

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

Број индекса: 339/2015

Андрија П. Матић

**Машина за вакуум-термообликовање
пластичних маса**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић, ред. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Катедра за: ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

МАСТЕР РАД

са темом:

МАШИНА ЗА ВАКУУМ – ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ ПЛАСТИЧНИХ МАСА

За кандидата: Матић Андрија, број индекса 339/2015

У оквиру дипломског рада кандидат треба да изврши систематизацију података о материјалима и технологији вакуум – термообликовања пластичних маса. Потребно је прикупити и приказати податке о машинама намењеним за ову технологију. На крају рада извршити пројектовање једне машине са свим својим елементима.

Дипломски рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Карактеристике пластичних маса које се могу прерађивати технологијом вакуум – термообликовања,
3. Технологија вакуум термо – обликовања,
4. Проблеми у процесу вакуум-термообликовања
5. Машине за вакуум – термообликовање,
6. Пример пројектовања машине за вакуум – термообликовање,
7. Закључци,
8. Литература.

ШЕФ КАТЕДРЕ

Проф. др Богдан Недић

ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК

Проф. др Богдан Недић

Резиме

Предмет овог рада је конструкцијско решење машине за вакуум – термообликовање. У тексту овог рада биће објашњен основни принцип рада машине и биће описани њени главни делови. Такође, биће описане пластичне масе које се користе у производњи вакуум – термообликовањем и њихове главне карактеристике. Објасниће се поступак вакуум – термообликовања, а биће дат и детаљан преглед проблема који се могу јавити у току процеса као и смернице за њихово решавање.

Кључне речи: машина за вакуум – термообликовање, пластичне масе, PE, PP, PVC, PC

Abstract

The subject of this paper is to design a solution for vacuum – thermoforming machine. In the text of this article the basic principle and the main parts of the machine will be explained. Also, the plastic material which is used in vacuum – thermoforming will be described. This paper will also explain the process of vacuum – thermoforming, and there will be given a detailed overview of the problems that can be occurred during the process as well as guidelines for their resolution.

Keywords: vacuum – thermoforming machine, plastics, PE, PP, PVC, PC

САДРЖАЈ:

1. Уводна разматрања.....	4
2. Карактеристике пластичних маса које се могу прерађивати технологијом вакуум – термообликовања	6
2.1 Опште о полимерима	6
2.2 Састав пластичних маса	8
2.3 Основна структура полимера.....	9
2.4 Подела пластичних маса.....	10
2.4.1 Полиетилен – РЕ.....	11
2.4.2 Полипропилен - РР	12
2.4.3 Поливинил – хлорид – PVC	13
2.4.4 Поликарбонат – РС.....	14
2.4.5 Полистирол – PS	15
2.4.6 Полиметилметакрилат – РММА	16
3. Технологија вакуум – термообликовања.....	18
4. Проблеми у процесу вакуум-термообликовања	30
5. Машине за вакуум – термообликовање	43
6. Пример пројектовања машине за вакуум термообликовање.....	51
6.1 Постоље машине	54
6.2 Пнеуматски цилиндар и његов носач.....	55
6.3 Линеарне клизне вођице и постоље вакуумског плоче	56
6.4 Вакуумска плоча.....	57
6.5 Стезни механизам.....	57
6.6 Грејач.....	58
6.7 Склоп машине за вакуум термообликовање.....	59
7. Закључак	60
8. Литература.....	61

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

У данашњим условима индустријске производње и пласмана робе на тржиште, амбалажа има веома значајну улогу. Она треба да одговори на следеће захтеве:

- здравствену исправност,
- обезбеђење рока трајања упакованог производа,
- лаку манипулацију и транспорт и
- правилну презентацију робе.

Данас се за израду амбалаже најчешће користе полимерни материјали. Полимерни материјали су материјали двадесетог века. Прва синтеза полимера је извршена крајем деветнаестог, а индустријска примена полимерних материјала датира из прве половине двадесетог века. Друга половина двадесетог века означена је интензивним усавршавањем производње познатих полимерних материјала и проналажењем и синтезом великог броја полимера. У том периоду се јавља значајан тренд пораста примене ових материјала за различите намене.

Полимерну амбалажу је могуће произвести директно од полимерних материјала, а могуће је у првој фази произвести амбалажни материјал од кога се у следећој фази производи амбалажа. Произведени амбалажни материјал (филмови, фолије, траке и плоче), могу се комбиновати са другим материјалима (металним фолијама и тракама, папиром и картоном, па чак и стаклом). У зависности од захтева за тачно дефинисани квалитет (пропустљивост светлости, гасова, водене паре, ароматичних компонената, непропусности микроорганизама, могућности херметичног затварања садржаја, подобности за термичку обраду итд.), могуће је произвести амбалажу од полимерних или у комбинацији са другим материјалима, која ће у потпуности одговарати траженим захтевима.

Амбалажа израђена од или на бази полимерних материјала, најчешће се затвара формирањем вара чиме се обезбеђују услови херметичког паковања. Према потреби, херметички затворени прехранбени производи се могу конзервисати на различите начине, или се постиже дужа одрживост при дефинисаним условима складиштења.

Амбалажа од полимерних материјала има широку област примене и због еколошких разлога. За производњу и примену ове амбалаже се утроши најмање енергије по јединици упакованог садржаја, што је несумњива предност са аспекта заштите животне средине. Поред тога, данас су већ развијени технолошки процеси поновне прераде искоришћених полимерних материјала.

Под појмом полимерних материјала подразумевају се технички употребљиви материјали чију основу чине полимери. Они се данас убрајају у најважније техничке материјале. Они не служе само као замена за традиционалне материјале (метал, дрво, керамика и стакло) јер се користе и за израду предмета који се раније нису производили од традиционалних материјала. Полимерни материјали су постали незамењиви у многим подручјима људске делатности.

Амбалажа се може израђивати разним поступцима прераде пластичних маса. Најраспрострањенији поступак је вакуум термообликовање пластичних маса, јер се овим поступком могу производити како веома ситни, тако и делови великих димензија.

Спада у ред најекономичнијих поступака обраде пластичних маса. Термообликовање је процес термичке обраде пластике у виду фолије и плоча дебљине од 0,15 до 6 mm. Процес се заснива на изради жељених комада од пластичних маса односно вакуумата уз присуство термичког зрачења и вакуум технологије, а на основу претходно израђеног алата.

У овом раду биће представљени главни делови, начин монтаже и принцип рада машине за вакуум – термообликовање.

У другом поглављу рада описане су основне карактеристике пластичних маса, почев од структуре пластичних маса па до подела и основних својстава пластичних маса.

У оквиру трећег поглавља описана је технологија вакуумирања и поступци вакуум термообликовања.

У четвртном поглављу биће наведени могући проблеми, узроци и начини решавања наведених проблема у процесу вакуум – термообликовања.

У петом поглављу представљене су карактеристичне машине које се користе у процесу вакуум – термообликовања.

У шестом поглављу описано је пројектовање и принцип функционисања машине за вакуумско термообликовање, њених основних делова, а то су: грејач, систем за вакуум, носач алата и постоље машине. За моделирање је коришћен програмски пакет CATIA V5R21.

На крају рада дат је закључак и преглед коришћене литературе.

2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЛАСТИЧНИХ МАСА КОЈЕ СЕ МОГУ ПЕРАЋИВАТИ ТЕХНОЛОГИЈОМ ВАКУУМ – ТЕРМООБЛИКОВАЊА

Развојем хемијске индустрије последњих деценија и проналаском веома јаким, стабилних и композитних материјала, топлотно издржљивих арамидних влакана, високоеластичних еластомера и бикомпатибилних материја, учињен је значајан напредак у индустрији полимера [2].

Полимерни материјали се данас убрајају у најважније техничке материјале. Они не служе само као замена за традиционалне материјале (метал, дрво, керамика и стакло), већ се користе и за израду предмета који се раније нису производили од тих традиционалних материјала. Због широке примене ових материјала, њихов обим производње значајно премашује производњу свих метала заједно [2].

Предности елемената израђених од пластичних маса:

- лакша израда елемената, нарочито делова сложене конструкције, као и висока продуктивност,
- мала густина у односу на метал,
- стабилност полимерних материјала на вибрације и висока отпорност, омогућава широку примену,
- отпорност на киселине и раствараче,
- пропуштање светлосних зрака омогућава примену полимерних материјала у оптици (сочива), заштитника...
- високе антифрикционе особине полимерних материјала омогућава им примену у склоповима са трењем, при високим температурама и
- ниска цена коштања [2].

Недостаци полимерних материјала су:

- ниска чврстоћа на повишеним температурама,
- смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења и
- кратак век трајања што је у директној вези са процесом старења под утицајем светлости, топлоте, влаге и киселине [2].

2.1 Опште о полимерима

Пластичне масе су материјали код којих је основна компонента полимер. Термин полимер (настао од грчке речи *поли* – много и *мерос* – део) је синоним за макромолекулска једињења. Односно, полимери су материје које су изграђене од макромолекула, па се називају макромолекулским једињењима [3].

Једномолекуларна једињења – мономери имају својство да се под одређеним условима (одговарајућа температура и притисак) у присуству катализатора спајају у макромолекуларна једињења која се називају полимери [3].

Вештачке материје на бази макромолекула чине веома велику групу конструкционих материјала који се разликују по специфичним особинама које проистичу из њихових различитих аморфних структура [3].

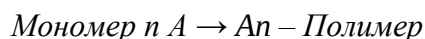
Полазне сировине су земни гас, нафта, угаљ, од којих се израђују основна хемијска једињења намењена за израду пластике. Ова се једињена различитим процесима преводе у полупроизводе облика: гранула, праха, течности, таблета. Даљи процеси прераде ових полупроизвода у финалне производе различитим поступцима прераде (пресовање, истискивање, убризгавање, натапање, каландровање и бројне методе резања и спајања), утичу не само на промену облика и структуре, већ обично изазивају промену хемијских веза које чине основу материјала [3].

