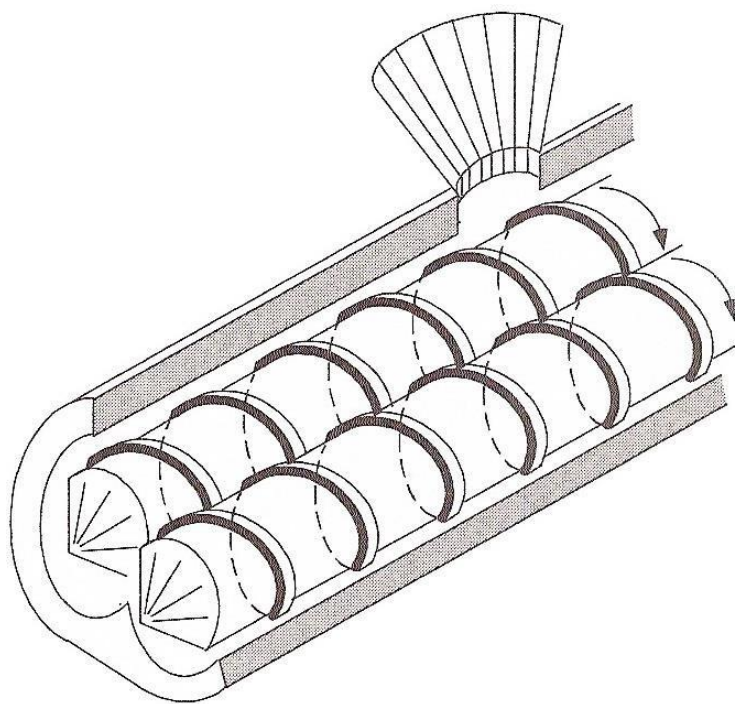
Слика 38. – Једнопужни екструдер [6]

Транспортовање растопљене масе код вишепужних екструдера (енгл. Multi-Screw Extruder) остварује се ротацијом више пужних транспортера унутар цилиндра за топљење. Од вишепужних екструдера најчешћи је онај с два пужа (енгл. Twin Screw Extruder) који су смештени један до другог. Код овакве изведбе пужни транспортери могу ротирати у истом смеру (енгл. Co-Rotating Twin Screw Extruder) или супротном смеру (енгл. Counter-Rotating Twin Screw Extruder). На слици 39. приказан је двопужни истосмерни екструдер с паралелним вретенима [6].

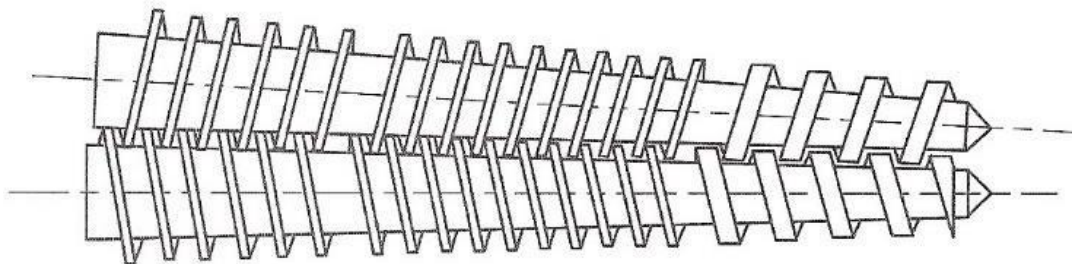
У пракси се чешће користе супротносмерни екструдери због бољих карактеристика транспортовања масе у односу на истосмерне. Пужни транспортери такође могу бити паралелни или конични. На слици 40. приказан је двопужни супротносмерни екструдер с коничним вретенима.

Екструдери с два пужа могу се користити при великим бројевима обртаја (200 – 500 о/мин), најчешће за мешање, а могу се користити и при малим бројевима обртаја (10 – 40 о/мин), најчешће за екструдирање профила [6].

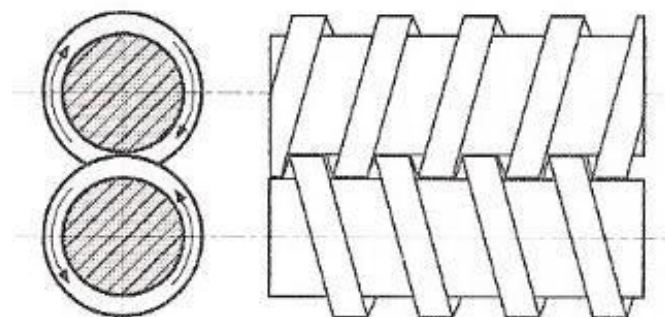
Још један од параметара који су битни код двопужних екструдера је мера међусобног захвата пужних транспортера. Тако постоје пужни транспортери с тесним захватом (слика 41.), пужни транспортери с делимичним захватом (слика 42.) и незахваћени пужни транспортери (слика 43.). Најчешће се користе пужни транспортери са захватом (тесним или делимичним) због боље карактеристике мешања растопљене масе. Међутим, незахваћени пужни транспортери имају пуно већи однос L/D (и преко 100:1) у односу на пужне транспортере са захватом (до 50:1) због тога што нема проблема повезаних с међусобним додиром два пужа [6].



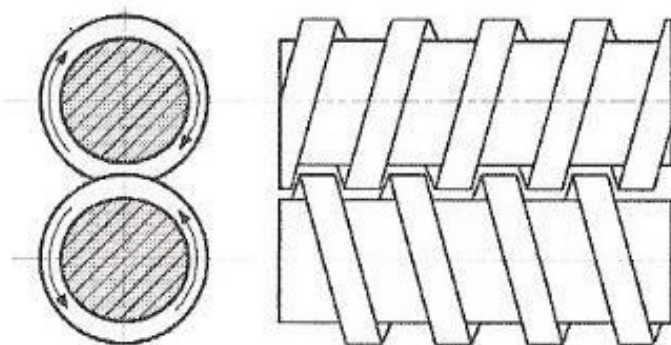
Слика 39. – Двопужни истосмерни екструдер са паралелним вретенима [6]



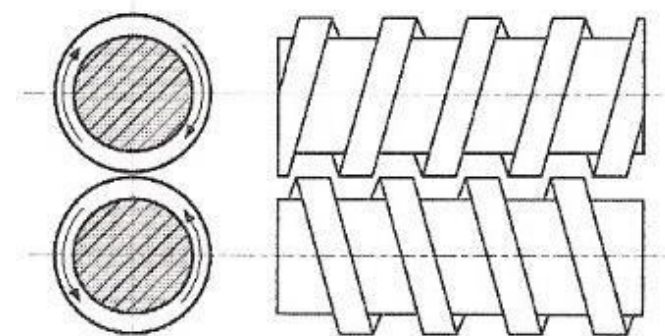
Слика 40. – Двопужни супротносмерни екструдер са коничним вретенима [6]



Слика 41. – Двопужни супротносмерни екструдер са вретенима са тесним захватом [6]



Слика 42. – Двопужни супротносмерни екструдер са вретенима са делимичним захватом [6]



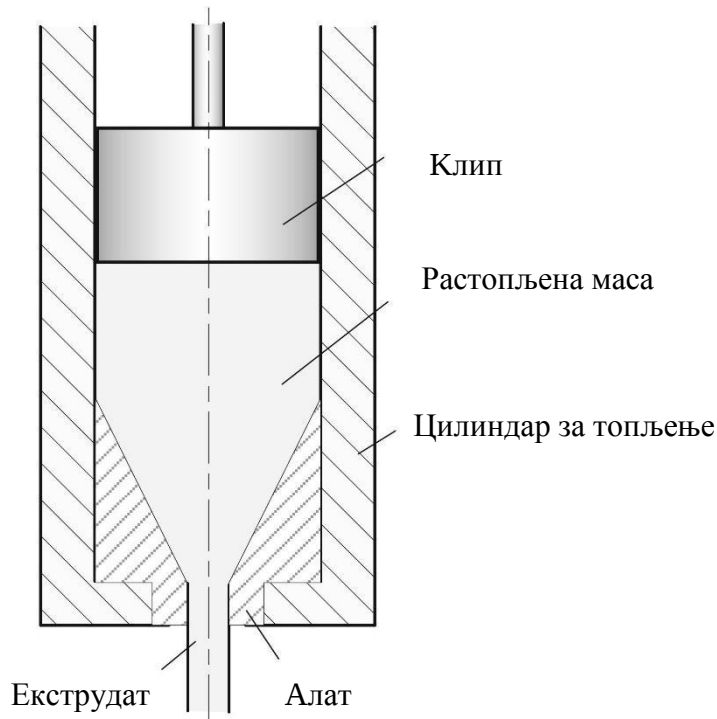
Слика 43. – Двопужни супротносмерни екструдер са незахваћеним пужним вретенима [6]

Клипни екструдери протискују полимерну растопљену масу кроз алат помоћу клипа. Овакви екструдери имају врло добре карактеристике транспортовања материјала и могу развити врло високе притиске, али им је брзина истискивања релативно мала (25 – 75 cm/h), као и њихов капацитет топлјења, због чега се користе за посебне врсте пластике попут Поли-тетра-флуор-етилена (енгл. Poly-tetra-fluoro-ethylene, PTFE) и Поли-етилена врло велике молекуларне тежине (енгл. Ultra- high-molecular-weight-polyethylene, PE-UHMW). На слици 44. приказан је шематски приказ клипног екструдера [6].

Сингл клипни екструдери

Ови екструдери користе се за обликовање малих делова и у специјалним случајевима код полимера ултра високе молекуларне тежине, за поменуте полиетилен РЕ-UHMW и PTFE. Ови екструдери могу да изведу и до 250 ходова у низу, а раде са притисцима и до 300 бара, када могу да врше сабијање и у хладном стању [3].

Такође се користе за израду делова од ПТЕ чије честице могу бити мање од 1,2мм.



Слика 44. – Шематски приказ клипног екструдера [3]

Вишеклипни екструдери

Главни недостатак клипних екструдера је периодично извођење циклуса екструзије, тј. немогућност одвијања континуалног истискивања. Да би се овај проблем превазишао вршени су разни покушаји. Њестон је дизајнирао екструдер са четири цилиндра – два за пластификацију, а два за пумпање растопљеног полимера. Другу конструкцију направили су Уи и Феунер која се састоји од два цилиндра у V-распореду. Чврсти полимер из цилиндра се убацује у заједнички радни цилиндар у коме се налази вратило за пластификацију. Код ове машине могуће је остварити континуитет рада. Вратило може имати хеликоидни канал, или може бити замењено са пужем, те у том случају клипови и њихови цилиндри служе само за пуњење главног цилиндра [3].

3.2 Подела екструдера према стању доведеног полимера

Према стању доведеног полимера екструдери се деле на две врсте:

- Екструдери код којих се полимери преводе из чврстог стања (нпр. полимерне грануле или прах) у течно стање у самом цилиндру за топљење. Ови екструдери су данас преовлађујући.
- Екструдери код којих се полимер доводи у екструдер у већ вискозном стању, који је у такво стање доведен омекшавањем или растапањем.

3.3 Подела екструдера према начину загревања полимера

Према начину загревања полимера екструдери се деле на политропне и адијабатске екструдере.

Код политропних екструдера топлота се доводи грејачима и претварањем механичког рада трења у топлоту (дисипацијска топлота).

Политропним екструдерима прерађују се пластомери, те им пречник пужног вијка D износи 15 до 300 mm, а дужина пужног транспортера од 15D до 40D. Бројеви обртаја код термички неосетљивих пластомера су од 0,5 до 0,8 m/s, док су код термички осетљивих пластомера као што су крути поли-винил-хлорид (енгл. Poly-vinyl-chloride, PVC), поли-метил-метакрилат (енгл. Poly-methyl- methacrylate, PMMA), акрилонитрил-бутадиен-стирен (енгл. Acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS), PE-UHMW од 0,15 до 0,3 m/s.

Код прераде каучукових смеша пречник пужног транспортера D може бити до 250 mm и дужина пужног транспортера је од 12D до 24D за случај увлачења хладних трака, док у случају увлачења топлих трака пречник пужног транспортера D може бити од 350 до 600 mm.

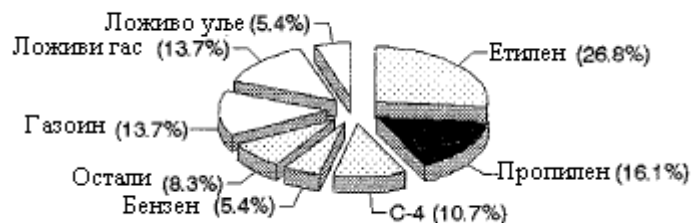
Адијабатски екструдери доводе топлоту потребну за прераду полимера искључиво претварањем механичког рада трења у топлоту (дисипацијска топлота).

Адијабатни екструдери погодни су за прераду савитљивих пластомера попут савитљивог PVC-а, поли-етилена (енгл. Poly-ethylene, PE) и поли-амида (енгл. Poly-amide, PA), те им дужина пужног транспортера износи до 10D, док су бројеви обртаја од 1 до 7 m/s. Грејачи се користе само за почетно загревање и одржавање температурног режима [4].

4. ОСОБИНЕ И ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРЕРАДЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА

4.1 Добијање полипропилена

Полипропилен се производи из мономера пропилена, који се добија пиролизичком разградњом бензина у петрохемијским постројењима. Пропилен се затим транспортује до постројења за полимеризацију где се пречишћава до врло високе („полимерне“) чистоће, након чега се може полимеризовати [10].

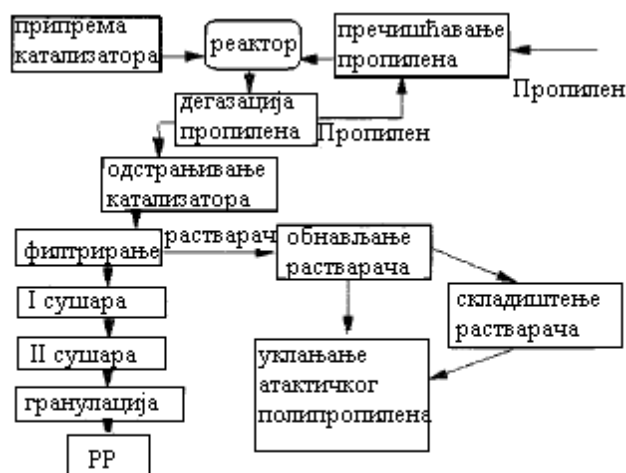


Слика45. - Продукти пиролизичке разградње бензина [10]

Данас се полипропилен добија полимеризацијом на неколико начина као што су: полимеризација у суспензији, у течној и у гасној фази. Вероватно ни једно подручје технологије производње полимера није толико зависно од развоја катализатора као што је развој полипропилена. Од типа катализатора зависи технологија производње, принос и квалитет полимера [10].

Код сваког од доле описаних технолошких процеса постоје неколико варијанти због различитих система катализатора.

Полимеризација у суспензији (слика 45.) је најстарија технологија добијања полипропилена. Назива се још и класичном производњом. Поступак се одвија



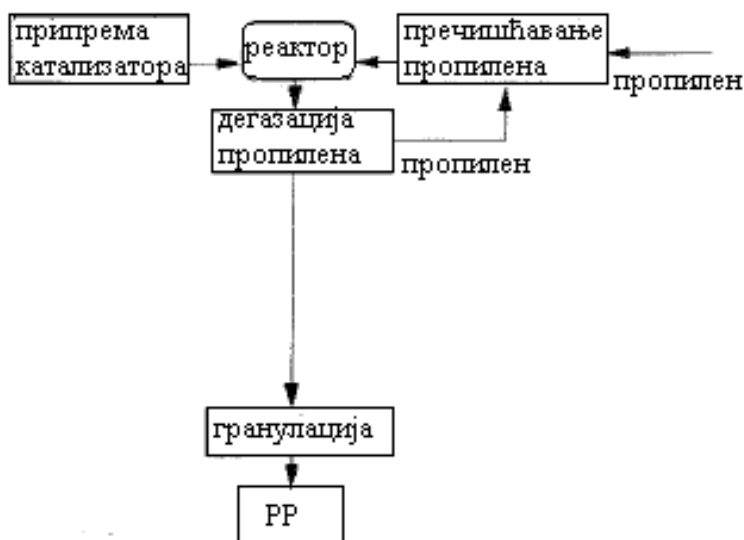
Слика 45. - Полимеризација у суспензији

континуално или дисконтинуално. Полимеризациони медијум је инертни растварач (н-хептан или нискооктанске фракције бензина), који одводи топлоту реакције. Реакција се одвија у инертној атмосфери. Услови полимеризације су благи, при 70-80 °C о притиску од 0,5-1 Мпа. Након полимеризације, један литар растварача садржи 150-300 g полипропилена у виду ситног праха. Катализатор се након полимеризације неутралише помоћу алкохола (метил, етил или изопропил). Затим се помоћу воде

довршава одвајање остатка катализатора. Следаћа фаза је центрифугирање полимера из растварача и двостепено сушење полимерног праха у флуидизационим сушарама врелим инертним гасом. Потом се прах хлади и транспортује у силосе одакле се умешава са разним стабилизаторима, пуниоцима и другим адитивима, а затим се гранулише. Из суспензије се помоћу свежег растварача издваја атактички полипропилен, као и фракција стереоблок кополимера који обично има 3-6 % тежине. Из раствора се овај полимер издваја обично отпаривањем растварача [10].