Разликују се природни полимери који су саставни део биљака и животиња нпр. целулоза, скроб, беланчевине, каучук као и једињења у облику силицијум-диоксида и др., и синтетички полимери добијени хемијском прерадом и синтезом нискомолекуларних једињења (мономера) [3].

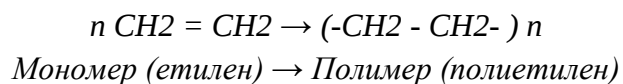
Синтетички полимери се добијају синтезом мономера, а основне методе су:

- полимеризација
- поликондenzација и
- полиадиција [3].

Полимеризација је стварање макромолекула спајањем мономера без издвајања споредних продуката и регруписавања атома у молекулу. Процес полимеризације се не сме прекидати јер се не може на исти начин и наставити. Полимеризација се може изразити једначином:



Односно, у случају етилена:



У наведеним једначинама n је степен полимеризације тј. број "мера" у полимерном молекулском ланцу. Средња вредност за полиетилен креће се од $n=3000$ до 25000 [3].

Посебан случај синтезе је полимеризација различитих мономера која се назива кополимеризација, при којој се стварају макромолекули састављени од основног састојка који се у полимеру углавном правилно понављају. Својства добијеног полимера се битно разликују од својстава компоненти (мономера), или од својстава њихове смеше.

Поликондензација је метода синтезе већег броја мономера у макромолекуле, уз издвајање споредних продуката, најчешће воде, амонијака и др. Синтеза при поликондензацији се може изводити ступњевито, па и са прекидима, који се могу у одређеним условима и наставити [3].

Полиадиција је метод синтезе која се одликује одсуством издвајања споредних продуката и могућношћу извођења у ступњевима, што указује да је то метода синтезе која се налази између полимеризације и поликондензације [3].

2.2 Састав пластичних маса

Пластичне масе, у највећем броју случајева, се састоје из полимера – синтетичких смола као основних компоненти и у мањем или већем обиму додатних материјала као што су пластификатори, пунила, боје, а понекад и мазива, стабилизатори и очвршћивачи. Такође, пластична маса може бити састављена само из полимера [2].

Пластификатори (омекшивачи) су органска једињења, хемијски активна, која се понекад додају у веома великим количинама у циљу повећања пластичности производа. Односно, пластификатори су материје у којима се полимери растварају, односно набубре, што изазива промену њихових својстава, првенствено повећање еластичности на рачун затезне чврстоће и тврдоће, као и измену неких физичко – хемијских својстава, у првом реду снижења температуре топљења. Побољшање својстава полимерних материјала додавањем пластификатора, у току производње или касније, назива се пластификацијом (омекшавањем) [2].

Пластификатори су већином естери дикарбосилних киселина, и то фталне, адипинске, себацинске, малеинске и сл. Најпознатији су дибутил-фталат, диоктил-фталат, дихексил-себацат, дилаурил-адипат, диамил-малеат и 2-етилхексил-сукцинат. Најчешће су у течном (уљаном), а понекад и у чврстом агрегатном стању [2].

Пунила су фино дисперговани, прашкасти, плочасти или кугласти додаци, али и врло кратка влакна, која се додају полимерима у веома малој количини, 5 - 25%. Пунилинама се могу мењати и побољшавати различита основна својства полимера: чврстоћа, тврдоћа, жилавост, течљивост, електрична проводљивост, способност електричне и топлотне изолације, постојаност облика, корозивност, а може и снижити цену полимерног материјала. Тако нпр. калцијум-карбонат (креда, доломитно брашно) појефтиније различите пластомерне производе, повећава ударну жилавост, а поли(винил-хлориду) повећава и самогасивост [2].

Каолин и листичасти силикати (талк, азбест), који се употребљавају и као ојачивачи, повећавају антикорозивност, чврстоћу и електроизолацијска својства дурометра и пластомера. Природне и синтетичке врсте силицијум-оксида (аморфна и микрокристална врста, кварц, кремен, песак) служе за пуњење пластомера, дуромера и еластомера, повећавају чврстоћу, тврдоћу и жилавост те тако смањују трошивост материјала. Баријум-сулфат се употребљава као тешко пунило за полиуретанем калцијум-сулфат као безбојно пунило за пластомере и дуромере. Силикатна и стаклена пунила у облику ситних куглица поспешују прерадљивост полимера [2].

Боје и пигменти служе да дају боју пластичној маси, а уз то повећају хемијску и термичку стабилност. Боје се лако мешају са полимерима и доступне су широкој палети нијанси. Од пигмената се употребљавају и неоргански (оксиди титана, цинка, гвожђа, олова, хрома и кадмијума итд.) и органски, који су нестабилнији, али су сјајни и боље провидности [2].

Мазива се користе како додаци да се смањи трење ради смањивања површинског трошења и адхезије (спољна мазива) и олакшавања прераде (унутрашња мазива). Спољашња мазива углавном се мешају с полимером и стварају мазиви слој између полимера и металних површина.

Већ према полимерном материјалу примењују се следећа спољашња мазива: парафини, полиолефини, органски фосфати, високомолекуларне масне киселине, алкохоли, амини и амиди са више од 12 угљеникових атома у ланцу. Унутрашња мазива називају се и псеудопластификаторима, односно високотемпературним пластификаторима, а могу се мешати са полимером при повишеној температури обраде, али слабије мешају при нормалним температурама. Типична унутрашња мазива су глицерол-моностеарат, цинк-стеарат и др [2].

Топлотни стабилизатори се користе да смање оксидацију која се може јавити услед деловања топлоте на полипласте приликом прераде. Као антиоксиданси који се додају, најделотворнији су неки супституирани феноли [2].

Светлосни стабилизатори заустављају или успоравају разградњу материјала деловањем ултраљубичастих зрака јер полимерни материјали, као и друга органска једињења, разграђују се под дејством ултраљубичастих зрака тако што пуцају хемијске везе у макромолекулима. Разградња се огледа у многим променама материјала као што су промена боје, појава напрелина, смањење механишких и еластичних својстава, па материјал постаје врло крт и на крају се претвара у прашину. Стабилизатори спречавају разградњу полимера најчешће тако да сами апсорбују велики део енергије ултраљубичастог зрачења, а потом примљену енергију поступно отпуштају [2].

Очвршћивачи за разлику од пунила која се додају полимерима у минорној количини, уграђују се у полимерну основу у много већој количини (50 – 80%), тако да се битно мењају механичка својства полимерних производа, у првом реду чврстоћа. Основу очвршћивача чине влакна, која се уграђују у различитим облицима: као моновлакна, нити, траке итд [2].

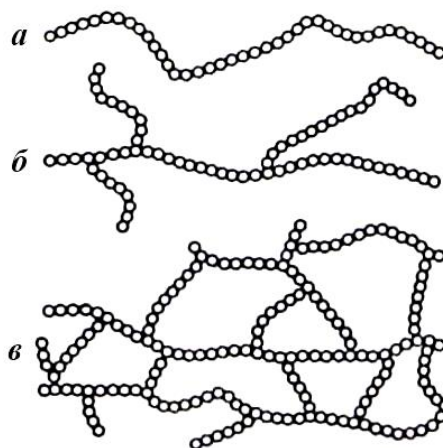
2.3 Основна структура полимера

Као што је већ поменуто, макромолекуларни полимери добијају се од простих молекула – мономера, (од грчке речи моно – један и мерос – део), и њиховим вишеструким понављањем. Тако добијен издужен ланчасти молекул назива се полимер [3].

Полимери се према структури полимерних ланаца могу поделити на:

- линеарне,
- разгранате и
- мрежасте [3]

Најједноставнији су линеарни полимери, код којих су понављајуће јединице повезане у издужен или савијен ланац (Слика 2.1.а). Код разгранатих полимера на основном полимерном ланцу налазе се краћи или дужи огранци састављени од истих понављајућих јединица од којих се састоји и главни полимерни ланац (Слика 2.1.б). Мрежасте полимери имају међусобно повезане полимерне ланце у дводимензионалне и тродимензионалне мреже (Слика 2.1.в) [3].



Слика 2.1 Општи изглед макромолекула, а) линеарни, б) разгранати, в) мрежасти полимер [3]

2.4 Подела пластичних маса

У зависности од понашања на повишеним температурама пластичне масе могу се поделити у две основне групе:

- термопластичене масе (термопласти) и
- термореактивне масе (дуропласти) [2].

Термопластични материјали (термопласти) су материјали са линеарним и разгранатим макромолекуларним структурама. Загревањем до температуре мекшања или топљења не мења своју хемијску структуру, па њихова прерада представља само реверзибилну промену стања. На тим температурама се могу формирати у жељене облике, а загревање и хлађење може се понављати без битних промена основних својстава. Термопласти могу бити аморфни или кристаласти [2].

Аморфни термопласти, нпр. полиизобутен, тврди поли(винил-хлорид), полистирен, структурно су аморфне (несређене) материје у стаклом стању које изграђују макромолекуле неправилне грађе [2].

Кристаласти термопласти садрже, осим аморфне, и кристалну фазу. Могу бити: а) кристаласти термопласти с пластичном аморфном фазом (полиетилен, полипропилен, полиоксиметилен); б) кристаласти термопласти са стаклом аморфном фазом (полиамиди, поликарбонати) [2].

Термореактивни материјали (дуропласти) јесу пластичне масе с густо просторно умреженом макромолекуларном структуром. Уобичајено се добијају у два корака: у првом кораку настаје реактивна дуромерна смола, углавном вискозна, смоласта маса, која у другом кораку загревањем прелази у свој коначан облик настајањем тродимезионалног макромолекуларног састава, који је нетопљив. Таква структура настаје иреверзибилним умрежавањем линеарних макромолекула ковалентним хемијским везама. Та врста полипласта поседује повећану чврстоћу, а механичка својства, за разлику од термопласта, не зависе од температурних промена. Загревањем на високим температурама дуροпласти се не топе, већ се хемијски разграђују пуцањем примарних хемијских веза. Дуропласти су старија врста полипласта [2].