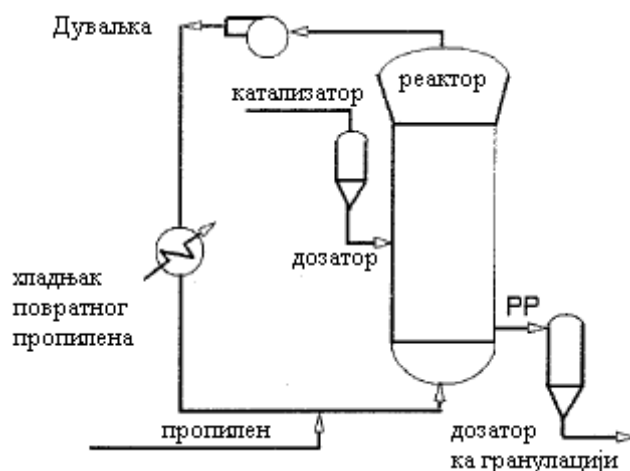
Полимеризација у маси се одвија у течном мономеру или течној пропан-пропилен мешавини при 70-80°C и притиску од 2,7-3 Мра.

При полимеризацији у маси концентрација мономера је око три пута већа него при



Слика 46. – Шема полимеризације у маси [10]

полимеризацији у суспензији, због чега је знатно већа и брзина реакције, па је потребно сразмерно мање катализатора. Из наведених разлога није потребно издвајати остатке катализатора и атактичке фракције. Директно се синтезује 94-95% полимера у једном проласку кроз реактор. Наравно због одсуства растварача нема пречишћавања растварача и лаксе је сушење, чиме се смањује и потрошња паре. Мање је улагање, чак до 30 % укупне вредности [10].



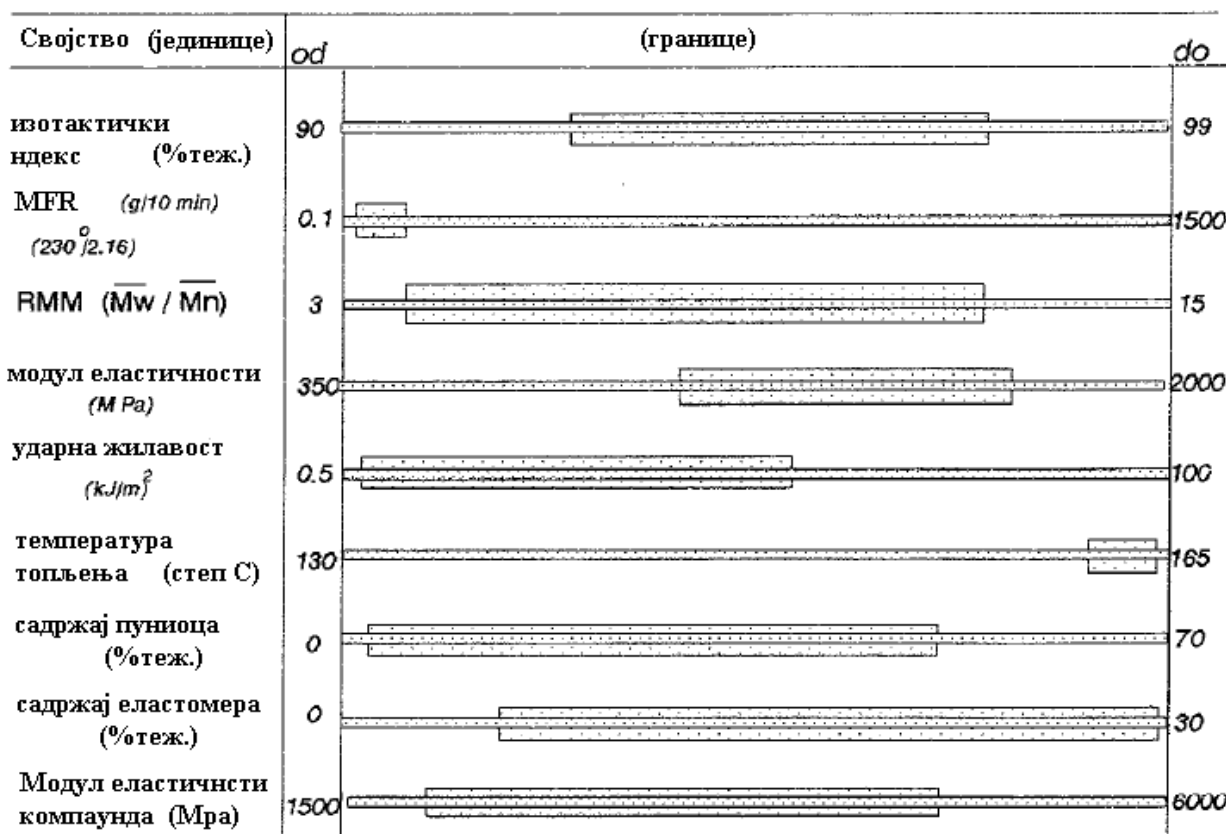
Слика 47. – Добијање полипропилена у гасној фази [10]

Трећи интересантан комерцијални поступак добијања полипропилена се врши у гасној фази, на универзалној опреми за полимеризацију пропилену и етилена. Полимеризација је у флуидоизованом слоју праха полимера, у гасовитом пропилену. Добија се углавном изотактички РР. Уклањање катализатора и атактичког РР није потребно. Опрема је малих димензија у односу на класичну полимеризацију у суспензији, а сходно томе и потрошња енергије је мала [10].

4.2 Технолошка својства хомополимера и кополимера

Полипропилен хомополимер се производи у више од педесет различитих специјализованих типова материјала код једног произвођача. Мењајући својства полимера у процесу компаундирања и при производњи композита, добијају се материјали који својим својствима, у специфичним захтевима, успешно замењују PS, ABS, PVC, HIPS, PA, POM, итд [10].

Захваљујући различитим технологијама полимеризације полипропилена, добијају се производи са релативно широким распоном својстава. Комерцијално се производе типови РР-а са MFR-ом од 0,1 па све до 1500 г/10мин, мада је најчешћи распон од 0,2 до 30 г/10мин.



Слика 48. - Распон могућих и најчешће коришћених својстава полипропилена [10]

Оваква разноликост јефтиног полимерног материјала и његова прилагодљивост модификацијама уз могућност високе хемијске отпорности, допринели су веома разноврсној примени полипропилена.

4.2.1 Технолошка својства полипропилена хомополимера

Полипропилен је безбојни полимер без карактеристичног мириса и укуса. Средња бројна моларна маса (M_n) комерцијалних производа се креће од 75 000 до 200 000, средња тежинска (M_w) износи 300 000 до 700 000. Расподела моларних маса (M_w/M_n) за комерцијалне производе се креће од 3 до 7 [10].

Изотактички полимер је практично нерастворан у кључалом н-хептану. При повишеним температурама делимично се раствара у ароматичким и хидроароматичким угљоводонцима. Под дејством јаких оксидационих средстава (концентрирана сумпорна или азотна киселина, самих или у смеси са калијумбихроматом) црни и деградира. Вода (и при високим температурама, све до 130°C) нема утицаја на стабилизовани полипропилен [10].

За полипропилен карактеристична је ниска пропустиљивост гасова и пара.

У танким филмовима је практично прозиран (прозирнији од полиетилена).

Лоше проводи топлоту.

Механичка својства полипропилена одређује структура. Одликује га висока отпорност на вишеструка савијања. Има релативно високу ударну жилавост, која расте са повишењем моларне масе. Смањењем температуре, ударна жилавост се смањује.

Механичка својства при ниским температурама јако зависе од степена оријентације: оријентисане траке и влакна губе савитљивост при температурама знатно нижим од температуре остакљивања (око 100 °C).

Производе од полипропилена одликује релативно добра отпорност на абразију, која се може поредити чак са полиамидом. Отпорност на абразију се повећава са повећањем моларне масе и мало зависи од стереорегуларности (садржаја фракција других структура полимера у укупној маси). Због неполарне структуре, има лошу адхезију и једини прави начин сједињавања детаља од полипропилена је заваривање.

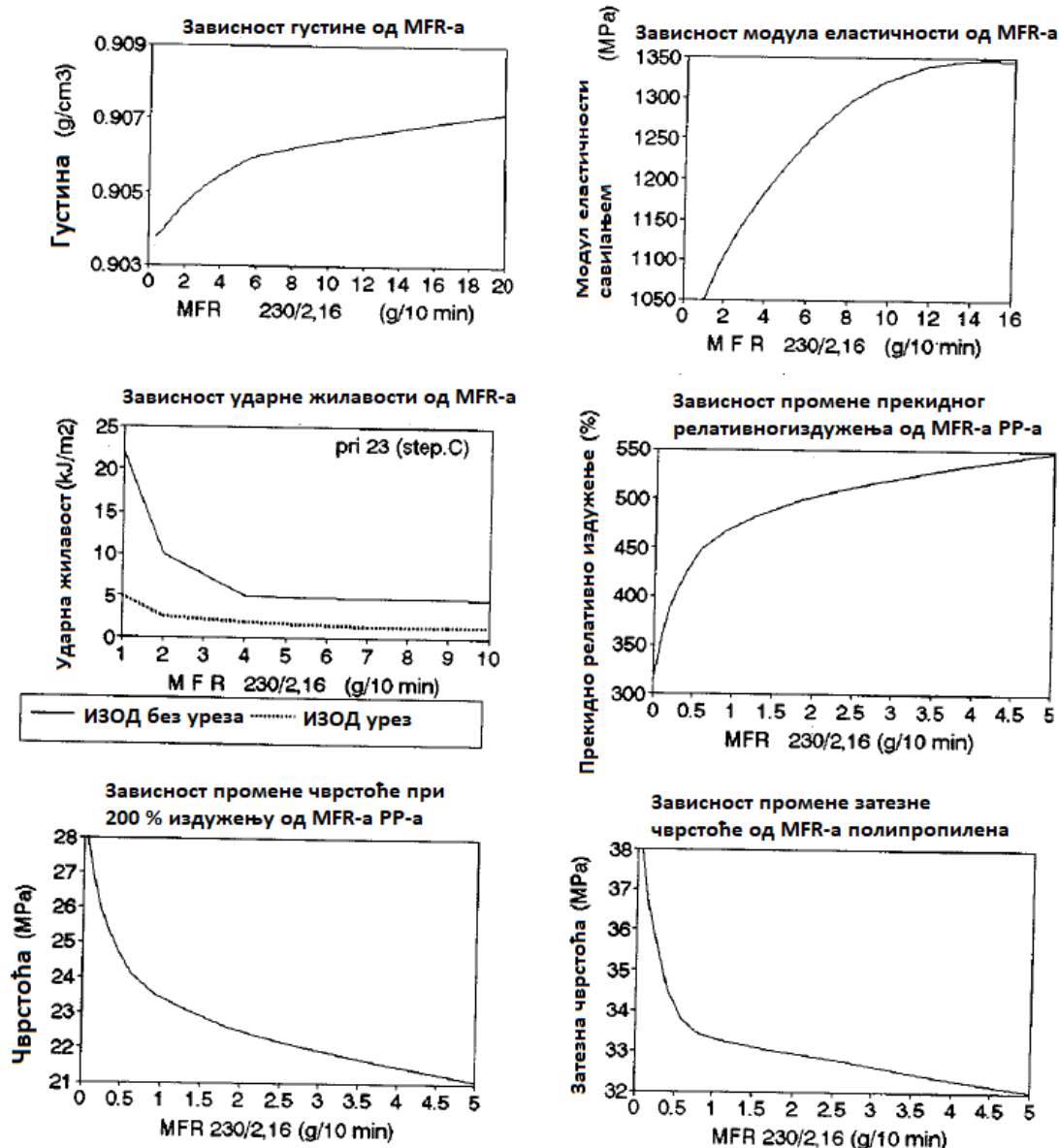
Полпропилен је добар диелектрик. Електроизолациона својства практично се не мењају ни након дужег третмана у води, а диелектричка пробојност не зависи од учесталости електромагнетног поља и температуре.

Физиолошки је исправан.

Термичка разградња полипропилена при загревању у одсуству ваздуха се примећује тек при температури од 300 °C, тј. знатно вишој од температуре примене. Гасовити производи термичке разградње полипропилена су углавном 2-метилпентен-1, пентен-1 и пентен-2.

У основном ланцу полипропилена сваки други угљеников атом је терцијални због чега полимер лако оксидише при температурама вишим од 100°C или под дејством УВ или гама зрачења. Разлагање се уочава смањењем моларне масе, затезног и прекидног издужења. Значајнија разградња чини полимер кртим. Крајњи производ разградње у ваздуху су у основи формалдехид, ацеталдеид, мравља киселина, вода, угљенмоноксид и угљендиоксид [10].

Својства полипропилена доста зависе од моларних маса. Индиректни показатељ моларних маса је масени проток растопа (MFR). Већој моларној маси одговара мања вредност MFR-а. Зависност неких својстава полипропилена од MFR-а је дата на наредним дијаграмима [10].

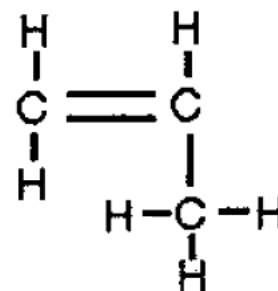


Слика 49. - Зависност својстава полипропилена од MFR-a [10]

4.3 Структура полипропилена

Полипропилен се добија полимеризацијом пропилена (слика 50.) као основне јединице у макромолекулском ланцу. Сама структура мономера пропилена указује на могућност добијања продукта различите стерне конфигурације, а засноване на симетрији ланчаних остатака[10].

Структура пропилена



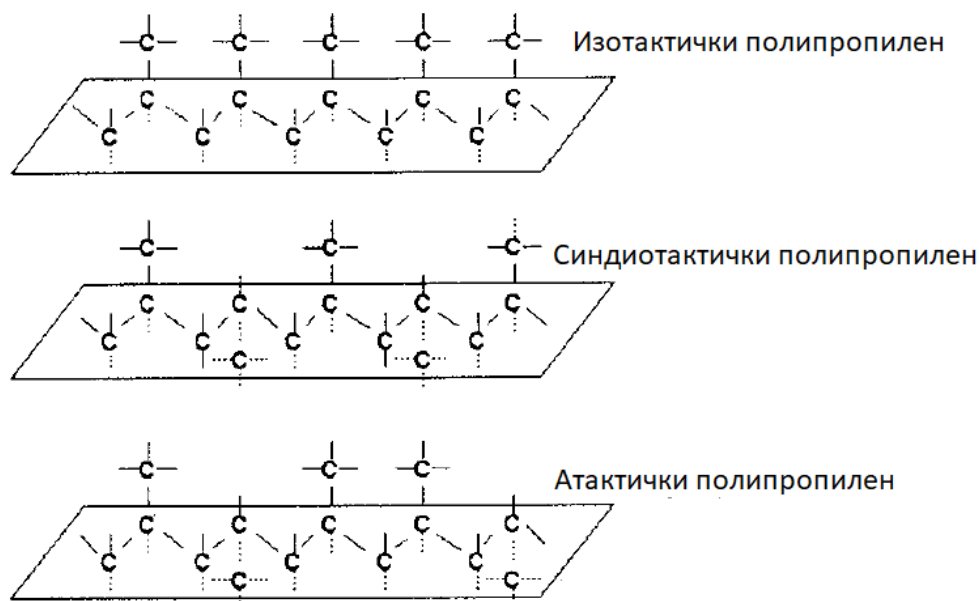
Слика 50. – Структура PP

4.4 Конфигурација и конформација ланца

Просторни распоред мономера у ланцу, односно, просторна уређеност, назива се конфигурација. Ако до реакције полимеризације дође по стерео селективном механизму добија се изотактички полимер у коме су метил групе (CH_3) постављене на исту страну полимерног ланца.

Ако се полимеризација одиграва без неког реда у полимерном ланцу, добија се атактичка структура, аморфна маса са нижим интервалом топљења, густином, већом растворљивошћу, итд.

Трећи детектовани тип структуре, која је стереорегуларна, назван је синдиотактичким типом јер су алкил групе наизменично распоређене са обе стране полимерног ланца [10].

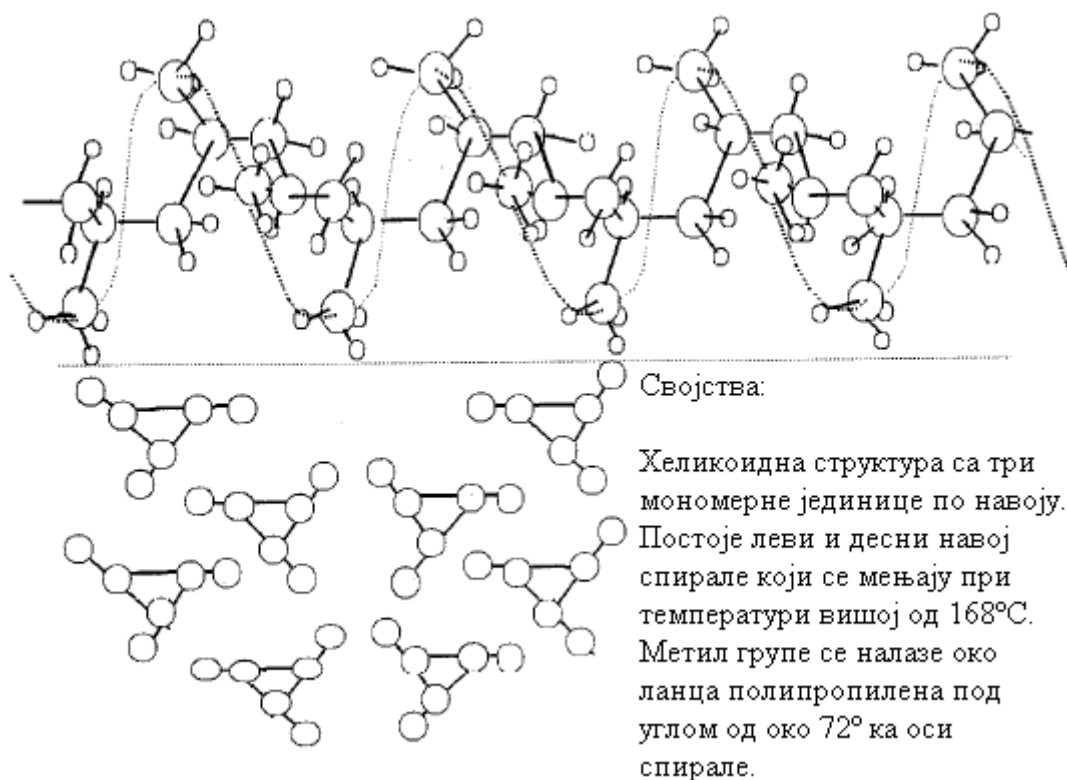


Слика 51. - Конфигурација полипропиленског ланца приказана у равни [10]

Распоред мономера на сликама горе је приказан у једној равни. Распоређене са исте стране равни метил групе су близу једна другој и међусобно стварају стерне сметње. Сваки други угљеников атом је напрегнут са асиметричним везама којих има три врсте (две везе типа $\text{C}-\text{CH}_2$, а по јена $\text{C}-\text{CH}$ и $\text{C}-\text{H}$). због чега је и нестабилан. Ради смањења напона макромолекулски ланац се увија у простору.

Структура је просторна спирала (хеликоидна) са три мономерне јединице по навоју. Инертне метил групе практично „обавијају“ макромолекул штитећи га од хемијских реагенаса. Због тога је полипропилен хемијски инертан, а осетљив на зрачење (UV, IC гама зраке...). На основу такве структуре (која лако кристалише), објашњава се и повећање интервала топљења ($165-171^\circ\text{C}$), у односу на полиетилен који одликује нижи интервал топљења ($130-132^\circ\text{C}$) [10].

Из разлога различите покретљивости појединих сегмената у ланцу, (због различите конфигурације) полипропилен одликује конформација у простору (слика 52.).



Слика52. - Конформација полипропиленског изотактичког ланца, приказана у простору [10]

4.5 Кристална структура полипропилена

Изотактички полипропилен кристалише у више кристалних структура што највише зависи од термичког третмана. Због тога је, при производњи предмета од полипропилена, од изузетног значаја и термичка обрада у технолошком процесу производње. Чешћи видови кристалне структуре су:

МОНОКЛИНИЧНА – Најраспрострањенија и термички најстабилнија структура. Теоретска густина је 0,936 g/cm³. Температура топљења око 162 °C. Представља алфа облик.

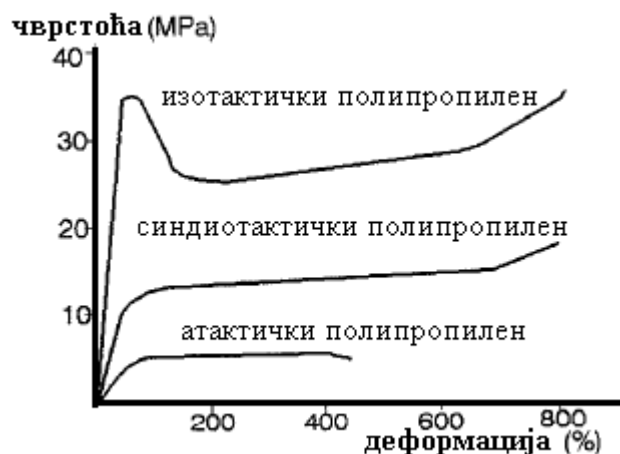
ХЕКСАГОНАЛНА – Ствара се при кристализацији из растопа при температури од 130 -160 °C. Густина износи 0,88 g/cm³. При спором грејању прелази у моноклиничку структуру. Представља бета облик. Максимално је заступљена до 15% тежине у нуклеираном полимеру. Температура топљења 148 °C.

ТРИКЛИНИЧКА – Образује се при високим притисцима.

СМЕКТИЧКА (паракристална) – Образује се при нискотемпературној оријентацији и брзом хлађењу. Сегменти су истегнути паралелно на растојању од око 6,5 микрона. Преази у моноклиничку структуру при температури вишој од 15 °C.

Атактички полипропилен који је заступљен у РР гранулату (1-3 % тежине) може да кристалише минимално, односно, само 10 до 15 % тежине. Остатак је аморфна фаза.

Механичка својства производа од полипропилена се разликују из разлога што се комерцијални типови полипропилена састоје приближно од 2-3 % тежине синдиотактичког, исто толико атактичког и изнад 93% тежине изотактичког полипропилена. Колики ће удео појединих структура полипропилена бити у производу зависи од типа полипропилена и произвођача, а затим и различитих примењених технологија производње. Процентуални удео изотактичког полимера у произведеној маси назива се изотактички индекс [10].



Слика 53. - Дијаграм чврстоћа – истезање за различите стереорегуларне облике полипропилена [10]

4.6 Својства полипропилена

Полимеризацијом се производе полимери са релативно широком расподелом моларних маса. Током и након полимеризације се може деловати на ширину расподеле, што има значајног утицаја на својства полимера. Због различитих варијанти полимеризације (у суспензији, маси, гасној фази и сл.) и различитих типова примењених катализатора, добијају се различити изотактички индекси, што такође доводи до различитих својстава полипропилена. Додајући набројаним одступањима квалитета и различите рецептуре стабилизације и модификације полимерне масе за различите примене, мењају се и својства добијеног полипропилена.

Својства овако добијеног полимера се морају испитати. Захваљујући својој надмолекулској и надсферулитној структури, јасно је да начин припреме узорка за испитивање има изразито висок утицај на резултате испитивања. Такође висок утицај имају и несавршености мерних инструмената.

Из набројаних разлога (а има их још), веома је тешко дати прецизне податке о својствима РР-а. Добијене податке појединих испитивања зато треба узети са резервом, јер су у већини случајева непоновљиви [10].

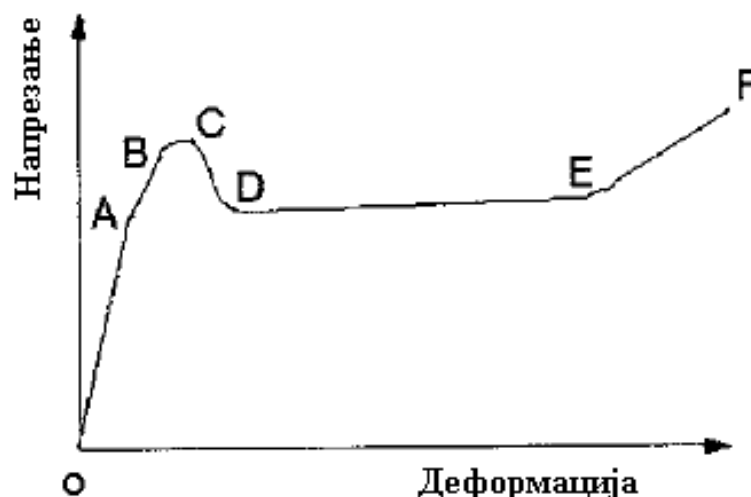
4.7 Механичка својства

Механичка својства полипропилена зависе од моларних маса, расподела моларних маса, али исто толико и од начина и услова прераде. Велику улогу у резултатима испитивања има термичка предисторија узорка, брзина и оптерећење, облик и димензија епрувете итд [10].

Најважнија својства полипропилена битна за практичну примену су: затезна својства, ударна жилавост, савојни модул еластичности, скупљање, тврдоћа и други.

Приликом истезања полипропиленског узорка може се запазити карактеристична крива са следећим подручјима:

- ОА – подручје пропорционалности
- ОВ – подручје еластичних деформација
- С – тачка попуштања
- ДЕ – подручје хладних течења
- Ф – кидање епрувете



Слика54. - Дијаграм деформација при истезању [10]

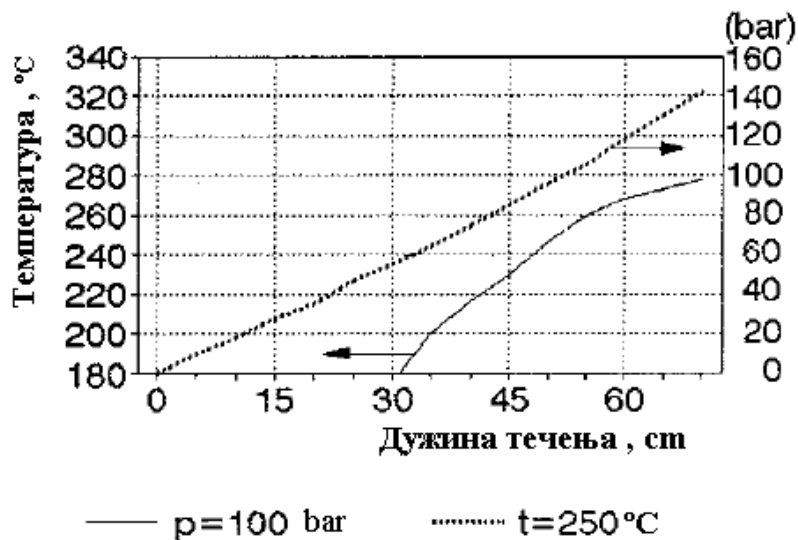
На механичка својства полипропилена изузетан утицај има кристална структура материјала. Тек након седам дана одлежавања узорка (на собној температури) добијају се поновљиви резултати. Разлог треба тражити у кристализацији надмолекулске структуре. У циљу елиминисања утицаја надсферулитне структуре која се најчешће манифестује унутрашњим замрзнутим напонима у појединим регионима, пре испитивања је потребно кондиционирати узорак при 140 °C у времену од два сата. Уколико се испитују избризгани облици за одређене намене, узорке треба кондиционирати да се не би изгубили дефекти који су присутни у производу, и тако добили лажни подаци о његовом квалитету [10].

4.8 Реолошка својства

Приликом течења полимера кроз шупљине алата, врши се напрезање полимера и настају деформације које зависе од напона смицања и брзине смицања. Проучавањем ових деформација бави се реологија.

У растопу макромолекули су у облику клупка. На уласку у капилару потисна сила изазива међусобно трење макромолекула и ланци се оријентишу у правцу течења растопа. Повећањем брзине смицања у капилари долази до потпуног оријентисања макромолекула. На изласку из капиларе брзина смицања пада, губи се оријентација макромолекула, који теже да се поново врате у склупчано стање. При томе долази до бубрења екструдата, које је израженије уколико су моларне масе веће.

Под условом да се мењају притисак и температура промениће се и вискозитет растопа, ондосно напон и брзина смицања, па ће растоп полипропилена другачије да тече, као што је приказано на слици 55 [10].



Слика55. - Спирални тест као функција температуре и притиска растопа [10]

Бубрење екструдата је однос пречника екструдата и пречника отвора алата кроз који се полимер екструдира. Настаје када оријентисани растоп излази из алата у коме су услови високих притисака и смицајних брзина, у нормалне услове. Тада долази до дезоријентације (скупљања у клупко) ланаца, што изазива бубрење.

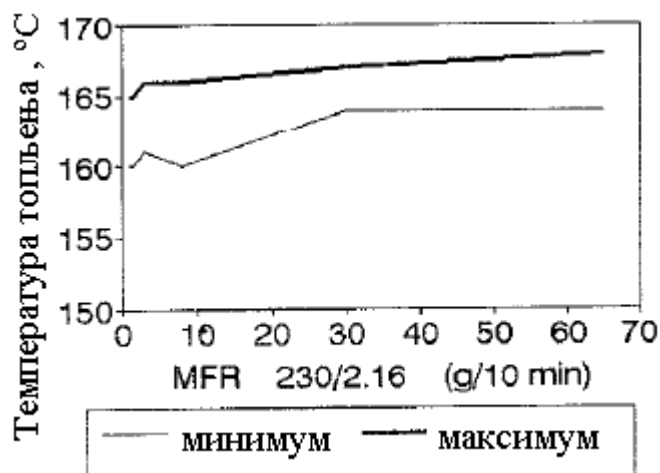
Лом екструдата није ретка појава, а настаје као последица врло високе моларне масе, недовољно хомогенизованог полимера, или широке расподеле моларних маса. Настаје у алату, при брзинама смицања вишим од оних при којима се полимерни растоп оријентише, што изазива неравномерни проток масе [10].

4.9 Топлотна својства

Познавање топлотних својстава полипропилена је изузетно значајно како за прераду, тако и за примену. Под топлотним својствима подразумевају се фазни и релаксациони прелази, топлотна постојаност, топлотни капацитет, топлотна проводљивост. За практичну примену интересантна је температура омекшавања, температурна граница употребљивости полипропилена, како и промена механичких својстава у зависности од температуре [10].

Температура топљења РР-а (моноклиничка модификација) износи око 166 °C. Под реалним условима ова температура се креће у интервалу од 160 до 172 °C. Топлота топљења је 10,9 kJ/mol, односно 260,4 kJ/kg.

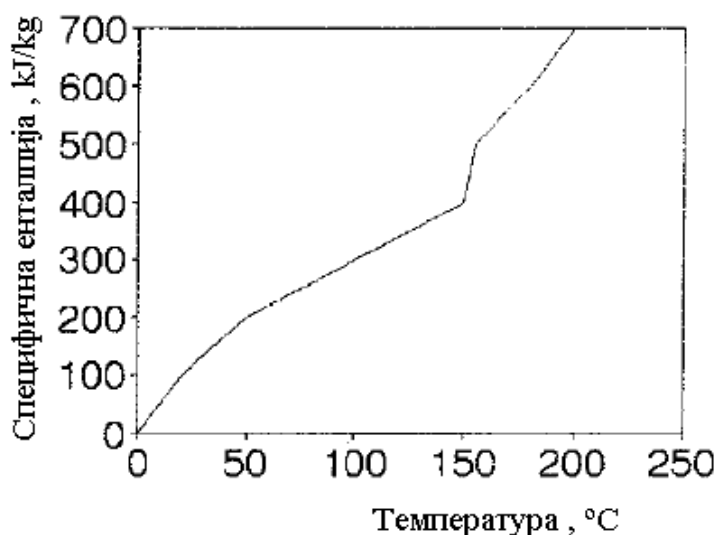
Полипропилен се може примењивати до температуре од 90 °C. Ако се у полимер додају посебни антиоксиданти, тада се полипропилен може трајно излагати температури до 120 °C [10].