Од данас коришћених полимерних материјала (преко 10 000 комерцијалних), с масеним уделом од 80 %, доминира група с четири "масовна" пластомера: PE, PP, PS и PVC. У табели су обухваћени најчешће коришћени пластомери (табела 1). Наведене ознаке пластомера изведене су из њихових назива на енглеском језику и међународно су прихваћене [2].

Табела 1. Најчешће коришћене термопластичне масе са ознакама [2]

ОЗНАКА	НАЗИВ	ОЗНАКА	НАЗИВ
ABS	Акрилнитрил/бутадиен/стирен	PIB	Полиизобутилен
PMMA	Поли(метил-метакрилат)	CA	Целулозни ацетат
POM	Поли(оксиметилен)	CN	Целулозни нитрат
PP	Полипропилен	PPO	Поли(фенилен оксид)
PA	Полиамид(најлон)	PPS	Поли(фенил-дулфид)
PBT	Поли(бутилен-терефталат)	PS	Полистирен(полистирол)
PC	Поликарбонат	PSU	Полисулфон
PE	Полиетилен	PTFE	Поли(тетрафлуор-етилен)
PEEK	Поли(етер-етер-кетон)	PVC	Поли(винил-хлорид)
PET	Поли(етилен-терефталат)	PVDF	Поли(винилиден-флуорид)
PI	Полиимид	SAN	Поли(стирен/акрилонитрил)

Термопласти који се најчешће користе за израду делова вакуум – термообликовањем су детаљније описани у наредном делу текста.

2.4.1 Полиетилен – PE

Најважније карактеристике:

Полиетилени су нетоксични термопласти, без мириса и укуса, отпорни на уља, масти и многе хемикалије. Флексибилни су, лагани и у танком слоју прозирни. Имају велику жилавост и флексибилност прераде при релативно ниским температурама. На темељу разлика у густини, односно просечној молекулској маси, полиетилен се као технички материјал сврстава у неколико типова:

1. Полиетилен ниске густине (енгл. low density polyethylene, LDPE)
2. Линеарни полиетилен ниске густине (енгл. linear low density polyethylene, LLDPE)
3. Полиетилен високе густине (енгл. high density polyethylene, HDPE)
4. Полетилен ултра високе молекулске масе (енгл. ultra high molecular weight polyethylene, UHMWPE) [3]

Полиетилен ниске густине (LDPE)

Густина полиетилена ниске густине износи од 0,915 до 0,935 g/cm³. Он омекшава већ на температури од 85 до 87 °C, а почиње се топити на ~110 °C. То је жилав материјал високог модула еластичности, воскасте конзистенције и непотпуне прозирности. Прерађује се екструдирањем, дувањем, вакуумирањем, ротоливењем, пресовањем и заваривањем. Тешко се лепи [3].

Линеарни полиетилен ниске густине (LLDPE)

Линеарни полиетилен ниске густине (LLDPE) настаје кополимеризацијом етилена и додатком 5 до 10% неког од алфа олефина. Најчешће су то 1-бутен, 1- хексен

и 1-октен. Тако настаје претежно линеарни макромолекуларни полиетилен с много мањих бочних група. Иако је густина тог типа полиетилена ниска (од 0,917 до 0,935 g/cm³), ипак је он због линеарне структуре сличнији полиетилену високе густине. Његове макромолекуле имају повећан степен кристалности па је повишена и топлівост, а садржи и нека добра својства поетилене ниске и полиетилена високе густине, као нпр. добра жилавост уз несмањену чврстоћу [3].

Полиетилен високе густине (HDPE)

Полиетилен високе густине има макромолекуле углавном линеарне структуре и врло мале разгранатости, па зато има велики садржај кристалне фазе и већу густину. Његова густина износи од 0,94 до 0,97 g/cm³ док омекшава на температури ~127 °C. Тврдоћа и чврстоћа уопште су му веће од вредности за полиетилен ниске густине. Изразито му је повећана и хемијска постојаност [3].

Полиетилен ултра високе молекулске масе (UHMWPE)

С просечном релативном молекулском масом од $2 \cdot 10^6$ до $6 \cdot 10^6$ и густином од 0,94 g/cm³, врло је цењен као технички материјал. Постојан је према абразији и замору материјала, површина му је глатка, показује велику ударну жилавост и мањи коефицијент трења [3].

Табела 2. Важније физичке карактеристике полиетилена [3]

Карактеристика	Јединица	PELD	PEHD
Густина	g/cm ³	0.915-0.935	0.94-0.97
Затезна чврстоћа	N/mm ²	4.15-14.8	18.7-33
Издужење при кидању	%	90-800	20-130
Отпорност на притисак	N/mm ²		19-25
Затезна ударна жилавост	J/m		25-1000
Модул еластичности	N/mm ²	100-265	415-1250
Модул смицања	N/mm ²	150-350	
Тврдоћа (Shore)		D 40-51	D 60-70
Индекс лома		1.51	1.54
Специфични топлотни капацитет	J/kgK	2.3	2.3
Топлотна проводљивост	W/Kcm	$33 \cdot 10^{-4}$	$(46-50) \cdot 10^{-4}$
Коефицијент топлотног ширења	1/K	$(10-22) \cdot 10^{-5}$	$(11-13) \cdot 10^{-5}$
Температура употребе	°C	80/100	110/120
Температура омекшавања	°C	85/87	127
Температура топљења	°C	110	134-141

2.4.2 Полипропилен - PP

Најважније карактеристике:

Полипропилен има изузетну комбинацију механичких, топлотних и електричних особина. Заузима све значајније место у примени. Полипропилен је безбојан термопласт. У природном стању је прозиран и може се бојити у разне нијансе. Има најнижу густину од свих комерцијалних термопласта. Одликује га велика чврстоћа на истезање, велика тврдоћа површине и велика отпорност на савијање (Табела 3.) [3].

Постојан је на високим температурама, код 100°C не омекшава и задржава крутост. Има добре диелектричне способности. Хемијска постојаност РР – а је одлична чак и при температурама где се неки термопласти не могу користити. РР је веома постојан према води. Апсорпција воде након 24 часа је мања од 0,5%. Киселине и базе у концентрованој форми не делују на РР чак ни при температури од 60°C . Загревањем на ваздуху РР је подложен оксидацији чија је вредност већа што је виша температура. Додавањем различитих пунилаца и стабилизатора развијен је велики број различитих типова РР за посебне намене [3].

Начин прераде:

РР се успешно прерађује пресовањем, екструдирањем (плоче, шипке, профили, цеви, облагање каблова, траке за палете, текстилна влакна), каландрирањем, термоформирањем, ротоливењем, дувањем (дувава амбалажа и шупља тела) и бризгањем. Заварује се ултразвуком [3].

Примена РР – а:

Значајна је употреба у аутомобилској индустрији, где све више замењује друге материјале. Употребљава се за израду метализираних делова, пресвлака и тепиха, па и виталних делова мотора. У новије време се очекује замена ABS – а РР – ом, при изради сигурносних појасева, волана и плоча за инструменте. У грађевинарству се употребљава за израду водоводних цеви за хладну и топлу воду. Користи се и за израду делова у електро и радио индустрији [3].

Табела 3. Важније физичке карактеристике полипропилена [3]

Карактеристика	Јединица	РР
Густина	g/cm^3	0.90-0.91
Затезна чврстоћа	N/mm^2	31-41
Издужење при кидању	%	100-600
Отпорност на притисак	N/mm^2	38-55
Затезна ударна жилавост	J/m	21-53
Модул еластичности	N/mm^2	1100-1500
Модул смицања	N/mm^2	800
Тврдоћа (Shore)		R 80-100
Индекс лома		1.49
Специфични топлотни капацитет	J/kgK	2
Топлотна проводљивост	W/Kcm	$12 \cdot 10^{-4}$
Коефицијент топлотног ширења	$1/\text{K}$	$(8.1-10) \cdot 10^{-5}$
Температура употребе	$^{\circ}\text{C}$	max 125
Температура омекшања	$^{\circ}\text{C}$	150-155
Температура топљења	$^{\circ}\text{C}$	160-170

2.4.3 Поливинил – хлорид – PVC

Најважније карактеристике:

PVC је без адитива тврд и ломљив, а уз додатак адитива (пластификатора) мекан. Отпоран је према воденим растворима, а отпорност према сунцу је задовољавајућа. Отпорност на температуре је мала. Температурно подручје примене PVC-а је између -30°C и 80°C . Основна карактеристика PVC-а је термопластичност (Табела 4.). деловањем температуре PVC постаје све мекши, а на одређеној температури је сличан

гуми. Самогасив је, отпоран на хемикалије, хабање, има неограничену могућност бојења, има добру димензиону стабилност и отпоран је на атмосферске утицаје [3].

PVC је бледо жућкасти материјал без укуса и мириса. Производ полимеризације је прах од кога се даљом прерадом добија тврди и меки PVC [3].

Тврди PVC се добија прерадом полимерног праха са малом количином додатака, али без пластификатора. То је тврд и жилав материјал, који се тешко прерађује, али је врло стабилан при атмосферским утицајима, влаге и хемикалије [3].

Меки PVC се добија прерадом основног полимерног праха са додатком пластификатора. Карактеристике квалитета зависе од врсте и количине пластификатора. У односу на тврди PVC, меки PVC је слабијих механичких карактеристика, мање је отпоран на деловање топлоте, атмосферских услова и хемикалија, али се лакше прерађује, савитљив је и има способност истезања [3].

Начин прераде:

Највећи део PVC-а прерађује се каландрирањем за израду флексибилних фолија, екструдирањем и бризгањем. Заварује се ултразвуком [3].

Примена PVC-а:

У аутомобилској индустрији за израду пресвлака, готово је потиснуо гуму, асфалт код израде подова, кожу код пресвлака намештаја, као и друге материјале у грађевинарству. У новије време потискује стакло код израде провидних боца. Тврди PVC је врло добар изолатор [3].

Табела 4. Важније физичке карактеристике PVC-а [3]

Карактеристика	Јединица	PVC тврд	PVC мек
Густина	g/cm ³	1.38-1.56	1.16-1.35
Затезна чврстоћа	N/mm ²	40-60	10-25
Издужење при кидању	%	30-70	250-450
Отпорност на притисак	N/mm ²	55-90	6-12
Затезна ударна жилавост	J/m	20-1000	
Модул еластичности	N/mm ²	2450-4200	
Модул смицања	N/mm ²		
Тврдоћа (Shore)		D 65-85	A 40-100
Индекс лома		1.52-1.55	
Специфични топлотни капацитет	J/kgK	0.8-1.1	1.3-2
Топлотна проводљивост	W/Kcm	(15-20)·10 ⁻⁴	(13-17)·10 ⁻⁴
Коефицијент топлотног ширења	1/K	(5-10)·10 ⁻⁵	(7-25)·10 ⁻⁵
Температура употребе	°C	max 65/80	max 50/75
Температура омекшања	°C		
Температура топљења	°C	80-85	75-80

2.4.4 Поликарбонат – PC

Најважније карактеристике:

Главне карактеристике PC-а су висока прозирност (до 90% прозирности стакла), висока отпорност на удар, отпорност на пузање, могућност употребе у широком температурском подручју, димензионална стабилност, добре диелектричне особине и самогасивост. Врло су крути, отпорни на хабање и хемикалије [3].

Начин прераде:

РС се прерађује бризгањем, дувањем, екструдирањем. Може се лепити, вакуумирати и заваривати. Полупроизводи могу се лако механички обрађивати, такође и метализирати. РС има одличне механичке и топлотне особине, као и димензиону стабилност. од посебне важности је сушење овог термопласта и прерада у сувом стању. Гранулат не сме бити прашњав или прљав [3].

Примена РС-а:

Користи се у пољопривреди, у индустрији воћних сокова (због нешкодљивости у додиру са храном), затим у мерној и техници управљања за показне инструменте, за израду делова за фото-апарате и филмске камере итд [3].

Табела 5. Важније физичке карактеристике РС-а [3]

Карактеристика	Јединица	РС
Густина	g/cm ³	1.2
Затезна чврстоћа	N/mm ²	65
Издужење при кидању	%	110
Отпорност на притисак	N/mm ²	85
Затезна ударна жилавост	J/m	720
Модул еластичности	N/mm ²	2400
Модул смицања	N/mm ²	
Тврдоћа (Shore)		M70
Индекс лома		1.586
Специфични топлотни капацитет	J/kgK	1.3
Топлотна проводљивост	W/Kcm	20·10 ⁻⁴
Коефицијент топлотног ширења	1/K	6.8·10 ⁻⁵
Температура употребе	°C	120
Температура омекшања	°C	
Температура топљења	°C	170

2.4.5 Полистирол – PSНајважније карактеристике:

Добија се полимеризацијом стирола. Термопластичан је, безбојан и прозачан, лако се боји, отпоран је на воду, растворе киселина и база и атмосферске утицаје. На топлоти није довољно постојан. Делови израђени од полистирола почињу да се деформишу на температури од око 80°C (Табела 6.) [3].

Начин прераде:

PS одликује се лако прерадљивошћу. Прерађује се свим процесима прераде пластомера у температурном опсегу 180 - 250°C, посебно бризгањем, екструдирањем у плоче и филмове, такође и дувањем у предмете различитих облика. Екструдирани плоче од модификованог полистирена могу се лако прерађивати у производе обликовањем у вакууму. Производи од полистирена лако се накнадно обрађују механички, топлотом или заваривањем, а могу се производити у свим бојама и нијансама [3].

Примена полистирола:

Једна од првих експандованих пластичних маса је пена од полистирола, која је употребљена као замена плути, при паковању, за изолацију и декорацију. У

аутомобилској индустрији од полистирола су израђена стакла уређаја за осветљење, сигнална стакла, дугмад, детаљи електроарматура и др [3].

ABS – Терполимер

Најважније карактеристике:

У поређењу са полистиреном, ABS показује велику ударну жилавост, лако се метализира и показује релативно велику постојаност према топлоти. Типови за прехранбену индустрију имају добру хемијску постојаност. ABS показује изврсну комбинацију својстава ударне жилавости (чврстоће), крутости, обликовања, постојаности према топлоти и влази (Табела 6.). То је разлог да ABS сваким даном налази све већу примену на свим подручјима [3].

Начин прераде:

ABS се прерађује поступком ињекцијског пресовања, дувањем, екструдирањем, каландровањем, ваљањем, експандирањем. Тако добијени израдци могу се вакуумирати, метализирати, штампати, лепити, ултразвучно заваривати, гравирати и полирати [3].

Примена ABS-а:

Употребљава се у хемијској, текстилној, електро и аутомобилској индустрији као и изради кућних апарата и уређаја за радио и ТВ, телефоне, играчке, чамце итд [3].

Табела 6. Важније физичке карактеристике PS-а и ABS-а [3]

Карактеристика	Јединица	PS	ABS
Густина	g/cm ³	1.05-1.06	1.03-1.06
Затезна чврстоћа	N/mm ²	33-55	41-56
Издужење при кидању	%	1-2	5-25
Отпорност на притисак	N/mm ²	80-110	75-85
Затезна ударна жилавост	J/m	13-20	160-320
Модул еластичности	N/mm ²	2400-3300	2000-2800
Модул смицања	N/mm ²		
Тврдоћа (Shore)		M 65-80	R 107-115
Индекс лома		1.59	-
Специфични топлотни капацитет	J/kgK	1.3	1.3-1.7
Топлотна проводљивост	W/Kcm	(10-14)·10 ⁻⁴	(19-33)·10 ⁻⁴
Коефицијент топлотног ширења	1/K	(6-8)·10 ⁻⁵	(8-10)·10 ⁻⁵
Температура употребе	°C	70	75-90
Температура омекшања	°C		
Температура топљења	°C	100-105	90-100

2.4.6 Полиметилметакрилат – PMMA

Најважније карактеристике:

PMMA је најпрозирнији полимер од свих пластичних маса, осим PC, PETP и PBTP уједињује својства крутости и отпорности на старење, чак и онда када је изложен на отвореном. Има добра механичка својства, мало упијање воде, лако се механички обрађује, поседује изврсну постојаност облика, има широку скалу боја. Поседује одличну постојаност према микробиолошком деловању као и према растворима анорганских соли. Много се употребљава у прехранбеној индустрији јер је без укуса и мириса, односно физиолошки је индиферентан (Табела 7.) [3].

Начин прераде:

РММА се обликује ињекцијским пресовањем, ливењем, дувањем и екструдирањем. Плоче се лако вакуумирају и метализирају. Може се лепити и заваривати ултразвуком, а лако се обрађује разним механичким поступцима [3].

Примена РММА:

Главна му је употреба у изради прозирних плоча, неломивог стакла, светлећих реклама, за каде и туш кабине, у прехранбеној индустрији, у изради украса и техничких производа, играчака и сл. Такође се могу употребљавати у облику раствора или суспензија за лакове, боје, лепак, текстилне апликације, као и укожарској, папирној и осталим индустријама [3].

Табела 7. Важније физичке карактеристике РММА [3]

Карактеристика	Јединица	РММА
Густина	g/cm ³	1.18
Затезна чврстоћа	N/mm ²	50-75
Издужење при кидању	%	5
Отпорност на притисак	N/mm ²	80-125
Затезна ударна жилавост	J/m	15-30
Модул еластичности	N/mm ²	2600
Модул смицања	N/mm ²	1700
Тврдоћа (Shore)		M 85-105
Индекс лома		1.491
Специфични топлотни капацитет	J/kgK	1.5
Топлотна проводљивост	W/Kcm	(16-24)·10 ⁻⁴
Коефицијент топлотног ширења	1/K	(5-9)·10 ⁻⁵
Температура употребе	°C	120
Температура омекшања	°C	
Температура топљења	°C	170

3. ТЕХНОЛОГИЈА ВАКУУМ – ТЕРМООБЛИКОВАЊА

Овим поступком обликују се пре свега термопласти као на пример полистирен (PS) (масиван или пенаст), термополимер акрил будадијен стирен (ABS), целулозни ацетат, поливинил хлорид (PVC), и др [8].

Припремци за топло обликовање су у облику трака, филмова и плоча исечених на одговарајућу димензију. Припремци могу бити обликовани и пресовањем. Топло обликовање изводи се на припремцима у гумастом стању, што омогућује да се обрадак брже охлади него у случају обликовања у растопљеном стању. Целокупан циклус обраде због тога је краћи него код обликовања у растопљеном стању [8].

Топло обликовање врши се уз помоћ:

- а) Притиска флуида
- б) Вакуума
- ц) Чврстих елемената алата
- д) Слободно
- е) Комбиновано [8]

Друга важна карактеристика топлог обликовања је да је оптерећење далеко мање него код других процеса (нпр. код пресовања). Због тога се алати могу израђивати од материјала са нижим механичким својствима. Цена ових алата нижа је у односу на друге поступке [8].

Недостаци топлог обликовања:

1. Велика количина отпадног материјала – који настаје због потребног опсецања обратка. Остаци материјала се по правилу рециклирају.
2. Висока цена полазног материјала (филмови, траке, фолије)
3. Лимитирани облици обратка – који се своди углавном на отворене облике. Израда делова са оштрим ивицама и промењивим дебљинама материјала је доста отежано а некада и немогуће. Тако долази и до неконтролисане промене дебљине материјала.
4. У неким случајевима топло обликовање изводи се помоћу унутрашњих напона у материјалу, што може бити лимитирајући фактор [8].