Слика 56. - Температура топљења PP-а

Топлотна својства полипропилена се испитују убрзаним старењем узорка на два начина:

- Време индукције оксидације се испитује при температури омекшавања, а представља време за које полипропилен почиње да апсорбује кисеоник (започиње процес деградације, која је након тога врло брза, јер се развија по ланчаном механизму). Метода испитивања је ASTM 2445.
- Убрзано старење је метода (ASTM 2445) код које се тражи време потребно да се у топлотном ваздуху на површини испитне епрувете појаве микропукотине, односно испитује се тачка кртог лома.



Слика 57. - Топлотна својства PP-а [10]

Постоји више емпиријских метода за испитивање тачке омекшавања полипропилена. Најчешће се употребљава тачка омекшавања по VICAT-у са оптерећењем од 10 N. Метода одређује температуру при којој долази до одређеног утискивања специјално обликованог тела под дефинисаним оптерећењем у испитну епрувету. За полипропилен, тачка омекшавања креће се од 150 до 155 °C.

Температура топлотне дисторзије (Heat Distorsion Temperature „HDT“) се испитује под различитим оптерећењима, а најчешће је оптерећење на увијање од 0,46 (N/mm²). За полипропилен хомополимер HDT се креће у границама од 90 до 110 °C, што зависи

од MFR-a, изотактичког индекса и формулације адитива. За минерално пуњене компаунде добија се виша вредност температуре топлотне дисторзије у зависности од пуниоца или средстава за ојачавање [10].

Што се тиче доње границе употребљивости полипропилена, она зависи од MFR-a и код хомополимера се креће од -5 до -15 °C. У интервалу од 0 до -100 °C замрзавају се кретања надмолекулских структура и делова макромолекула, али као ефективна температура остакљивања може се сматрати -10 °C [10].

4.10 Хемијска и биолошка постојаност полипропилена

Полипропилен је изузетно отпоран на деловање животиња и бактерија. Ретки су микроорганизми који могу деловати на површину полипропилена. Њихово деловање може бити уочљиво само на влакнима, при чему се не мењају механичка својства влакана.

Испитивањем хемијске постојаности полипропилена директним контактом узорака са органским и неорганским хемикалијама, при собној температури, добијају се подаци да је отпоран на минералне киселине, базе, водене растворе неорганских соли, детерџенте, уља и гасове.

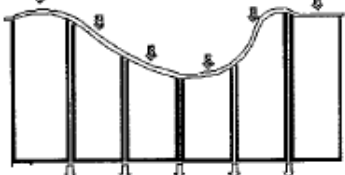
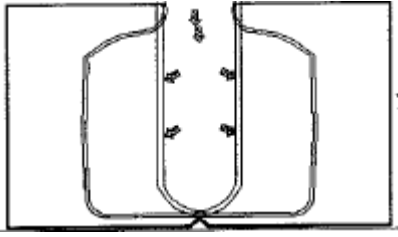
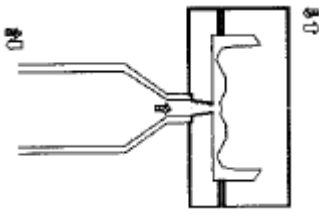
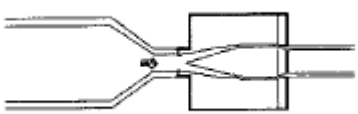
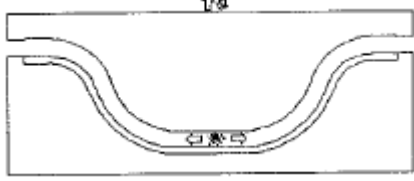
Веома оксидативне супстанце нападају полипропилен. То су: хидропероксиди, пушљива азотна киселина, халогени, концентрована сумпорна киселина и хлорсумпорна киселина.

На изотактички полипропилен делују и органски растварачи: алифатски, ароматски и угљоводоници који дифундују у полимер при повишеним температурама. У табели 1, дата је отпорност полипропилена на неке агресивне супстанце. Поред промене тежине мења се и боја узорка [10].

Супстанца	Промена тежине, %	
	23 °C	60 °C
Сумпорна киселина 98 %	-0,2	-0,2
Азотна киселина, пушљива	-0,1	
Натријумхипохлорит 20 %	0,1	-2,1
Газолин	4,8	6,6
Бензен	3,4	0,6
Ксилен	7,0	0,3
Метиленхлорид	5,5	1,6
Угљентетрахлорид	13,5	0,9
Терпентин	9,5	10,5
Трансформаторско уље	0,4	14,9

Табела 1. - Хемијска отпорност полипропилена при различитим температурама (промена тежине узорака након 30 дана излагања) [10]

4.11 Технологије прераде полипропилена

Процес	Употреба	Опис
Надпритисак  Вакуум	Чаше за јогурт, посуђе за јела, апликације за домаћинства, облоге за ауто индустрију итд.	Термоформирање Термопластична плоча се греје и помоћу вакуума прибија уз хладан алат где се хлади и очвршћава. Плоча се вади и обрезаје.
	Боце, Посуђе, Резервоари итд.	Дување У топлу термопластичну цев се под високим притиском убаци ваздух који је шири по димензијама алата. Алат се одмиче и отвара.
	Индустријски делови, кућишта, кућни апарати, вртне гарнитуре, итд.	Бризгање Истопљен термопласт се инјектира при високом притиску у хладан алат где очвршћава са веома прецизним димензијама. Алат с одмиче и отвара.
	Велике посуде, цистерне, балони за уље, итд.	Роталив Термопластични прах се убаци у топли ротирајући алат при чему се лепи на зидове. Затим се алат хлади и отвара.
	Плоче, цеви, филмови, траке, профили, влакна, итд.	Екструзија Растоп термопласта се уз помоћ пужног транспортера при високом притиску истискује кроз алат континуалним поступком, након чега се прецизно обликује у производ.
	Кутија за спајање, кућишта, расветна тела, плоче за обућарску или прехранбену индустрију.	Пресовање Термореактивне пластике, дурупласти и термопласти се греју и компримују у различитим алатима (плоче и др.) затим се хладе и ваде из алата.

Табела 2. - Могуће технологије прераде полипропилена [10]

Како је увом раду акценат на екструзији цеви од полипропилена, у дањем тексту биће нешто воише речи о тој технологији прераде.

4.11.1 Екструзија цеви

Технолошки процес екструзије цеви од полипропилена састоји се од припреме и умешавања масе, транспорта масе до екструдера, расподеле масе помоћу пужа (шнеке), калибрисања цеви, хлађења и сечења цеви и на крају муфовања.

Основ ове технике прераде састоји се у томе што се полипропиленски гранулат веома високих моларних маса екструдера на класичном екструдеру за полипропилен. Температура екструзије треба да је релативно ниска (не већа од 230°C), тако да се маса при изласку из екструдера не лепи.

Површина пресека места између цилиндра и пужа треба да је три пута већа од површине пресека прстена алата (зазор између трна и дизне). Прилазни канал се мора постепено сужавати у правцу паралелног дела алата како би се се одржао притисак и омогућило спајање струја растопа. Завршни паралелни део алата мора бити довољно дугачак да би се добила цев на којој неће бити видљиве уздужне линије. За цеви малог пречника дужина паралелног дела алата мора бити 20-25 пута већа од дебљине зида цеви, а око 30 пута већа за цеви пречника преко 50 (mm). Унутрашњи пречник алата треба да је 5-10 % мањи од жељеног спољног пречника цеви.

Препоруке димензија алата и калибратора за одређене спољашње пречнике цеви дате су у табелама 3 и 4.

Димензије алата:	Отвор алата: Пречник алата: Дужина алата:	1,1 део дебљине зида цеви 1,1-1,2 дела пречника цеви 3-4 пречника цеви
Димензије калибратора:	Пречник калибратора: Дужина калибратора:	1,04 дела пречника цеви 10-20 пречника цеви

Табела 3. - Препорука димензија алата и калибратора за цеви спољнег пречника 2" - 3" [10]

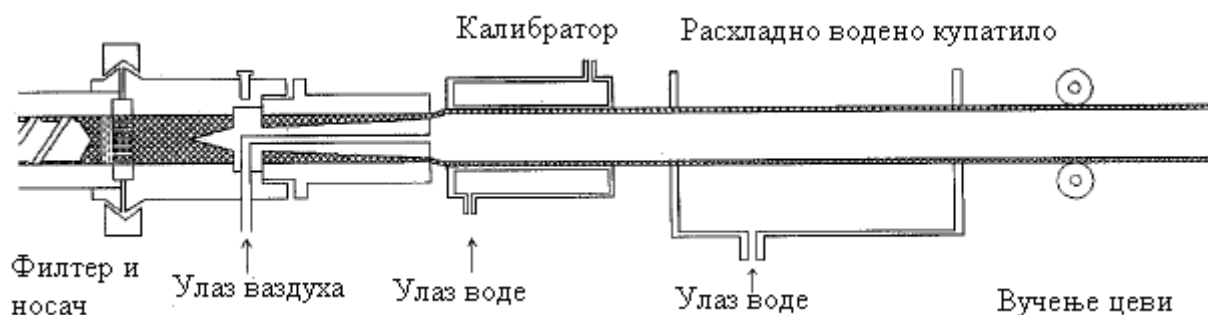
Димензија алата:	Отвор алата: Пречник алата: Дужина алата:	дебљина зида цеви 1-1,1 дела пречника цеви 2-3 пречника цеви
Димензије калибратора:	Пречник калибратора: Дужина калибратора:	1,02 дела пречника цеви 5-6 пречника цеви

Табела 4. - Препорука димензија алата и калибратора за цеви спољнег пречника изнад 3" [10]

Калибрисање цеви може бити унутрашње и спољашње. Спољашње калибрисање се постиже на два начина. Првим начином се прилегање цеви уз калибратор постиже повећањем унутрашњег притиска у цеви за 1 – 2 бар-а. Овим начиним се производе савитљиве, веома дуге цеви малих димензија. Када за хлађење мора бити довољно дугачка (најмање 3м, углавном око 6м), да се цев охлади, а дужина зависи од температуре воде за хлађење, брзине екструзије и димензије цеви.

Други начин за калибрисање спољашњег пречника цеви врши се помоћу вакуума. Овај тип калибратора је дуг око 250 до 600 (мм). Хлађење полимерне масе је прскањем воде на цев и на калибратор, у кади са подпритиском. Уређај за извлачење цеви мора осигурати константну брзину извлачења како не би дошло до варирања дебљине зида цеви. Код цеви већег пречника цеви се извлаче помоћу профилисаних точкића или

помоћу гусеничастог транспортера превученог гумом [10].



Слика 58. - Екструзија цеви са спољним калибрисањем

Ради отпуштања замрзнутих напона у цеви, цев се мора грејати у води температуре 90°C , у трајању око два минута по једном милиметру дебљине зида цеви.

Дебљина зида цеви се може прорачунати на основу познатог радног притиска и температуре. Један од важних фактора је и захтев за дуготрајношћу цеви под познатим условима примене. Између дебљине зида цеви и притиска постоји однос који се може представити на следећи начин [10].

$$S = \frac{p \cdot D}{2G + p}$$

Где су:

S- дебљина зида цеви (mm)

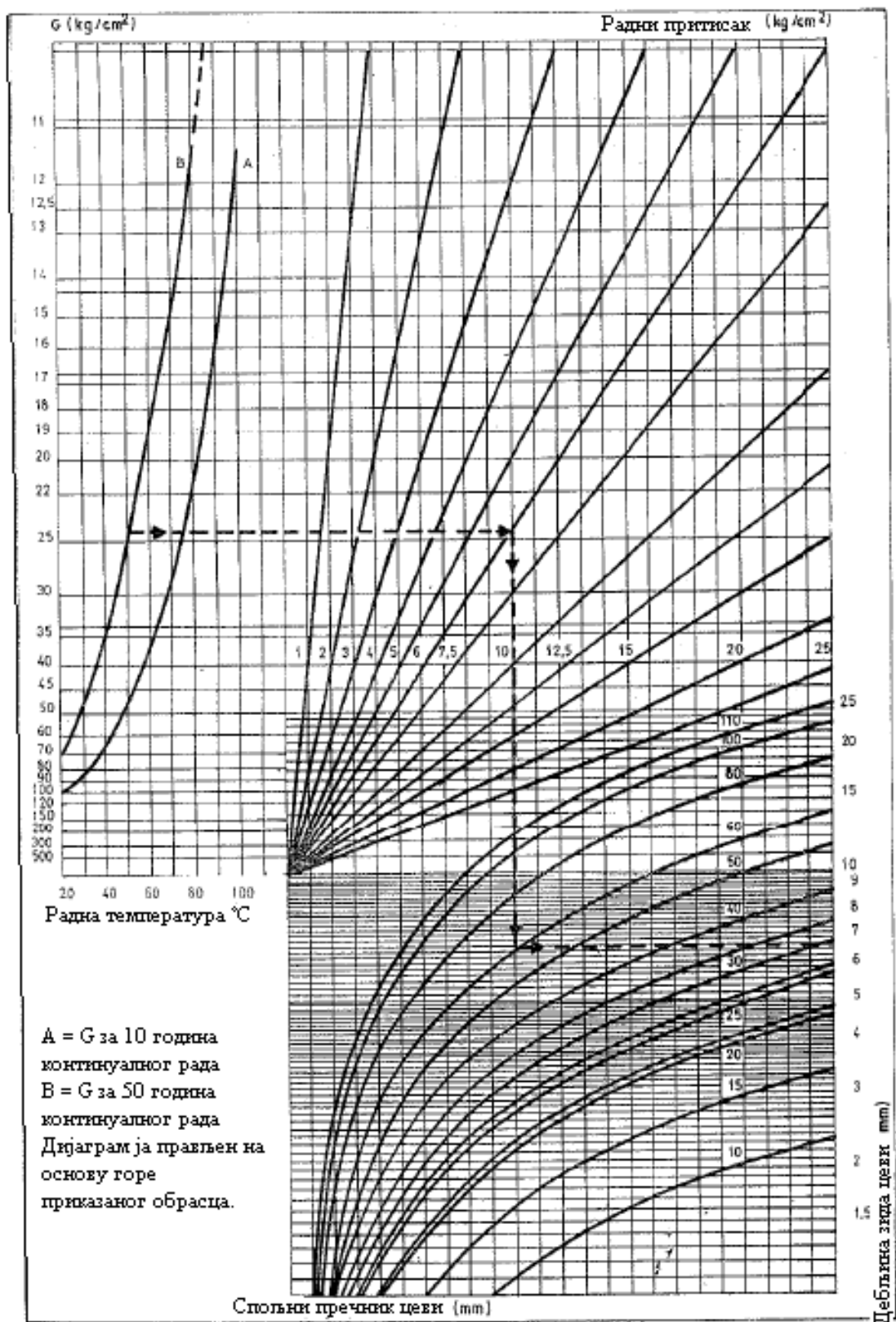
p- радни притисак (kg/cm^2)

G-дозвољено напрезање за употребљени материјал (затезна чврстоћа) (kg/cm^2)

D- пречник цеви (mm)

На основу овог обрасца формиран је дијаграм са препорученим вредностима дебљине зида за одређене пречнике цеви. Дијаграм је приказан на слици 59.

Треба поменути да су данас дебљине зида цеви за сваки пречник дефинисане одређеним стандардом. Конкретно полипропиленске цеви дефинише стандард EN1451.



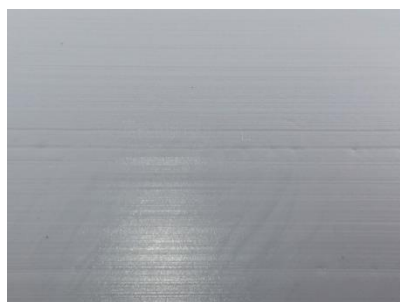
Слика 59. - Дијаграм за прорачун дебљина зида цеви (препорука) [10]

Код монтирања цеви потребно је знати колико ће цевовод мењати димензије при загревању и хлађењу. Уколико се не дозволи топлотна дилатација цевовода, може доћи до пуцања, што код уградње подног грејања може изазвати велике штете.

4. 12 Мане које могу настати на цеви приликом екструзије и начин отклањања (Табела 1).

Мана	Узрок	Начин отклањања
-Спољна површина цеви је хрпава	- Ниска температура растопа	- Повећати температуре на глави, а ако је потребно и температуре на шнеци (пужу)
-Правилне огреботине на спољној површини, линије дуж цеви (слика 60.)	-Пластике и ваљци у кади или вучнику оштећују цев -Лоше обливање воде на калибратору -Запрљан калибратор или дизна	-Проверити пластике и ваљке у кади или вучнику -Подесити обливање воде на калибратору -Очистити калибратор и дизну, уколико је потребно исполирати дизну
-Валовитост, таласаста неправилна испупчења унутар цеви	-Лоше обливање калибратора -Пулзирање растопа	- Подесити довод воде на калибратор или смањити темпер. -Смањити капацитет линије
-Правилна хрпаваост у цеви	-Прениска температура	-Повећати температуру екструзије
-Рупице по површини и по зидовима	-Влажна сировина -Ваздух	-Осушити гранулат -Смањити излазну брзину
-Кривљење цеви	-Неједнак зазор између трна и дизне -Лоше хлађење у кади -Цеви се искриве у транспорту до муферице	-Провера дебљине зида, подешавање зазора између трна и дизне -провера температуре воде за хлађење и рад прскалица
-Пецке унутар цеви (слика 61.)	-Велики проценат регранулата	- Смањити проценат регранулата (када се користи регранулат)
-Бели спољашњи слој	-Пробијање креде -Много експандера	-Смањити проценат компаунда у средњем слоју -Смањити проценат експандера
-Пробија средњи слој	-Недовољно растопљена маса у шнеци екструдера (Последица дужег застоја) - Танак унутрашњи слој	- Повећати температуре главног екструдера -Повећати проценат унутрашњег слоја.

Табела 1 – Мане које се могу појавити при екструдирању цеви и начин отклањања



Слика 60. Линије дуж цеви

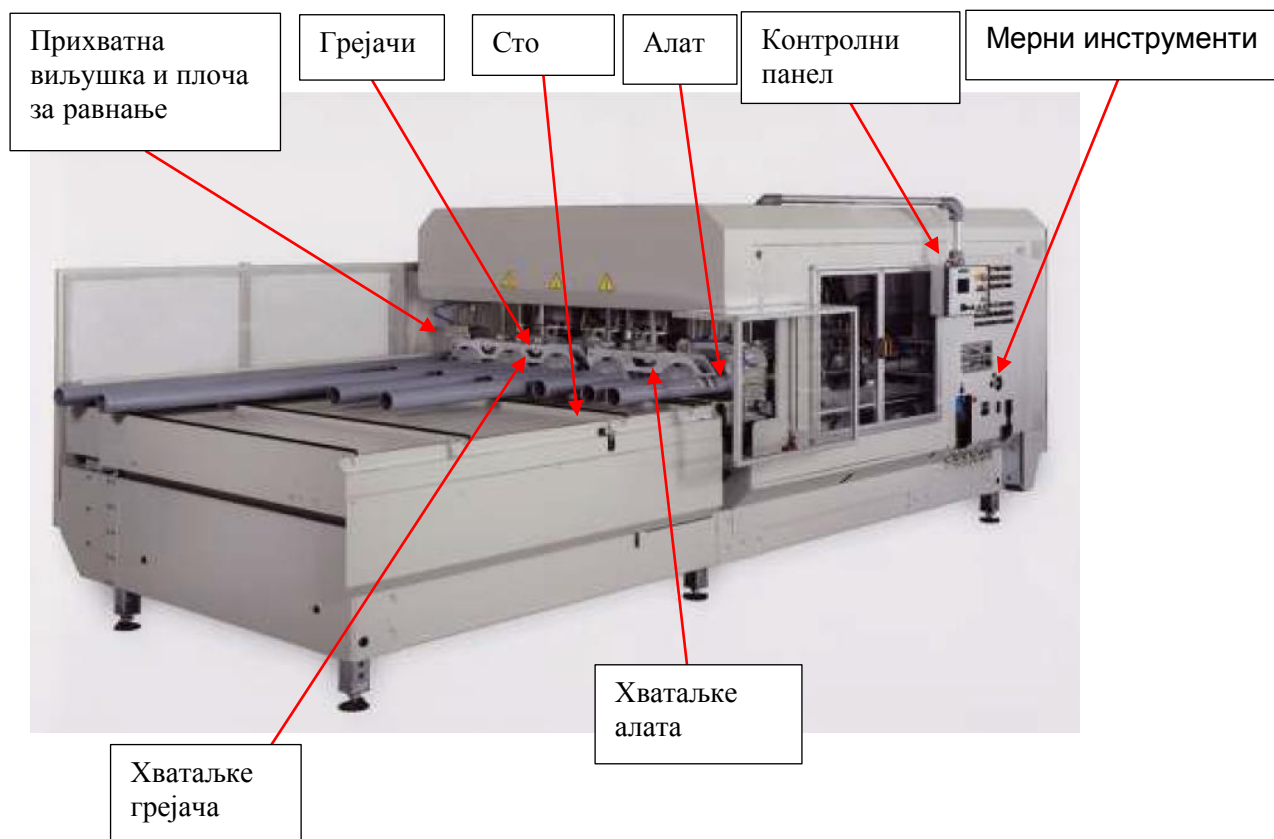


Слика 61. пецке унутар цеви

5. ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ КРАЈА ЦЕВИ (МУФОВАЊЕ) И КВАЛИТЕТ ДОБИЈЕНОГ ПРОИЗВОДА

Пре него што дођемо до самог процеса муфовања, треба се мало упознати са опремом односно машином и алатом за формирање муф-а.

5.1 Основни делови и принцип рада муферице



Слика 62. – Главни делови муферице

Муферица (слика 62.) служи да цев добијену екструзијом загреје грејачима, док цев не постане еластична, затим комбинациом удувавања ваздуха и механичког кретања деформише цев према форми алата и охлади добијени муф.

Главни делови муферице су: Прихватна виљушка, плоча за равнање, грејачи, сто, алат, контролни панел, мерни инструменти, хватаљке грејача, хватаљке алата.

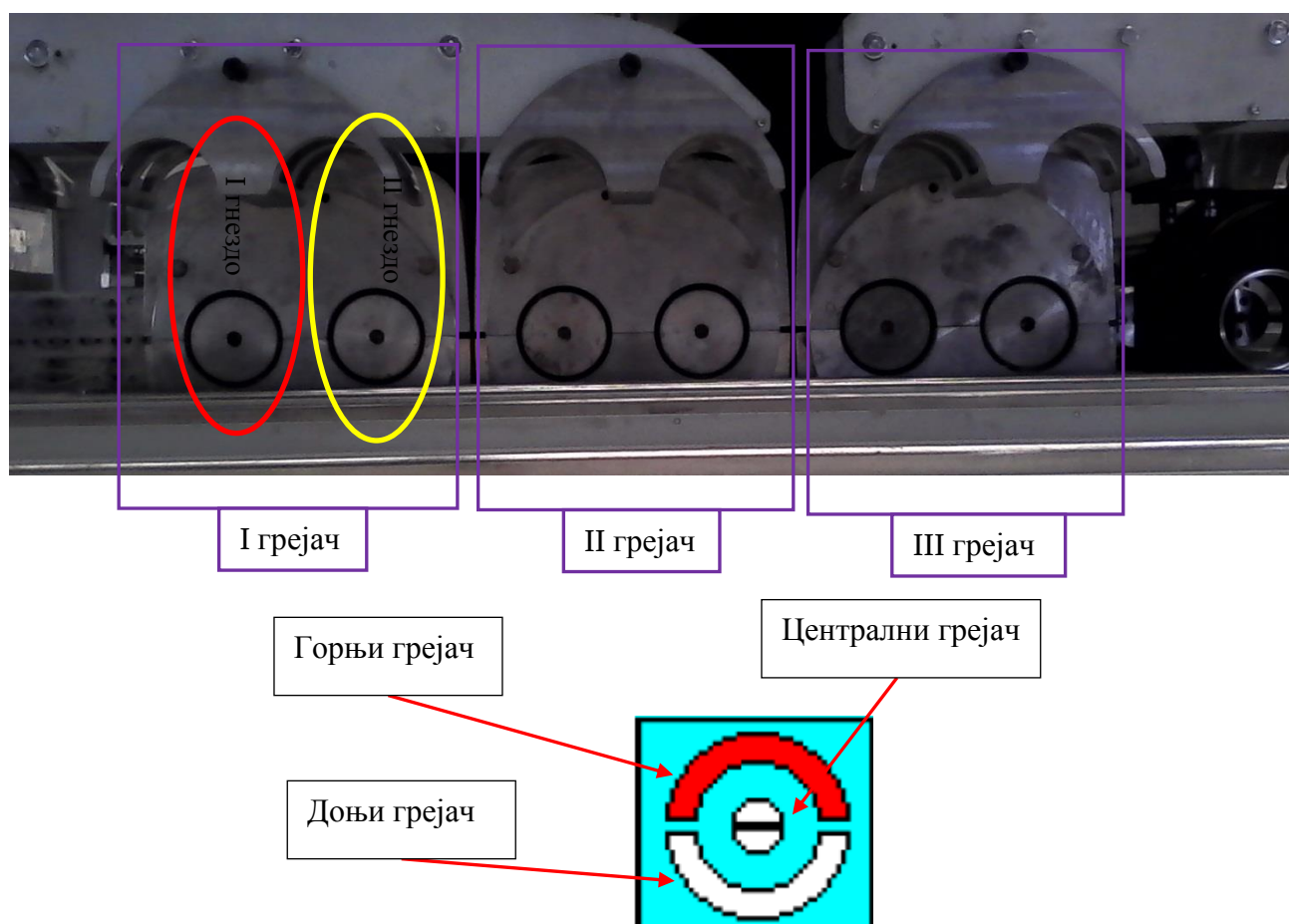
Прихватна виљушка (слика 63.) - Служи да премести цев са транспортне траке до равнајуће плоче. При промени пречника потребно је прилагодити позицију траке тако да се хватаљка спушта на цев без сметњи (центар цеви и центар виљушке да буду у оси)

Плоча за равнање (слика 63.) - Служи да одува опилке од тестере и поравна цеви пре него што дођу на грејање.



Слика 63. – Прихватна виљушка и плоча за равнање

Грејачи (Слика 64.) - Служе да цев загреју до задате температуре. Да би се цев добро измуфовала потребно је да се по целој дебљини зида загреје равномерно. 90% проблема са процесом муфовања долази од лошег и неравномерног загревања. Све муферице имају 3 грејача. У зависности од величине муферице и пречника постоји 1, 2 или 3 гнезда. Сваки грејач се састоји од горњег, доњег и централног грејача



Слика 64. – Распоред грејача

Горњи и доњи грејачи додирују цев, уколико дође до прегревања цеви, материјал деградира – површина изгледа превише сјајно или матирано. Превише сјајна цев значи да је температуре мало изнад границе, док матирана површина значи да смо доста изнад границе загревања. Топлота увек иде на горе, тако да горњи део цеви увек добија више топлоте него доњи, ту разлику је могуће смањити тако што се доњи грејач постави на неколико степени вишу температуру.

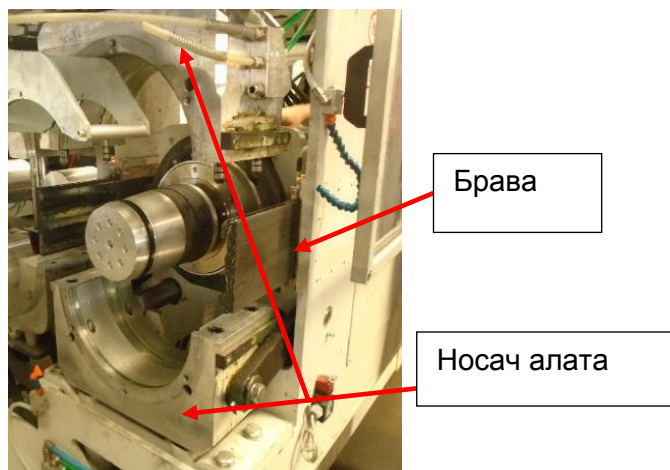
Централни грејачи имају 1mm зазора између цеви, што значи да температуре могу бити више него на горњим и доњим грејачима. Уколико је дебљина зида већа, или неравномерна по обиму, могуће је да дође до контакта између грејача и цеви. На том месту деградира материјал и та цев је шкартна.

Сто - Висина стола се мења у зависности од пречника. Висина центра грејача и алата је увек иста, ход хватаљки се не мења. Повећањем висине (за мање пречнике) и смањивањем висине (за веће пречнике) машина се прилагођава промени пречника.

Алат - Главни делови и склопови алата су: носач алата, форма, месингани умети, трнови и чаура.

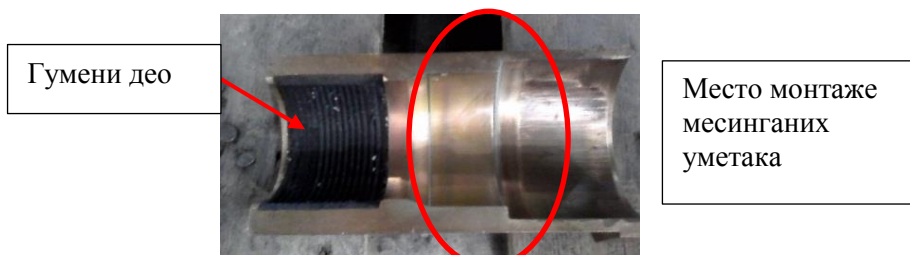
Носач алата служи да се на њега монтирају форме алата. Није могуће уклонити га са машине. Браве служе да спрече отварање алата током формирања муфа (слика 65).

Форма алата монтира се на носач алата, могуће је користити једну форму за више пречника. Кроз форму алата протиче хладна вода која хлади алат и муф.



Слика 65 – носач алата и брава

Месингани умети (слика 66) – калупи монтирају се на форму алата (слика 67), и формирају облик муфа. Сваки пречник има своје уметке. Гумени део служи да спречи исклизивање цеви и уметка током формирања муфа. У означеној зони формира се муф, тако што се загрејана цев под притиском наслања на зид уметка и формира део муфа. Сва оштећења на уметку се осликавају на муф.



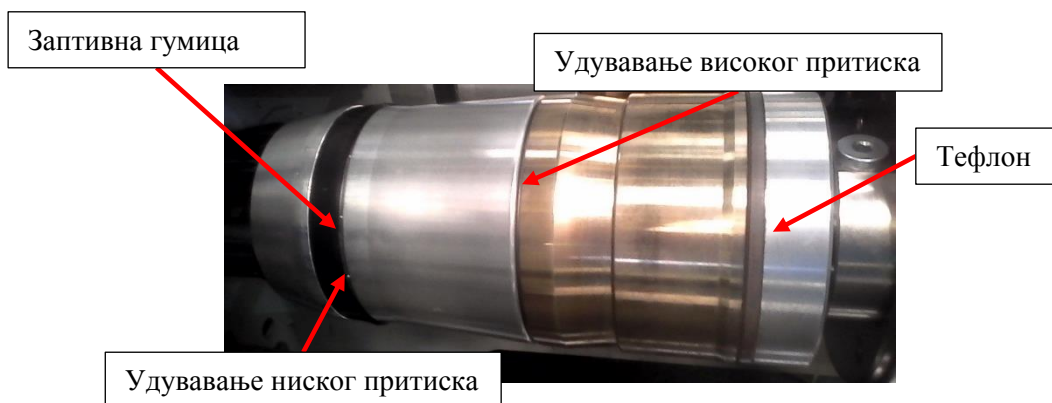
Слика 66. – Месингани уметак



Слика 67. – Форма

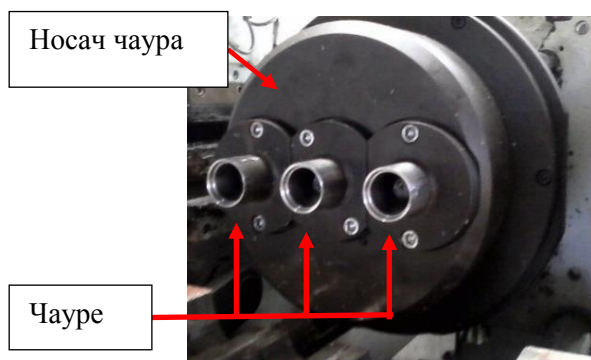
Трнови (слика 68.), служе да уђу у цев и високим притиском притисну загрејану цев о зидове калупа. Да би се спречило лепљење загрејане цеви на трн, приликом уласка трн испушта зауљен ваздух под притиском од 2 – 3 бар-а.

Кад трн дође у радну позицију, почиње главно дување под притиском од 20 – 25 бар-и за НТ(РР) програм. На трну се налазе 2 заптивке, које спречавају да ваздух високог притиска исцури, гумица (црвене или црне боје) и тефлон (бело – жуте боје). Уколико ваздух цури, чује се појачан рад мултипликатора и/или шиштање ваздуха, на панелу излазе аларми који упозоравају на аномалије. Потребно је заменити оштећену заптивку. Кроз трн пролази хладна вода која хлади муф.