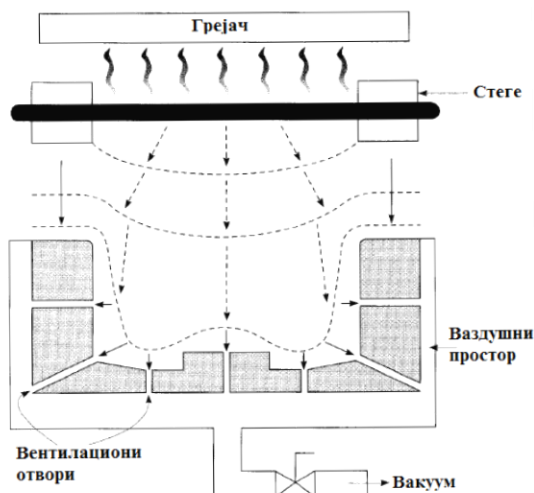
Предности топлог обликовања:

1. ниски трошкови машине
2. ниски температурни захтеви
3. ниски трошкови алата
4. низак притисак (оптерећење) обликовања
5. могућност обликовања великих делова
6. кратак (брз) радни циклус [8]

Постоји велики број метода топлог обликовања зависно од врсте примењеног уређаја и начина стварања оптерећења при обликовању [8].

ВАКУУМСКО ОБЛИКОВАЊЕ

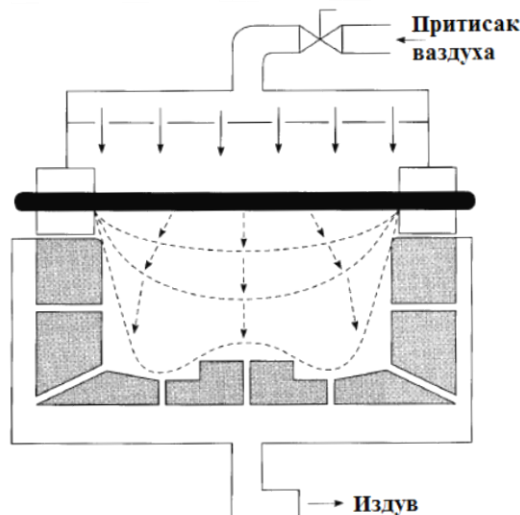
Припремак у облику исечене плоче поставља се на рам који држи материјал. Материјал се загрева све док се не појави улегнуће, након чега се рам са обратком поставља на калуп за обликовање на чијој чеоној површини се налази заптивач. Дејством вакуума приљубљује се материјал уз зидове калупа. Овај начин обликовања користи се у случају када је потребно на обратку постићи фине детаље са стране калупа [8].



Слика 3.1 Вакуумско обликовање [8]

ОБЛИКОВАЊЕ ПРИТИСКОМ

Слично као у претходном случају материјал се поставља у калуп, загревава, а дејством ваздуха под притиском формира се облик обратка приљубљивањем омекшаног материјала уз зидове калупа. Отвори на зидовима калупа омогућују пролаз ваздуха испод облика да би се избегао контра притисак и олакшало обликовање. Притисак обликовања је 1 до 2 бара, а треба да делује брзо како се обрадак не би охладио. Овај поступак је бржи од вакуумског [8].

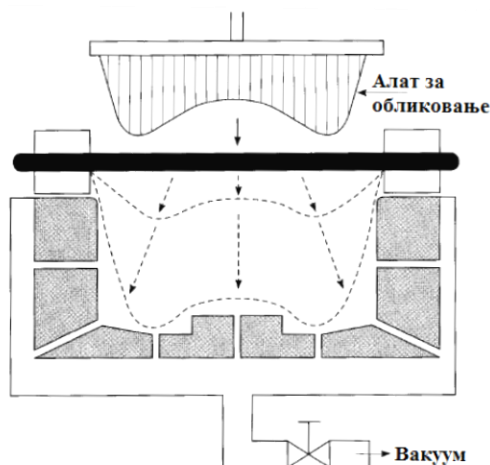


Слика 3.2 Обликовање притиском [8]

ОБЛИКОВАЊЕ ПОМОЋУ ОБЛИКАЧА

У неким случајевима, код сложених облика обратка, добар облик обратка не може се постићи дејством вакуума и притиска, већ се мора применити обликовање помоћу чврстог обликача и матрице [8].

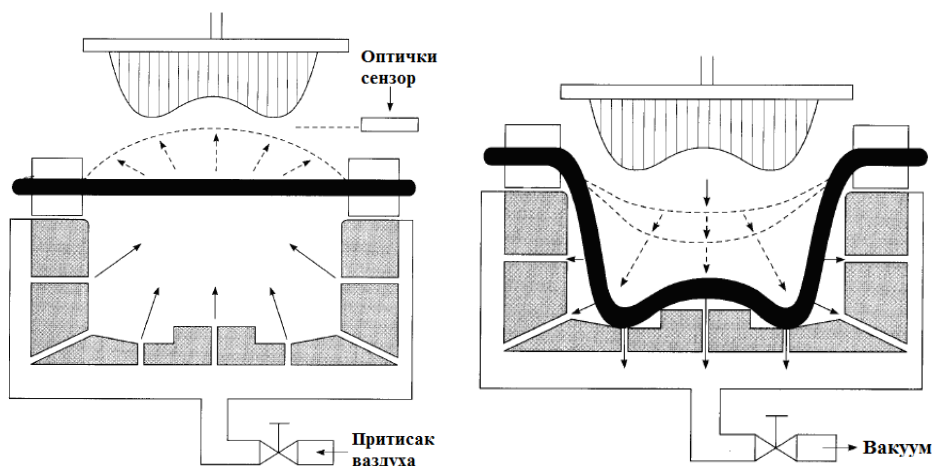
Главна предност овог поступка је униформност дебљине зида обратка, која код вакуума и притисног обликовања није присутна. Чврст обликач омогућује да се материјал пребаци у зону отежаног течења, те на тај начин обезбеди потребну дебљину обратка. Жиг нема улогу потпуног дефинисања облика обратка већ само помаже правилном течењу материјала. Облик обратка одређен је вакуумом и калупом. Обликач се израђује од метала, дрвета, термопластике [8].



Слика 3.3 Обликовање помоћу обликача [8]

РЕВЕРЗИБИЛНО РАЗВЛАЧЕЊЕ

Овај поступак примењује се у случају веће дубине извлачења. У првој фази обликовања загрејаног материјала врши се надувавање мехура и стварање почетне дебљине зида која се електронски контролише. Потом делује обликач који у тренутку контакта са материјалом зауставља даље стањење материјала у централном делу обратка, док се преостали део материјала нормално стањује. Деловањем вакуума формира се финални облик обратка [8].



Слика 3.4 Прва фаза обликовања [8]

Предност овог поступка у односу на претходни је боља контрола дебљине зида обратка. Недостатак овог процеса је дужи радни циклус.

Фино подешавање дебљине обратка врши се:

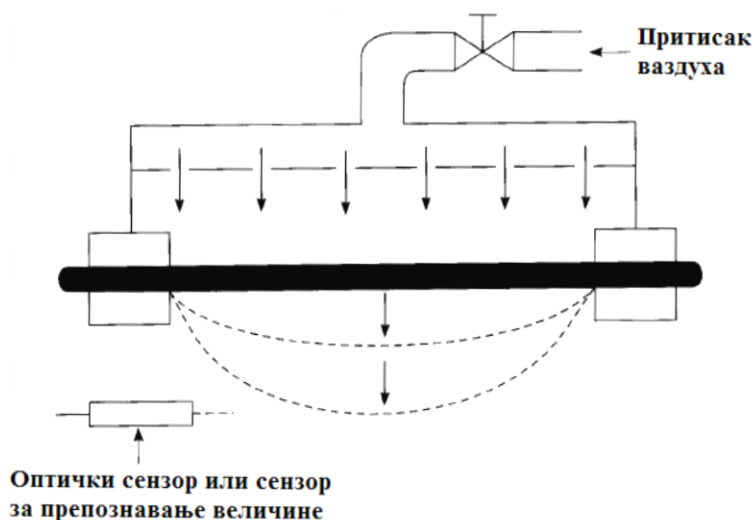
- варирањем температуре обраде
- варирањем димензија обратка у првој фази
- димензијама обликача (чепа)
- обликом обликача (чепа)
- брзином кретања обликача [8]

СЛОБОДНО ОБЛИКОВАЊЕ

Код неких обрадака захтевају се висока оптичка својства, па је немогућа примена чврстих елемената алата за обликовање. У том случају примењује се овај поступак [8].

Поступак обликовања је сличан првој фази обликовања код претходног поступка. Величина мехура контролише се електронски [8].

Дијапазон облика обрадака добијених слободним обликовањем је веома сужен у односу на обликовање помоћу калупа. Међутим, одређене промене облика могу се остварити варирањем облика држача обратка. Ако је држач кружни прстен обрадак је сферичан а ако је држач у облику сузе обрадак ће бити издужен и аеродинамичан, нпр. ветробран тркачког аутомобила који мора да има добра оптичка својства [8].



Слика 3.5 Слободно обликовање [8]

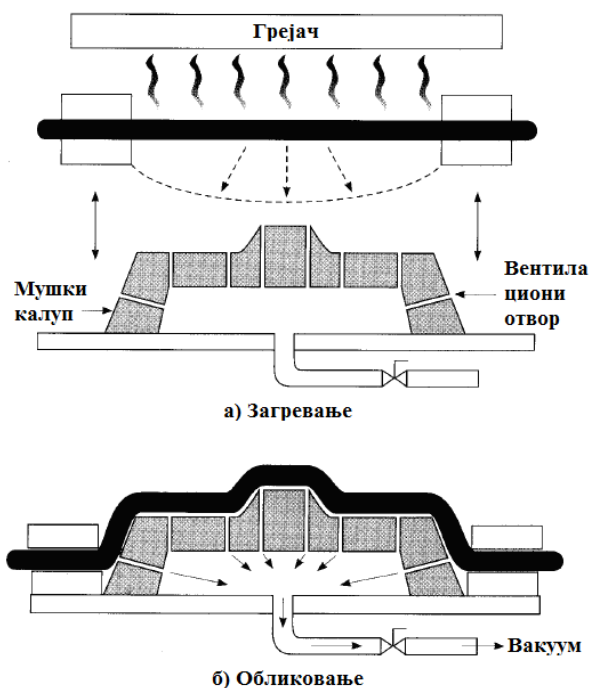
ВАКУУМСКО ОБЛИКОВАЊЕ С ПРЕДРАЗВЛАЧЕЊЕМ

Код оваквог поступка обликовања загрејани припремак ствара висећи облик мехура, а затим се формирање завршног облика обратка остварује помоћу обликача (мушког) и вакуума [8].