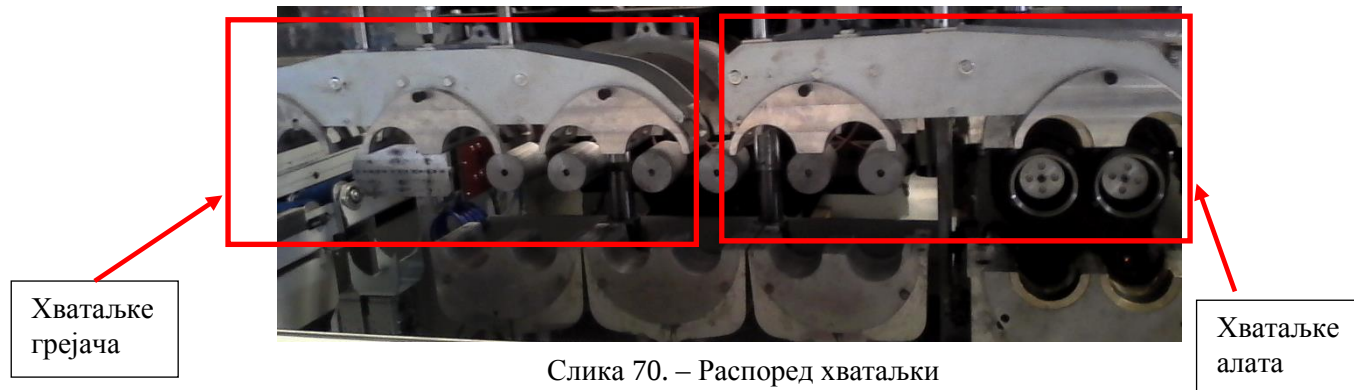
Слика 68 - Трн

Чаура (слика 69.) - кретањем чауре материјал се механички гура у калуп, заједно са удувањем високог притиска формира се муф. Чауре се налазе на носачу чаура и треба да заврши кретање за време испод 1 секунде.



Слика 69. – Чаура

Хватаљке (Слика 70.) - Служе да премештају цеви од плоче за равнање до последњег грејача и даље до алата и дела за убацивање гумица.



Слика 70. – Распоред хватаљки

Контролни панел - служи за промену параметара муфовања. У зависности од модела муферице софтвер који је приказан на панелу се разликује.

Мерни инструменти (слика 71) - Неопходно је држати овај простор приступачним јер се у свакој смени контролишу измерене вредности.

Користе се за контролу и подешавање: долазног притиска ваздуха, ниво силиконског уља, вентили за воду за хлађење, подешавање удувавања ниског притиска, подешавање удувавања високог притиска, очитавање притиска на мултипликатору, очитавање разлике притисака на филтеру воде.



Слика 71 - Мерни инструменти

5.2 Процес муфовања

Одсечена цев долази на транспортну траку, прелази преко 2 оптичка сензора који имају фиксну раздаљину. Пошто је брзина транспортне траке константна, PLC мери време од првог до другог сензора и на основу тога израчунава дужину цеви. Са познатом дужином цеви PLC зна кад треба да заустави транспортну траку да би се цев зауставила на правом месту и прихватна виљушка могла да прихвати цев.

Уколико је брзина линије превелика, или се приликом ручног убацивања убацује превише, цеви иду једна до друге, PLC не може да одреди дужину једне цеви и онда се транспортна трака не зауставља – производи се неизмуфован вишак.

Прихватна виљушка поставља цеви испред плоче за равњање. У зависности од броја гнезда можемо имати 1, 2 или 3 цеви. Хватаљке се спуштају, равњајућа плоча се помера унапред, равња цеви и удувава ваздух који односи заосталу пиљевину од сечења.

После равњања хватаљке премештају цеви у грејаче. После сва 3 грејача, цеви треба да буду равномерно загрејане. Један од најбољих начина провере је да се уклони цев одмах после грејања, пре уласка у алат, цев је тако загрејана да ју је могуће лако

прстима савијати.

Када загрејана цев уђе у алат, носач алата се спушта, браве забраве алат, трнови се померају напред. Док се трнови померају, испушта се зауљен ваздух под притиском од 2-3 бар-а који спречава загрејану цев да се залепи за трн пре него што дође у радну позицију.

Да би се муф формирао потребно је да чаура гурне материјал и ваздух под високим притиском „надува“ цев у калуп.

Чаура креће да гура материјал у калуп (формирајући пречник D3), ваздух под високим притиском деформише цев и зидове цеви притиска о зидове калупа и формира муф. Време између тренутка кад чаура почне да се креће и тренутка кад почиње главно удувавање се подешава и назива се време предудувавања.

Што је време предудувавања веће чаура више времена гура материјала без удувавања.

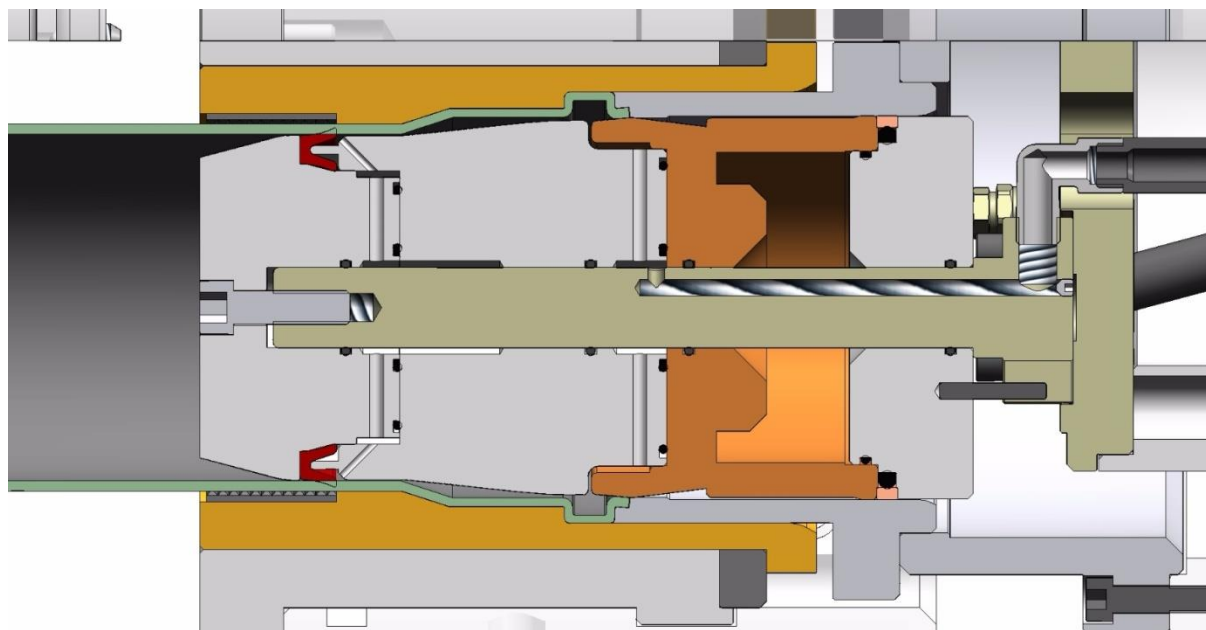
Што је време предудувавања мање скраћује се време кад чаура гура материјал без удувавања.

Ово подешавање је јако битно, јер разлике у изгледу муфа се дешавају и при променама у времену предудувавања од 0,01 секунде.

Када би се муф формирао само чауром, био би згужван. Када би се формирао само удувавањем све ивице би биле јако обле.

Уколико су ивице муфа превише обле, треба смањити време предудувавања – јер је муф више формиран притиском ваздуха а не механичким формирањем. Уколико је муф сабијен треба повећати време предудувавања јер је више формиран механичким формирањем а не притиском ваздуха.

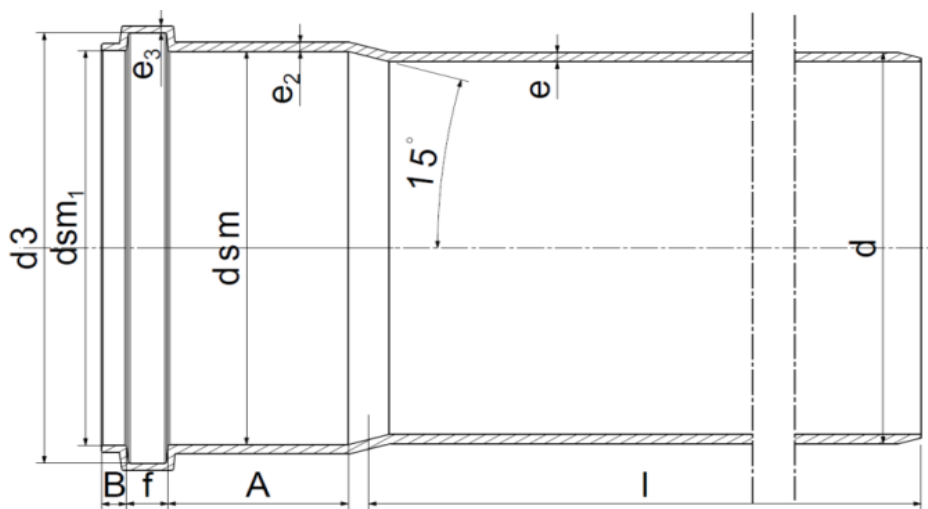
По завршетку кретања чауре и удувавања ваздуха, цев остаје у алату да би се охладила (слика 72). Време формирања муфа је око 2 s мање од времена грејања. Кроз трн и форме алата протиче вода за хлађење. По изласку из алата, муф треба да буде млак.



Слика 72. – Затворен алат са цеви у тренутку формирања муфа

5.3 Стандарт EN1451

Димензије муфа (слика 73), као и саме цеви произведене у компанији „Пештан“ дефинисане су стандардом EN1451.



Слика 73. – Цев са муфом са означеним котама према стандарду

EN 1451 (SDR 41)								
	DN 32	DN 40	DN 50	DN 75	DN 90	DN 110	DN 125	DN 160
dem	32.0-32.3	40.0-40.3	50.0-50.3	75.0-75.4	90.0-90,4	110.0-110.4	125.0-125.4	160.0-160.5
e	1.8-2.2	1.8-2.2	1.8-2.2	1.9-2.3	2.2-2.7	2.7-3.2	3.1-3.7	3.9-4.5
dsm	32.3-33.1	40.3-41.1	50.3-51.1	75.4-76.2	90,4-91,3	110.4-111.3	125.4-126.4	160.5-161.5
e2 (min)	1,6	1,6	1,6	1,7	2,0	2,4	2,8	3,5
d3	38.6-39.6	49.6-50.6	59.6-60.6	84.5-85.5	99.5-101.1	120.5-122.4	137.5-139.3	174.3-176.1
e3 (min)	1	1	1	1,1	1,3	1,5	1,8	2,2
B (min)	5	5	5	5	5,0	6	7	9
f	6.5-8.3	7.8-9.6	7.8-9.6	7.8-9.6	8.4-10.4	9.1-11.1	10.4-12.6	11.7-14.1
A (min)	24	26	28	33	34	36	38	41

Табела 5. - Димензије цеви прописане стандардом

Поред димензија, овим стандардом дефинисано је и следеће.

- Дефиниције, симболи и скраћенице
- Материјал
 - РР-компаунд
 - Поновна употреба, рециклација материјала
 - Проток масе
 - Термичка стабилност
 - Средство за подмазивање гумице
 - Запаљивост

- Опште карактеристике
 - Изглед
 - Боја
- Геометријске карактеристике
 - Опште
 - Димензије цеви
 - Димензије фитинга
 - Димензије муфа
 - Тип фитинга
- Механичке карактеристике цеви
 - Опште карактеристике
 - Додатне карактеристике
- Физичке карактеристике
 - Физичке карактеристике цеви
 - Физичке карактеристике фитинга
- Захтеване перформансе
- Област примене
 - Опште
 - Карактеристике материјала
 - Механичке карактеристике
- Гумице
- Означавње
 - Опште
 - Минимално потребно означавање цеви
 - Минимално потребно означавање фитинга
- Инсталација цевовода

Полипропилен има одлична механичка и термичка својства, не садржи тешке метале и погодан је за рециклажу и накнадно коришћење у друге сврхе. Могућност рециклаже без губитака механичких особина чине полипропилен еколошки погодним материјалом.

Цеви и фитинг у оквиру НТ (РР) Пештан производног програма су намењени за одводњу задрљаних и отпадних вода (ниске и високе температуре) унутар грађевинских конструкција (поље примене В). НТ (РР) систем је универзалан и може се користити за одводњу задрљаних вода, једноспратних кућа па све до великих вишеспратних зграда [1].

У погледу хемијске отпорности НТ (РР) цеви су отпорне на: слану воду, алкохол, киселине, базе, сулфате, агресивне гасове и све врсте детерџената. Погодне су за одводњу хемијски агресивних отпада, рН вредности од 2 (за веома киселе отпадне воде) до 12 (за веома базне отпадне воде).

НТ (РР) програм је осетљив на отпадне воде које садрже висок проценат бензина (нафте), бензена или ацетона.

Цеви нису намењене за спољну употребу због дугорочне непостојаности приликом УВ зрачења. Такође цеви нису намењене за уградњу под земљом. Није препоручљиво вршити инсталацију цевовода на температурама испод 5°C.

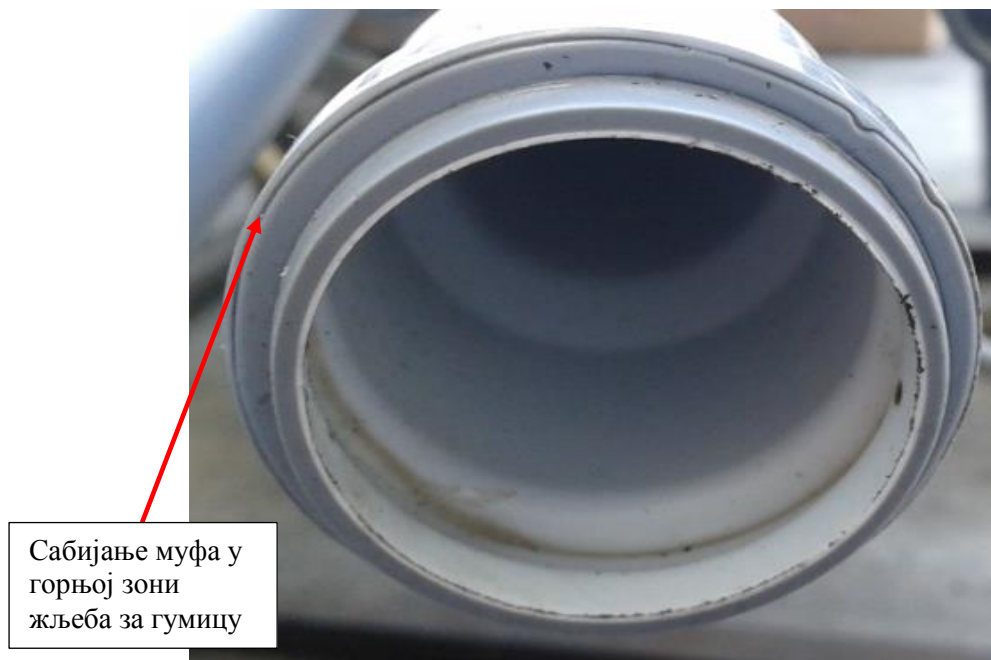
Полипропилен поседује одлична звучна и термичка својства као и изолациона својства (далеко боља од нпр. челика). У погледу заштите од пожара, НТ (РР) програм цеви припадају класи запаљивости В2 стандарда DIN 4102, односно припадају групи нормално запаљивих материјала [1].

5.4 Неки од дефеката који се јављају приликом муфовања:



Слика 74. – сабијање муфа на коти „В“

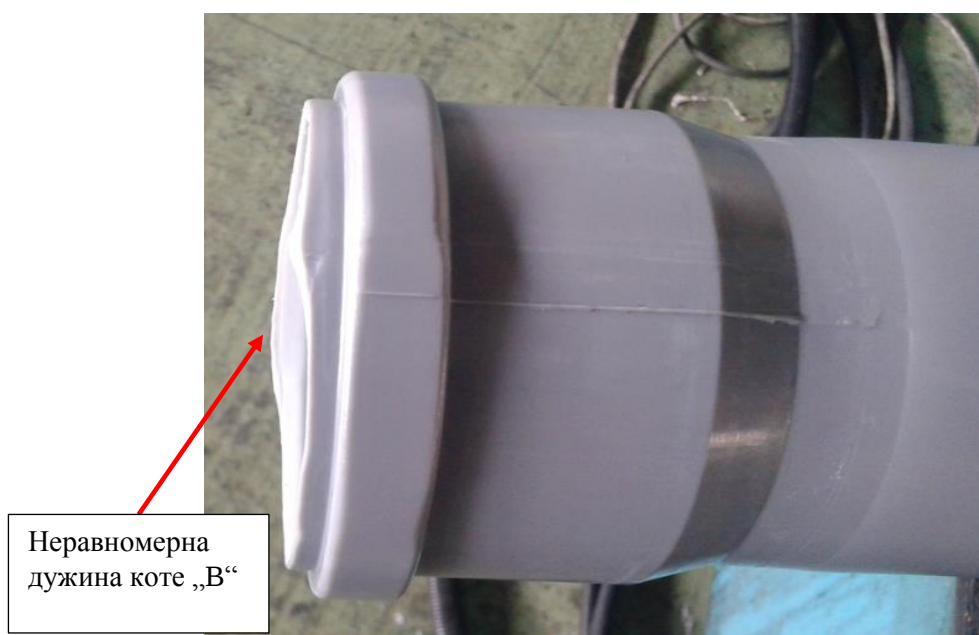
Када постоји овакав случај сабијања цеви на муфу, као што је приказано на слици 74, узрок је највероватније да је превише материјала ушло у процес формирања муфа. У том случају потребно је смањити коту „В“, а то се врши померањем равнајуће плоче.