Овај поступак може да се комбинује са поступком биаксијалне оријентације материјала, а у том случају се развлачење материјала врши ван држача непосредно пре превлачења преко обликача. На тај начин се постижу боља механичка својства обратка .

Употреба обликача уместо калупа је обавезна онда када се жели постићи добар квалитет унутрашње површине обратка. Главна предност овог поступка је већи однос извлачења у односу на обликовање помоћу калупа. Друга предност је мања цена обликача на цену калупа [8].

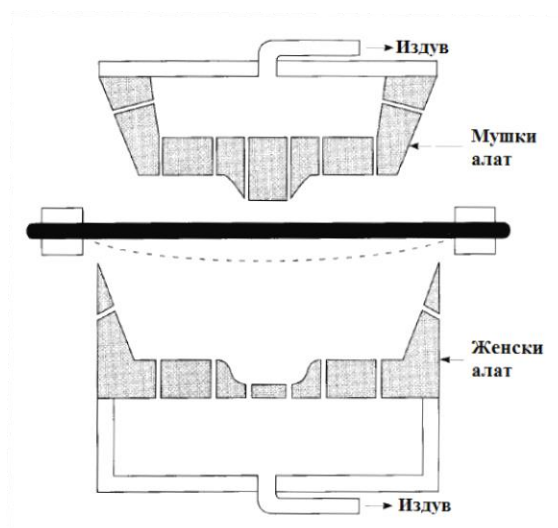
Пошто се предобликовање код овог поступка врши притиском то је укупни радни циклус краћи. Недостатак овог поступка је велики отпад материјала и потребан велики радни простор [8].



Слика 3.6 Вакуумско обликовање са предразвлачењем [8]

ОБЛИКОВАЊЕ ПОМОЋУ ДВОДЕЛНОГ АЛАТА

Овај поступак примењује се код сложених конфигурација обратка, кад се тражи висока тачност. У том случају облик обратка одређује и калуп и жиг, односно простор између та два дела алата. Загревањем припремка врши се слободно предобликовање, а потом следи завршно обликовање у калупу помоћу жига [8].

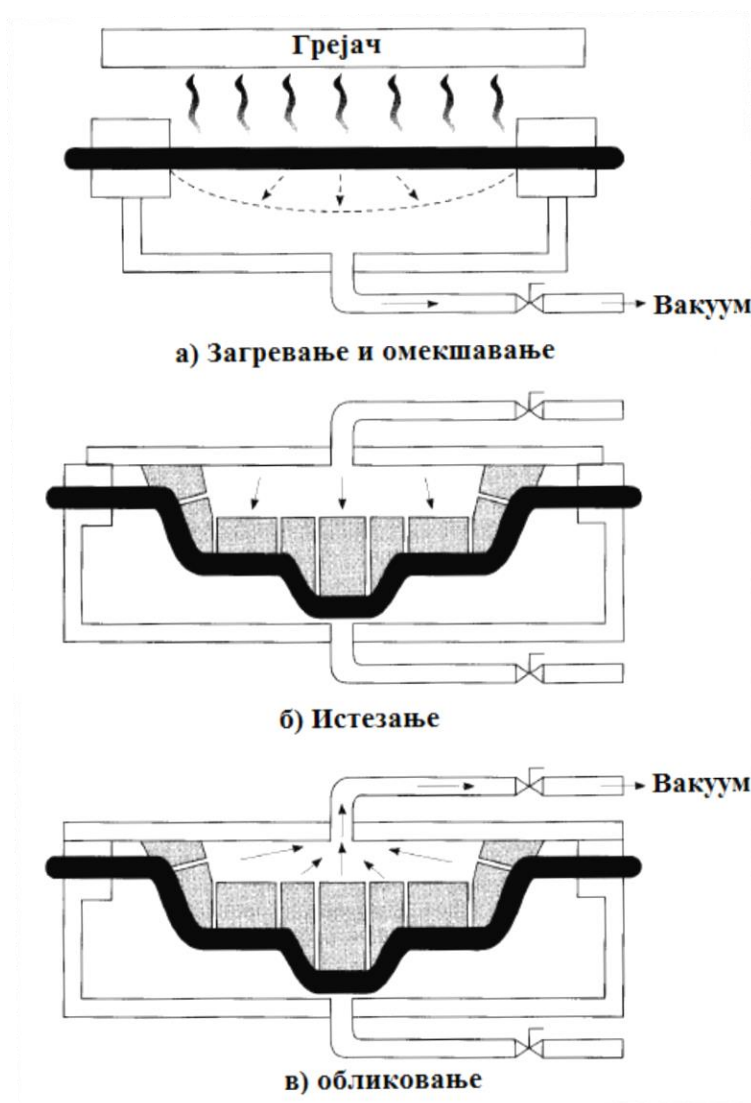


Слика 3.7 Обликовање помоћу дводелног алата [8]

Отвори у калупу и жигу омогућују одвођење заробљеног ваздуха. Притисак обликовања који је у овом случају последица деловања механичке силе је знатно виша у односу на друге поступке топлог обликовања, али је знатно нижа у односу на ињекционо пресовање. Обликовање дводелним алатом примењује се за делове са мањом дужином извлачења. Делови великих димензија производе се овом методом. Такође се ова технологија примењује за делове са високом тачношћу димензија [8].

ТОПЛО ОБЛИКОВАЊЕ У КАЛУПУ СА ВАКУУМСКИМ ПРЕДОБЛИКОВАЊЕМ

Ово обликовање је варијанта претходне обраде с тим што се развлачење остварује вакуумски. Стање материјала најинтензивније је у центру обратка, а простире се од $1/2$ до $2/3$ дубине обратка [8].



Слика 3.8 Топло обликовање у калупу са вакуумским предобликовањем [8]

Следећа фаза обраде је извлачење у калупу, где се фиксира дебљина обратка у централном делу а промена дебљине материјала могућа је у периферним зонама, тј. На ивицама обратка [8].

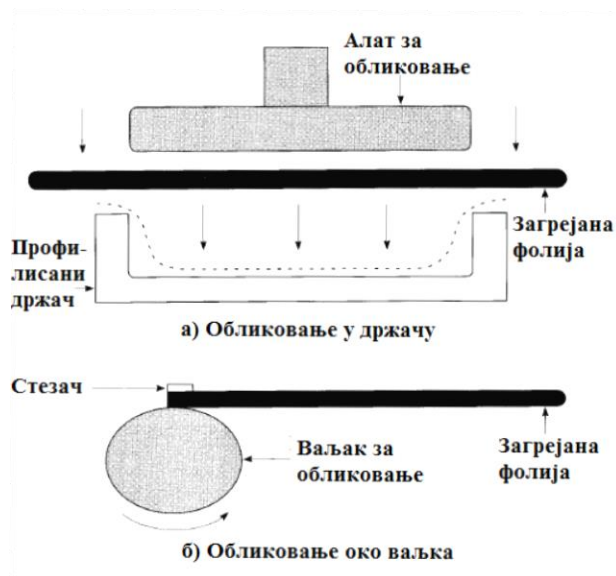
Финална фаза обликовања је обликовање вакуумом. Хладјење обратка је последња фаза обраде а изводи се у калупу. Овај поступак омогућује производњу обратка сложених облика и добру контролу дебљине обратка [8].

МЕХАНИЧКО ТОПЛО ОБЛИКОВАЊЕ

То су једноставни поступци обликовања уз употребу одговарајућих алата (не калупа и обликача), који омогућују лако обликовање претходно загрејаног материјала. Алати у овом случају су једноставне конструкције [8].

На слици 3.9а приказано је обликовање помоћу једноставног кутијастог контејнера и притискивача у који се убацује угрејани припремак. Уместо притискивача може се користити ваљчић којим се матријал приљубљује уз зид контејнера [8].

На слици 3.9б приказано је топло обликовање савијањем траке око одговарајућег металног језгра. И у једном и у другом случају комад остаје у алату или трну док се потпуно не охлади [8].



Слика 3.9 Механичко топло обликовање [8]

ПАКОВАЊЕ У МЕХУРЕ И ФОЛИЈУ

Блистер паковање користи се у медицини и малопродаји за паковање малих ствари (производа). У оба случаја паковања (блистер или скин) производ се налази између две фолије од којих је једна обична провидна [8].

Блистер паковање врши се топлим обликовањем а покривни филм је обично прозирна пластика. Алат за израду блистер паковања је калуп са више гнезда. Формирани облик фолије у калупу назива се »блистер«. Обликовање блистера обично се врши вакуумом код мањих дубина. После тога следи пуњење блистера производима које пакујемо, затим се ставља покривна фолија која се лепи на блистер. На крају се врши одсецање на жељену димензију. Упаковани производи у блистеру имају могућност одређеног померања. Код »скин« паковања производ се задржава између танке фолије и чврсте картице. Нема формираних ћелијастих мехура. Овај поступак је јефтинији [8].

ОПРЕМА ЗА ТОПЛО ОБЛИКОВАЊЕ ПЛАСТИКЕ

Термоформинг технологија је једноставнија од других поступака (нпр. екструзије или ињекционог пресовања), а опрема је једноставнија и јефтинија [8].