Слика 75. – Сабијање муфа на жљебу за гумицу

Други начин регулисања ове аномалије јесте преко времена предудувавања. У зависности од тога на којој страни жљеба за гумицу се појавио вишак материјала (слика 75), потребно је смањити или повећати време предудувавања. Такође уколико се сабијање јави са само једне стране цеви постоји вероватноћа да један од

грејача прегрева и неопходно је да електричар провери исправност грејача.



Слика 76 – Неравномерна дужина коте „В“

Када постоји случај неравномерне дужине коте „В“, као на слици 76, постоји такође више потенцијалних узрочника ове неправилности. Један од случајева јесте лоше позиционирање равнајуће плоче, тако да нема довољно материјала у том делу муфа. Други узрок може бити неједнака дебљина зида цеви по њеном обиму, потребно је проверити дебљину зида.



Слика 77. – Неравномерна дужина коте „В“

Још један могући узрочник јесте неравномерно загревање цеви, што је највероватније случај на слици 77, где имамо неправилно формирање жљеба за гумицу. Такође је потребно проверити ниво силиконског уља за подмазивање трнова, као и то да ли су грејачи правилно центрирани.



Слика 78. – Заобљен муф

Када се јави проблем у виду превише заобљеног муфа један од могућих узрока ове неправилности јесте недостатак материјала у формирању муфа. Начин на који се може проверити ова претпоставка јесте мерењем дебљине зида цеви на муфу, кота „е3“. Други могући узрок јесте велико време предудувања. Потребно је проверити и уколико је потребно повећати притисак предудувања. Такође недовољна загрејаност цеви може бити узрок ове појаве, где је потребно проверити исправност грејча или једноставно повећати температуру или време загревања цеви.



Слика 79. – Отежана или немогућа монтажа

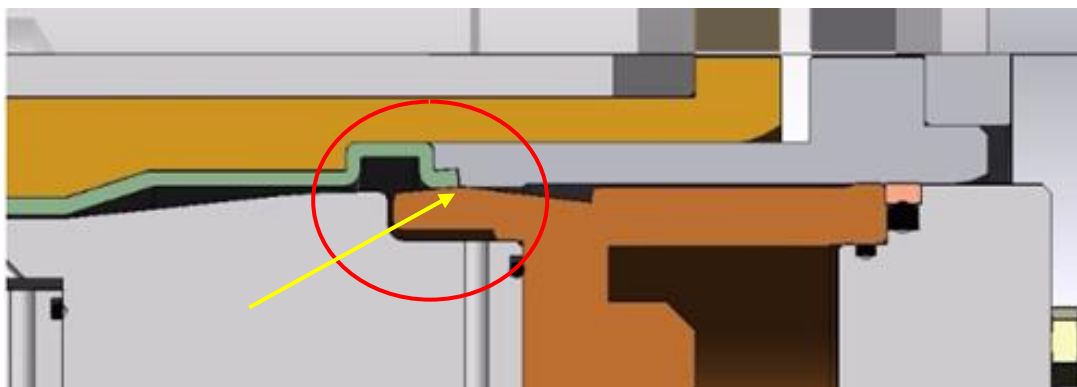
Разлог отежене или немогуће монтаже цеви после загревања (слика 79) првенствено могу бити димензионе карактеристике цеви. Из тог разлога прво се проверавају овалност цеви и дебљина зида. Други разлог због којег се може појавити отежана монтажа јесте недовољна загрејаност цеви пре формирања муфа. У том случају потребно је повећати температуру загревања, време загревања или повећати и температуре и време загревања. Такође до ове појаве може доћи уколико је хлађење алата неадекватно. Потребно је проверити да ли је запушен одвод система за хлађење алата.



Слика 80. – Кота „f“ испод минимума или изнад максимума

Када је кота „f“ испод минимума (слика 80), разлог може бити то да је температура централног грејача превисока, што се може регулисати преко параметара температуре. Често је случај да ова појава не зависи од температуре већ се канал за гумицу мора регулисати механичким путем преко навртке унутар машине. Исти је случај и када је жљеб за гумицу превелик. Међутим механичко померање ове навртке дозвољено је у веома малом опсегу како не би дошло до подливања материјала на коти „B“.

Ако посматрамо детаљ прилазан на слици 81, жутом стрелицом показано је место где трн и чаура формирају коту „B“ у тренутку када је алат затворен. Када се преко механичке навртке кретање чауре продужи или скрати више него дозвољено, кота „B“ ће се формирати на конусном делу трна и доћи ће до подливања материјала.



Слика 81. – Затворен алат са цеви у тренутку формирања

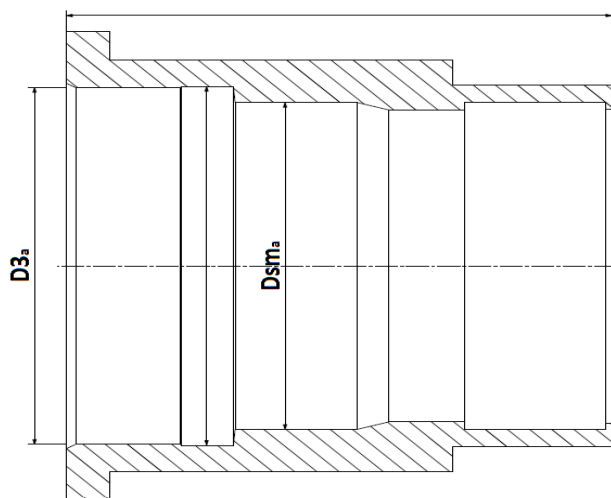


Слика 82. – Вишак материјала на коти „В“

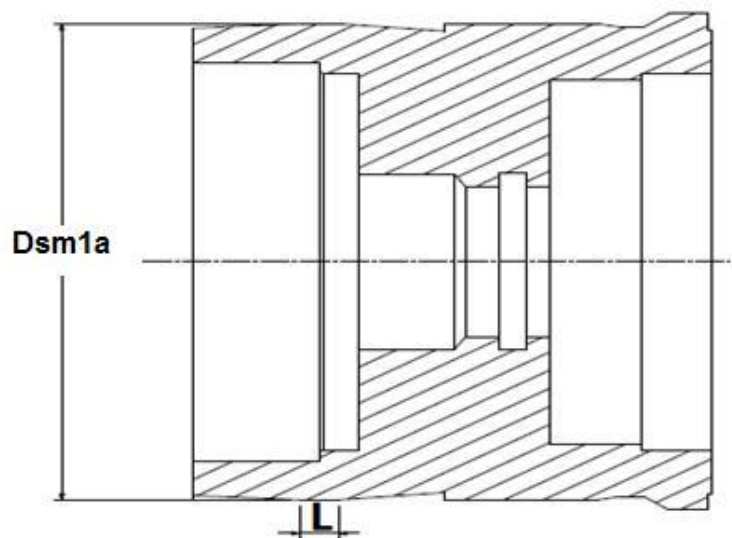
Вишак материјала на коти „В“, може се јавити из претходно поменутог разлога, услед механичког подешавања жљеба за гумицу. Такође, недостатак силиконског уља за подмазивање трнова може довести до појаве вишка материјала, као и висока температура централног грејача.

5.5 Утицај диманзија алата на муф

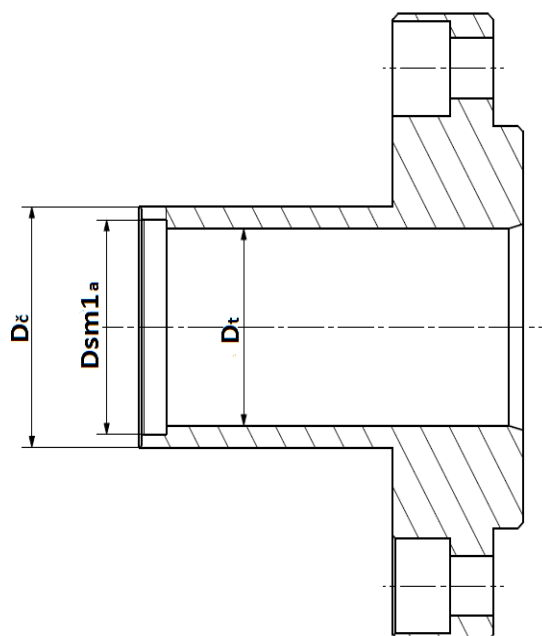
По логици ствари, сам алат има највећи утицај на формирање муфа према стандардним димензијама, почевши од форме која и даје крајњи облик муф-у, али исто тако и трн и чаура имају велики утицај на његов облик и димензије.



Слика 83. – Форма алата са приказаним местима формирања датих кота муф-а



Слика 84. – Трн алата са приказаним местом формирања коте „Dsm1“



Слика 85. – Чаура алата са приказаним котама, битним за формирање муфа

Једна од битнијих фактора код формирања муфа јесте и брзина кретања фланше односно чаура. Функција чауре је, као што је већ поменуто, да погура загрејани део цеви и механичким дејством утиче на формирање муф-а. Ово кретање треба да траје око једног секунда, али не више од тога. Време које чаура проведе у кретању одерђује и опсег времена предудувавања који можемо примењивати. Код доста поменутутих дефеката који се могу јавити на муфу, могуће је утицати променом времена предудувавања, што говори о важности овог параметра. Уколико је време кретања чаура веома мало, односно брзина чаура велика, опсег регулисања времена предудувавања ће бити на пример, $0,2 \div 0,3$ секунде, док при оптималној брзини кретања имамо $0,5 \div 0,8$ секунди, што даје далеко више простора за утицање овим параметром.

Ову тврдњу можемо доказати и кроз праћење рада РРК линија у периоду октобар, новембар, децембар 2018 год., поређењем параметара на линијама РРК1, РРК2 и РРК3. Узећемо за поређење линије РРК2 и РРК3, за пречник цеви Ø50. На линији РРК2 имали смо веома брзо кретање чаура што се може закључити и кроз параметре муфовања.

Линија	Време предудувања			Гнездо I			Датум
	I	II	III	D	Dsm	Dsm1	
РРК3	0,74	0,74	0,74	50,2	51,1	51,4*	4.10.2018
РРК3	0,74	0,73	0,74	50,2	51,5*	51,5*	5.10.2018
РРК3	0,75	0,75	0,75	50,3	51,35*	51,15*	8.10.2018
РРК3	0,75	0,75	0,75	50,3	51,5*	51,3*	8.10.2018
РРК3	0,75	0,75	0,75				9.10.2018
РРК3	0,74	0,72	0,74				10.10.2018
РРК3	0,74	0,72	0,74	50,3	51	51,2*	11.10.2018
РРК3	0,76	0,75	0,76	50,25	50,9	51,2*	15.10.2018
РРК3	0,73	0,73	0,73	50,25	51,1	51,2*	16.10.2018
РРК3	0,69	0,69	0,69	50,2	50,9	51,2*	17.10.2018
РРК3	0,68	0,66	0,68	50,2	51,3*	51,2*	18.10.2018
РРК3	0,68	0,66	0,68	50,2	50,9	51	19.10.2018
РРК3	0,68	0,66	0,68	50,2	50,9	51,1	22.10.2018
РРК2	0,3	0,3	0,3	50,2	51,6*	51,15*	8.11.2018
РРК2	0,28	0,25	0,24	50,2	51,5*	50,8	13.11.2018
РРК2	0,45	0,26	0,24	50,25	51,25*	50,8	14.11.2018
РРК2	0,43	0,26	0,24	50,3	51	50,7	15.11.2018
РРК2	0,4	0,3	0,3	50,2	51,3*	50,9	19.11.2018
РРК2	0,4	0,3	0,3	50,25	51,4*	50,8	20.11.2018
РРК2	0,4	0,3	0,3	50,2	51,3*	50,9	21.11.2018
РРК2	0,4	0,3	0,3	50,25	51,35*	50,8	22.11.2018
РРК2	0,24	0,24	0,24	50,2	51,4*	50,85	20.12.2018
РРК2	0,24	0,24	0,25	50,25	51,35*	50,9	26.12.2018

Табела 6. – Утицај брзине кретања чаура на време предудувања

Из приказане табеле може се видети разлика у времену предудувања на линијама РРК2 и РРК3. Треба нагласити да су параметри екструдирања на обе линије скоро идентични. Што се тиче приказаних димензија, Dsm и Dsm 1, може се видети да при преласку са РРК3 на РРК2 имамо случај да је кота Dsm1 увек мања од коте Dsm, што не би требало да буде случај. Та неправилност такође се јавља и на линији РРК3 али у знатно мањој мери. Из тог разлога логично је претпоставити да је ова појава узрокована неадекватним димензијама алата, тачније чауре, у делу на коме се формира кота Dsm 1.

Још један узрок који доводи до тога да је кота Dsm1 мања од коте Dsm јесте неадекватна геометрија улазног пречника чауре (слика 86), на коме се и формира кота Dsm1. Улазни део чауре, теоријски би требао да буде направљен са благим конусом

This technical cross-section diagram illustrates a mechanical assembly. A yellow circle on the left highlights a green component with a red line indicating a specific feature. Another yellow circle on the right highlights a small red line on a grey component. The assembly includes various parts in grey, orange, and green, with a red component visible on the left. A drill bit is shown at the bottom right, and the entire assembly is mounted on a base.

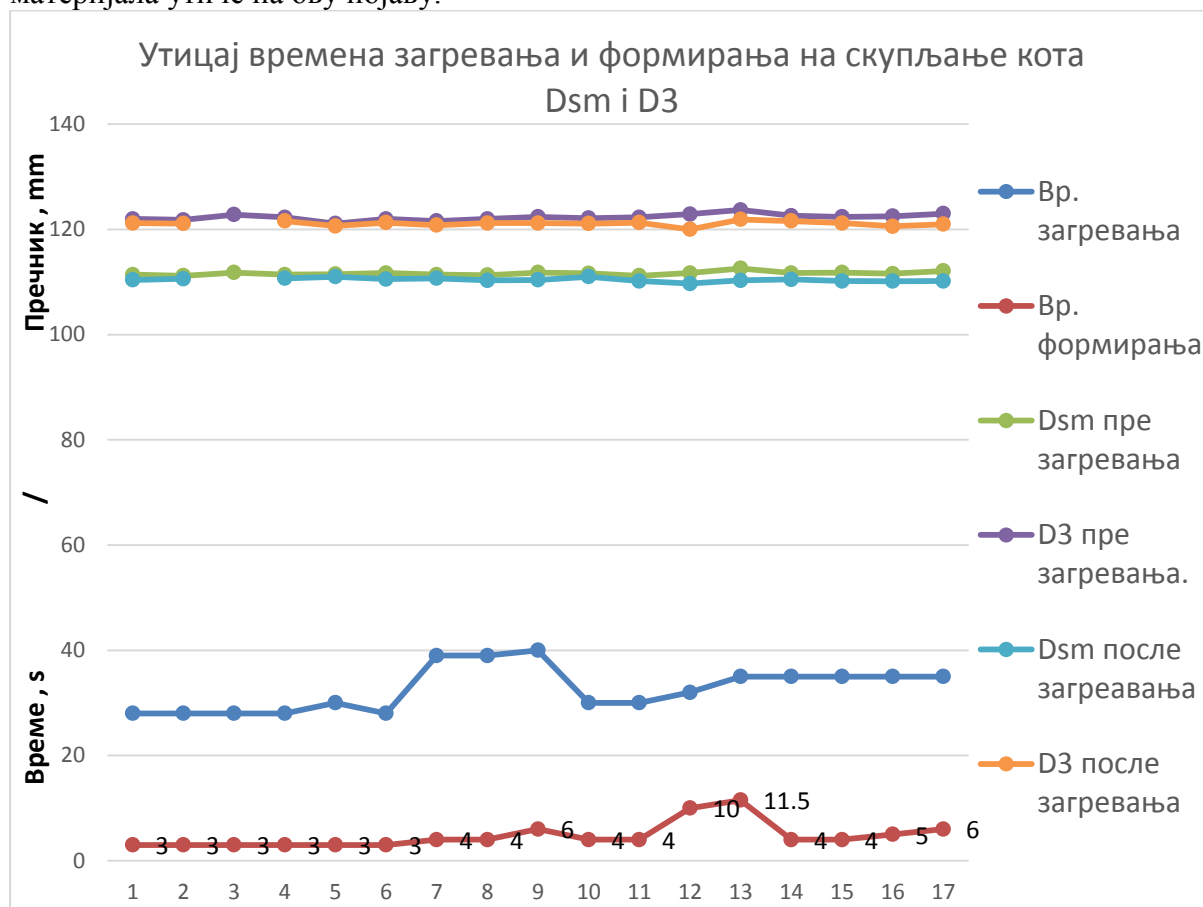
За разлику од тога чауре (Слика 87), које користимо у пештану направљене су са паралелним улазним делом, који се у току експлоатације може похабати и чак прећи у контра конус што никако није добро за добијање квалитетног муф-а.