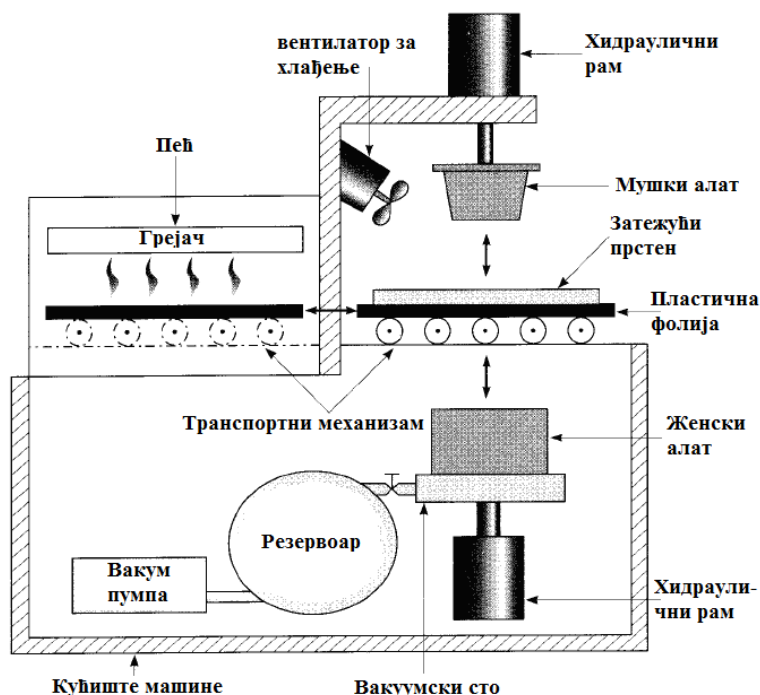
Машине за топло обликовање пластике су мање униформне него код других поступака обраде. Међутим све машине те врсте морају да имају следеће функције:

- загревање фолије
- држање фолије
- транспорт (померање) фолије
- обликовање у одговарајућем калупу [8]

На слици 3.10 приказана је једна машина за топло обликовање са једном радном позицијом а њен изглед дат је на слици 3.2. Транспортни механизам омогућује кретање материјала у пећ и из пећи до јединице за обликовање. Уређај за држање обратка састоји се од прстена за држање и механизма за отварање и затварање са полугама [8].

Грејач има могућност покривања велике површине што обезбеђује равномерно омекшавање материјала. Грејач је обично инфрацрвени (IR) а може бити постављен са обе стране припремка. Грејачи су обично постављени у један затворен простор и чине фуруну [8].

Калуп је постављен на носећу плочу и прикључен на уређај за вакуумирање. Брзо вакуумирање омогућује вакуум-танк (резервоар) који се континуално вакуумира током рада, тј. током целог радног циклуса [8].



Слика 3.10 Машина за топло обликовање са једном радном позицијом [8]

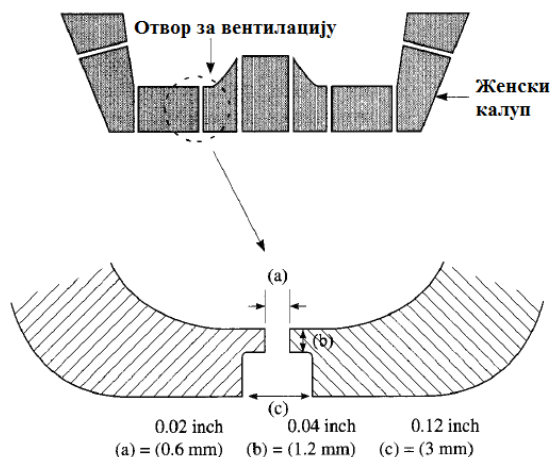
Подизање алата са вакуум плочом врши се хидрауличним системом. У машину такође може бити уграђен посебна дувалка. Померане обликача такође је хидраулично. Висока продуктивност постиже се код вишепозиционих машина за топло обликовање код којих се свака од фаза обраде изводи на одговарајућој позицији. Следећа машина са великом продуктивношћу је машина за континуалну топлу обраду (Слика 3.3) [8].

АЛАТИ ЗА ТОПЛО ОБЛИКОВАЊЕ

Због ниских притисака код топле обраде долази у обзир примена различитих материјала за алате. Често је за ту сврху у употреби алуминијум, користи се и дрво,

ливени епоксид и други термопласти, а такође и разни челици и други конструкциони материјали [8].

Калупи за топло обликовање имају нагиб на вертикалним површинама од $2^0 \div 7^0$ ради лакшег вађења обратка. Важну улогу код ових калупа имају вентилациони отвори који омогућају излаз заробљеног ваздуха. Њихова величина и облик зависи од врсте термопласта и димензије обратка (Слика 3.11). За тање и мекше термопласте препоручују се мањи вентилациони отвори. Размак између вентилационих отвора обично није критичан [8].



Слика 3.11 Вентилациони отвори код алата за топло обликовање [8]

ТЕХНОЛОШКА ПИТАЊА ТОПЛОГ ОБЛИКОВАЊА

• МАТЕРИЈАЛ

Термоформинг је значајан технолошки поступак који се примењује на велики број фолија добијених екструзијом и каландрирањем од термопласта. Већина термопласта је погодна за ову технологију, али се уобичајено највише користе: ABS, PMMA, Полиолефини, HIPS, PVC. Материјали који се не користе за топлу прераду су пластике које се брзо топе (ацетати и најлони) јер је код њих тешко држати процес под контролом [8].

За топлу обраду најповољнији су екструзионе термопластичне фолије, али се користе и каландриране, ливене, ламинарне, дуване, филмови итд [8].

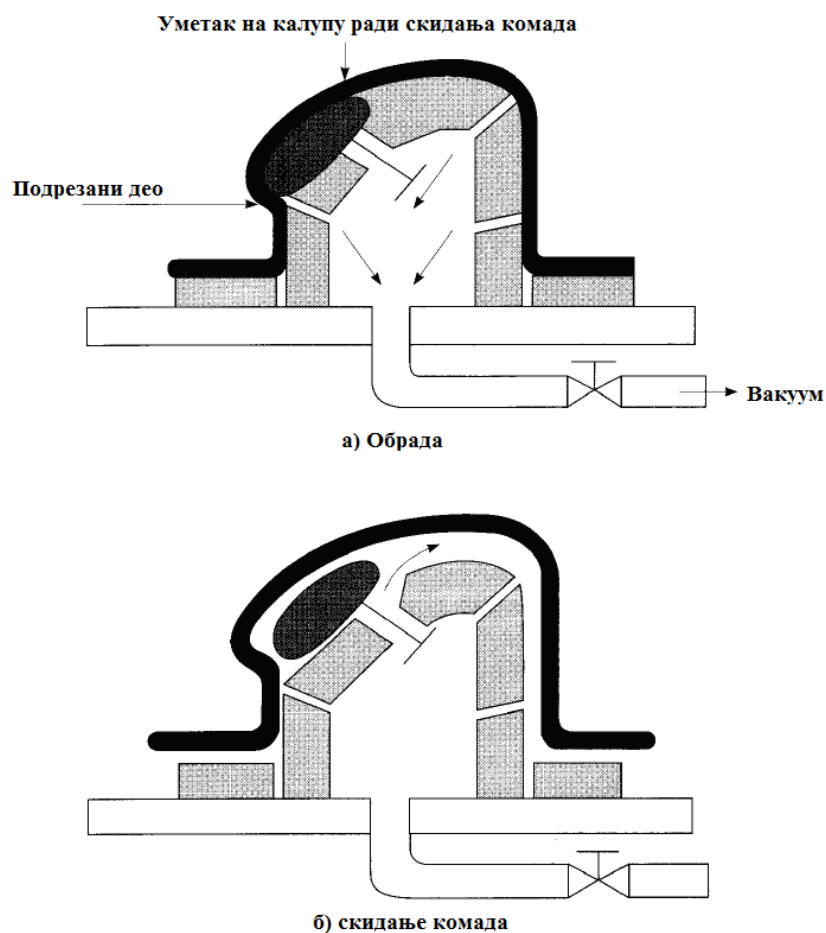
• КОНСТРУКЦИЈА ОБРАТКА (Слике 3.12, 3.13, 3.14, 3.15)

Термоформинг омогућаје израду релативно једноставних делова са широким улазним отворима. Међутим код ове технологије могу се добити и делови са разним урезима (ундер цут), а на слици 3.12 приказана је једна плоча са малим урезима [8].



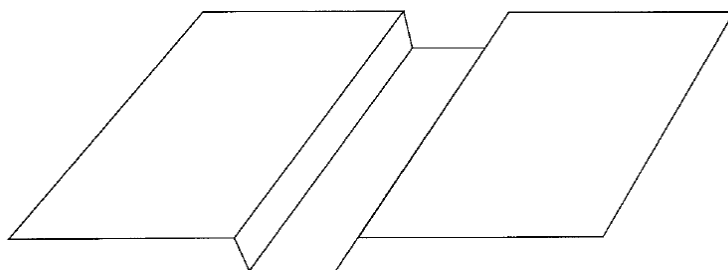
Слика 3.12 Једноделни алат за термо обликовање [8]

Код обликовања већих уреза примењују се калупи са уметцима (Слика 3.13), који омогућује лако вађење обратка [8].



Слика 3.13 Калупи са уметцима [8]

Ребро, испупчења и зоне различите дебљине нису предвиђене за обраду термоформингом. Одређена ојачања могу се добити као на слици 3.14 [8].



Слика 3.14 Ојачања која се могу добити термоформингом [8]

Код топлог обликовања могу се одређени сложени сегменти обратка добити помоћу уметака (Слика 3.15) [8].