5.6 Анализа праћења параметара на линији РРК1 – SICA муферица

Услед појаве већег броја проблема, између осталог повећаног скупљања цеви након загревања, вршено је интензивно праћење линије РРК1 у периоду октобар, новембар, децембар и урађена анализа прикупљених параметара у циљу решавања проблема великог скупљања цеви пречника $\varnothing 110$.

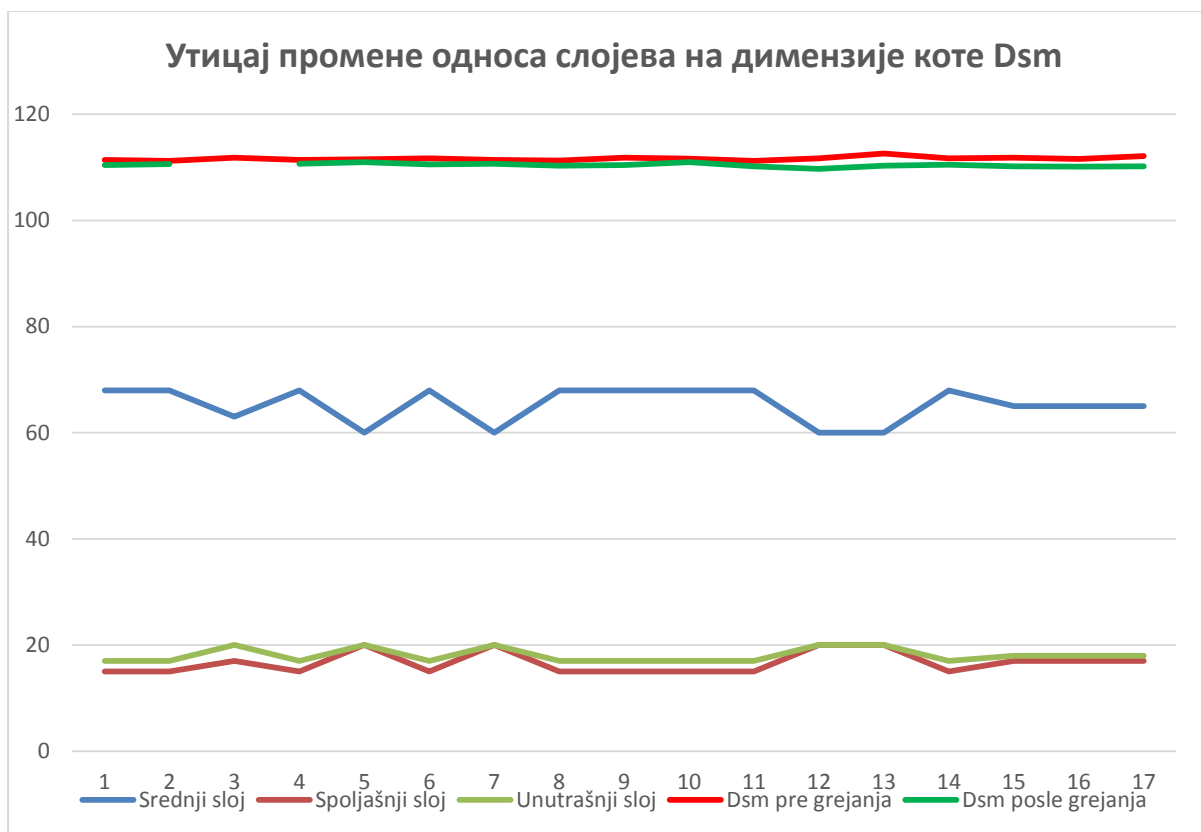
Због поменутог великог скупљања цеви јавља се и отежана монтажа након загревања, што се може закључити из извештаја контроле квалитета. Поменуто скупљање је посебно видљиво у последњој седмици новембра, када се уместо материјала „Б“ у спољашњем и унутрашњем слоју цеви користио материјал „Ц“, док је у средњем слоју ишао материјал „А“. Такође велико скупљање цеви видљиво је и применом материјала материјала „Ц“ у сва три слоја, те се јавила сумња да промена материјала утиче на ову појаву.



Дијаграм 1 – Утицај времена загревања и формирања на скупљање цеви

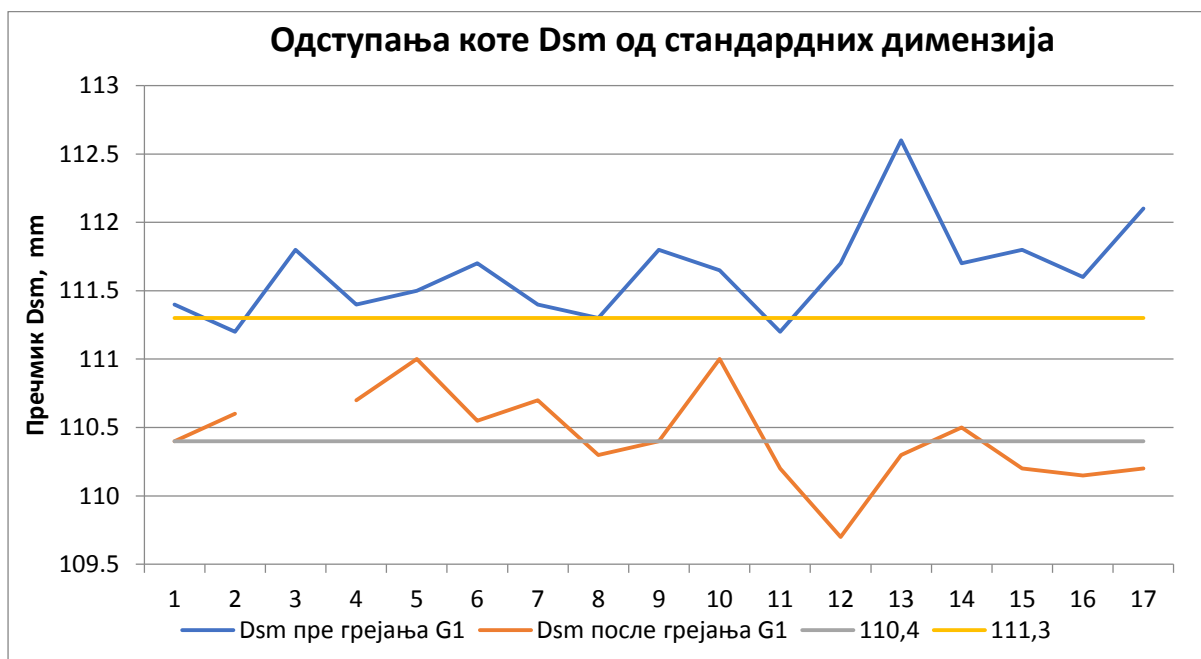
На приказаном дијаграму (1), се може јасно уочити тренутак преласка са материјала „Б“ на „Ц“, у тачки под бројем 12 (26.11.2018). У тој тачки имамо и драстично повећање времена формирања муфа, што је такође један од могућих узрочника повећаног скупљања цеви.

Корекције урађене поводом проблема повећаног скупљања цеви јесу смањење времена формирања муфа и промена односа слојева (тачка 14, 27.11.2018), односно смањење материјала „Ц“ у спољашњем и унутрашњем слоју. Однос слојева у датом тренутку био је измењен тако да је повећан проценат унутрашњег слоја а остала два смањена и коригован је на стандардан однос. На дијаграму се може уочити смањење скупљања.

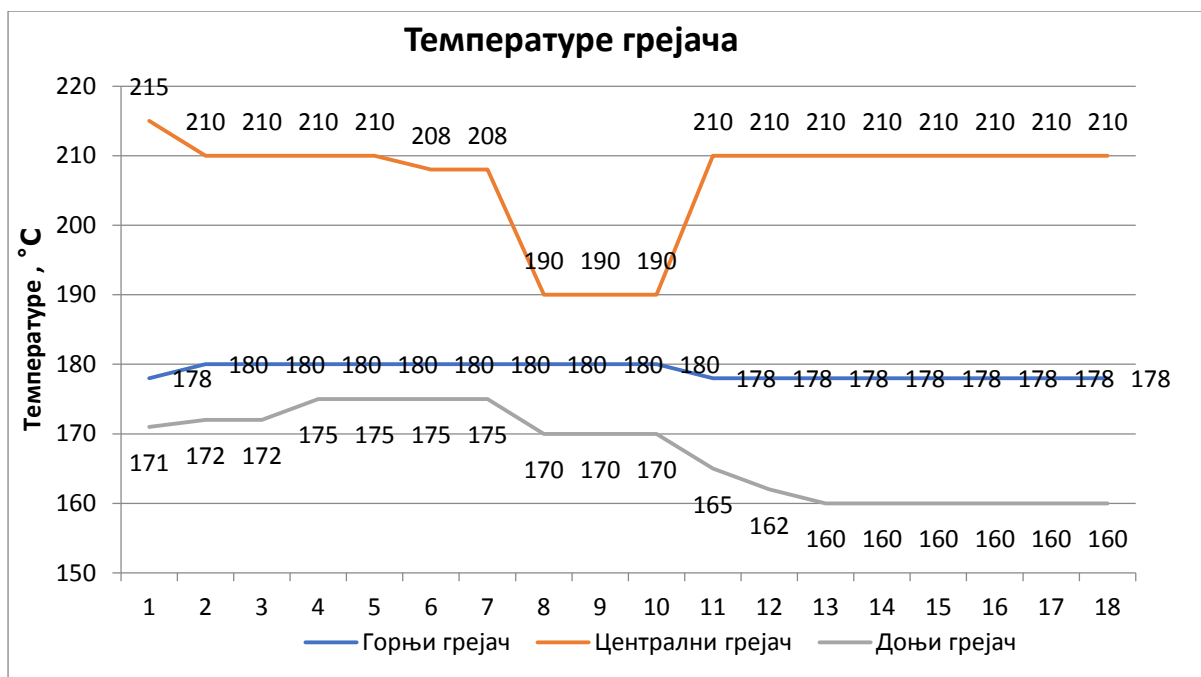


Дијаграм 2 – Утицај односа слојева на скупљање цеви

На дијаграму (2), види се да у тренутку поменутог повећаног скупљања такође постоји и поменута промена у односу слојева, што значи смањење удела средњег слоја. Обзиром да се у средњи слој цеви убацује један проценат компаунда самим тим и проценат креде која се не скупља при промени температуре, смањењем удела средњег слоја смањен је и проценат креде у укупној маси цеви што може довести до повећаног скупљања цеви.



Дијаграм 3 – Одступање коте Dsm од стандарда за посматрани период



Дијаграм 4. - Промена температура грејача муферице за посматрани период

Још једна ствар која се може уочити у тренутку повећаног скупљања цеви јесте велика разлика температура грејача на муферици, што се види из приказаног. Ову претпоставку не би требало одбацити као могућег узрочника неусаглашености, посебно ако упоредимо параметре муфовања и извештај контроле за цев $\varnothing 125$ из тог периода која је рађена на линији РРК2, где су коришћене далеко приближније температуре грејача и установљено је мање скупљање цеви.

6. ЗАКЉУЧЦИ

Технологија екструдирања полимера заузима значајно место у преради пластике. Екструдирањем се добијају различите врсте производа као што су: профили различитих облика, траке, фолије, цеви и многи други, од различитих материјала. Тема овог рада јесте екстудирање цеви од полипропилена, односно конкретно производни програм НТ(РР) цеви компаније „Пештан“.

Технолошки процес екструзије цеви од полипропилена састоји се од припреме и умешавања масе, транспорта масе до екструдера, расподеле масе помоћу пужа (шнеке), калибрисања цеви, хлађења и сечења цеви и на крају термообликовања једног или оба краја цеви.

Као и сваки други производ, да би се произвела функционална цев која задовољава захтеве стандарда који је дефинише, неопходно је пратити и контролисати све параметре који директно и индиректно утичу на процес њеног формирања.

У циљу оптимизације производње, смањења шкарта и побољшања квалитета финалног производа у компанији „Пештан“ започет је пројекат анализе утицаја параметара екстудирања и термообликовања на димензије, визуелни изглед и функционалност крајњег производа. Суштина поменутог пројекта огледа се у интензивном евидентирању параметара производње, приликом сваке промене истих, као и истовремено подношење извештаја контроле квалитета.

На основу прикупљених параметара и достављених извештаја контроле квалитета формира се база података која ће служити за анализирање утицаја поменутих параметара на особине производа.

Како је полипропилен подложен скупљању приликом загревања, а затим хлађења, поред многобројних анализираних грешака које настају при производњи ових цеви један од највећих проблема правило је управо превелико скупљање цеви након теста загревања. У овом раду приказани су дијаграмски и анализирани параметри који су потенцијални узроци ове појаве, на цеви пречника $\varnothing 110$, и на основу тога донети одређени закључци:

- Од приказаних могућих узроцих ове појаве, први поменути узрок, промена материјала, не одбацује се у потпуности али се узима као мало вероватан из разлога што је исти материјал већ коришћен раније у дужим временским интервалима.

- Други могући узрок повећаног скупљања након загревања јесте драстично повећано време формирања односно хлађења цеви у алату. Овај параметар, може се са великом сигурношћу рећи, утиче на скупљање јер приликом наглог хлађења полипропилена долази до заробљавања унутрашњих напона који се при поновном загревању ослобађају и долази до повећаног скупљања.

- Промена односа слојева такође врло вероватно у једном делу утиче на повећано скупљање цеви јер се смањује удео средњег слоја, у коме се налази одређени проценат креде која није подложна скупљању и даје чврстину цеви.

- Велику разлику у температурама спољашњих и централног грејача на муферици, како је већ речено, не треба одбацити већ је треба детаљније проучити и анализирати како би се дошло до конкретнијих закључака.

Такође из приказаног се може закључити да управо у тренутку повећаног скупљања цеви имамо промену свих ових параметара истовремено што је ову појаву учинило драстичном. Исто тако закључак је да исправност опреме, геометрија и димензије алата као и брзина кретања појединих делова алата у великој мери утичу на термообликовање крајњег дела цеви, односно муфовање.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] "PEŠTAN." [Online]. Available: <https://pestan.net/sr/>, приступљено 25.4.2019.
- [2] С. Бабић, "Анализа поступка израде пластичних цеви у предузећу 'Пештан' Д.О.О.-Аранђеловац," Машински факултет, Крагујевац, 2003.
- [3] "MAŠINE ZA EKSTRUZIJU - EKSTRUDERI." [Online]. Available: <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Ma%C5%A1ine%20i%20ure%C4%91aji%20za%20predadu%20plastike/Masine%20za%20ekstruziju.pdf>, приступљено 15.5.2019.
- [4] I. Čatić, *Proizvodnja polimernih tvorevina*. Zagreb: Biblioteka polimerstvo – serija zelena, 2006.
- [5] "KWD globalpipe." [Online]. Available: <https://www.globalpipe.de/news-major-contract-highlights-success-in-china>, приступљено 28.4.2019.
- [6] C. Rauwendaal, *Understanding Extrusion*. München: Hanser Publishers, 1998.
- [7] C. Rauwendaal, *Polymer Extrusion*. München: Hanser Publishers, 2014.
- [8] "Mindiamart." [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/used-twin-screw-extruder-kabra-make-8839017188.html>, приступљено 15.5.2019.
- [9] "NATIONAL PLASTIC HEATER, SENSOR & CONTROL INC." [Online]. Available: <http://www.mica-band-heaters-metric.com/construction.html>, приступљено 25.4.2019.
- [10] М. Пејак, *Полипропилен: својства и прераде*. Оџаци: HIPOL-KORORACIJA, 1993.