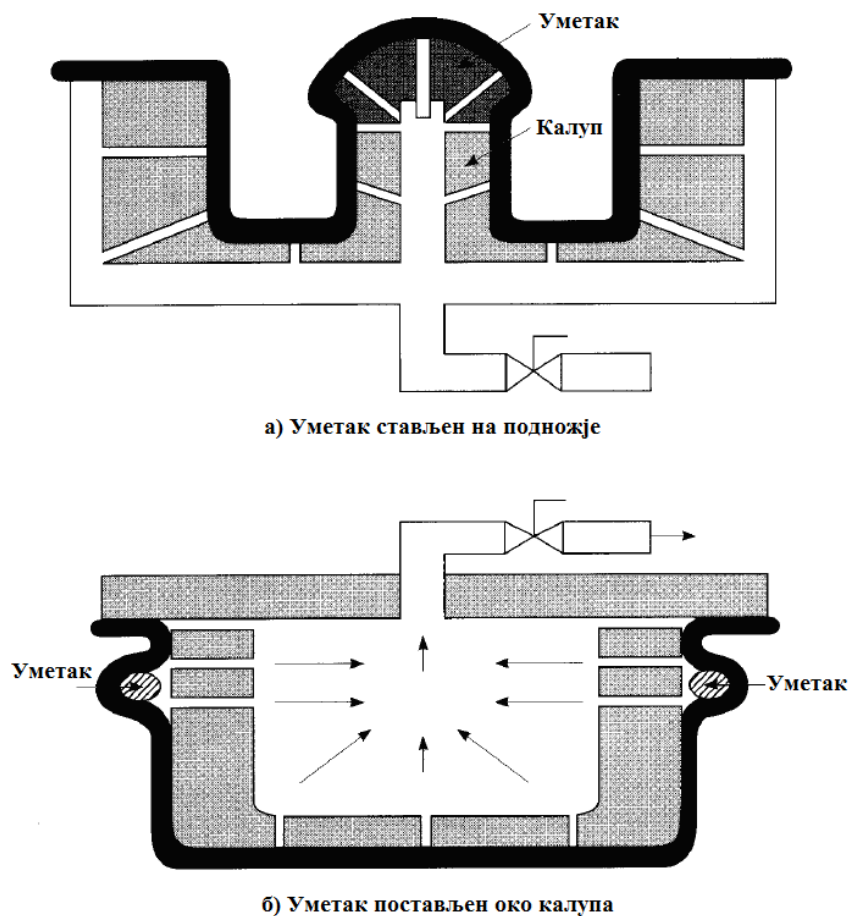
Однос извлачења – дефинише се код обрадака добијених у калупу:

$$\text{однос извлачења} = \frac{\text{дубина обрадка}}{\text{ширина обрадка}} = 2 \div 7$$

Други параметар је:

$$\text{однос површина} = \frac{\text{површина припремка}}{\text{површина обрадка}}$$

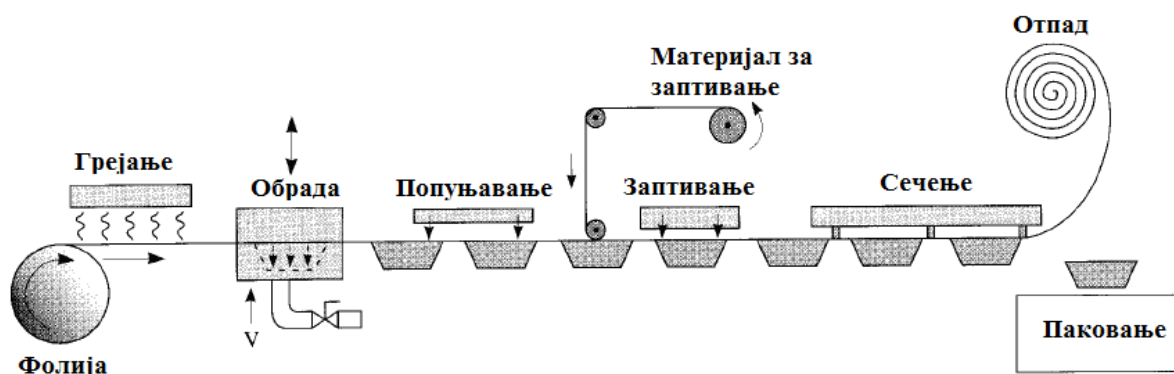
Овај поступак показује колико је стањење материјала за време обраде и користи се за одређивање димензије пропремка [8].



Слика 3.15 Пример сложенијег дела добијеног помоћу уметака [8]

КОНТИНУАЛНО ТОПЛО ОБЛИКОВАЊЕ

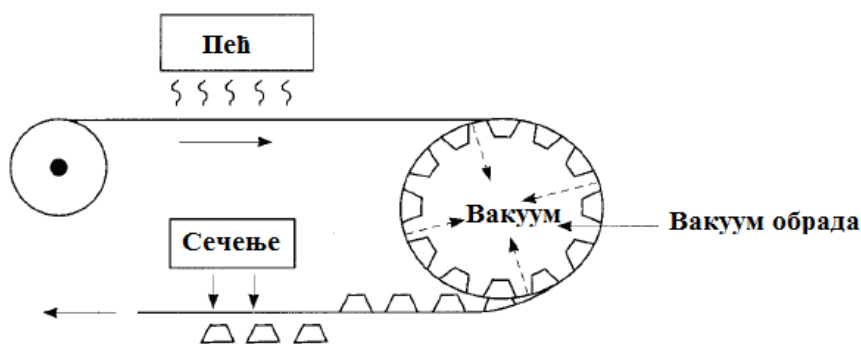
Једна од варијанти континуалног топлог обликовања приказана је на слици 3.16, а односи се на линију за паковање која садржи одређене елементе:



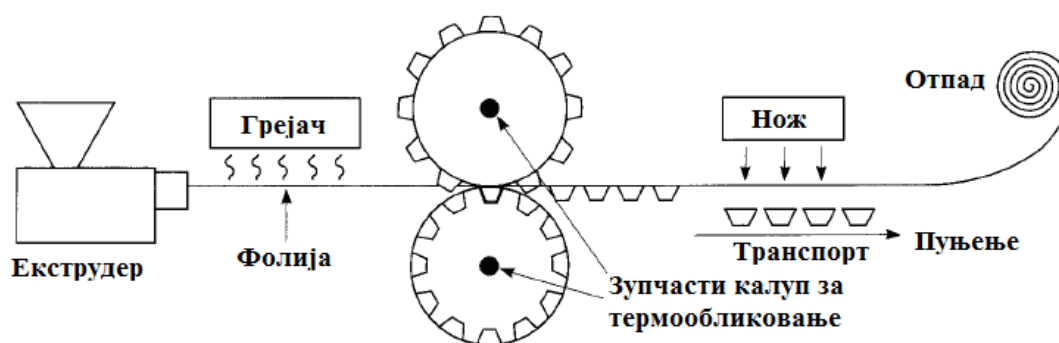
Слика 3.16 Пример континуалног топлог обликовања [8]

1. бунт са одговарајућом фолијом (sheet)
2. уређај за загревање (heating)
3. једница за топло обликовање (forming)
4. уређај за пуњење (filling)
5. уређај за додавање покривног материјала (sealant materijal)
6. уређај за спајање тј. лепљење (sealing)
7. уређај за сечење (cutting)
8. уређај за паковање у кутије (packing - boxing)
9. уређај за одношење отпада (scrap) [8]

Јединице за обликовање мора бити таква да омогући обликовање једне или две половине амбалаже ако је то потребно. На слици 3.17а приказана је ротациона вакуумска јединица за топло обликовање фолије која се загрева грејачем [8].



а) Термообликовање са континуалним дозирањем фолије



б) Екструзионо дозирање са зупчастим калупом за термообликовање

Слика 3.17 а) Ротациона вакуумска јединица за топло обликовање, б) аутоматска линија за топло обликовање [8]

На слици 3.17б приказана је аутоматска линија за топло обликовање помоћу дводелног алата који се састоји од два точка. Полазни материјал добија се екструзијом. Ова линија користи се за производњу амбалаже за маргарин. Радни циклус је 2 секунде тј. капацитет је 75000 комада на час [8].

4. ПРОБЛЕМИ У ПРОЦЕСУ ВАКУУМ-ТЕРМООБЛИКОВАЊА

Код вакуум – термообликовања, у току његовог процеса постоји могућност појаве одређених проблема који нас спречавају да добијемо производ прихватљивог квалитета. Да бисмо проблеме решили морамо развити метод односно систем по коме можемо поставити дијагнозу и решити проблем. Прва ствар коју треба урадити је дефинисати проблем. Шта је то погрешно у процесу? Који су то недостаци на предмету? Да би се што лакше дошло до решења поставићемо систем по коме је у левој колони описана ситуација која није прихватљива, а у десној колони се налазе потенцијални предлози који ће помоћи у решавању проблема [4].

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Мехури</u>	Влага	Претходно сушење
		Споро загревање на температури за обликовање
		Заштити од влаге
	Прекомерно загревање фолије	Снизити температуру обликовања
	Пребрзо загревање фолије	Смањити температуру грејача. Не треба да прелази 510 °C
		Повећавати растојање између грејача и фолије
<u>Стањење</u>	Неравномерно загревање фолије	Проверити делове пећи који се прегревају
		Проверити температурне параметре сировине
	Загревање осетљивог материјала	
	Облик предмета	Коефицијент извлачења је превелики за почетну дебљину фолије
		Предмет има специфичне области у којима је коеф. извлачења већи у односу на остатак предмета.
	Фолије је сувише танка	Повећавати дебљину фолије
	Неравномерна температура фолије	Проверити струјање ваздуха у пећи
		Проверити грејач. Може бити неисправан
	Техника обликовања	Исписати где је део најтањи и које технике обликовања би биле најбоље
	Лош квалитет фолије, коеф. топљења може бити низак	Анализирати физичке особине фолије

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Промена боје</u>	Температура обликовања је превисока	Снизити температуру обликовања
	Додавање пигмента је слабо	Повећати количину пигмента
	Претопле области пећи	Проверити грејач
<u>Премошћавање или стварање мреже</u>	Лош облик калупа	Преправити калуп
		Користити прстен за елиминисање мреже
		Смањити брзину вакуума
	Нетачна температура фолије	Углови могу бити претопли
		Или сувише хладни
	Велико улегнуће фолије	Прекинути загревање фолије за обликовање
		Изабрати материјал са нижим индексом топлјења
	Превелика брзина вакуумирања	Смањити брзину
		Користити мање отворе за вакуум
		Ограничити проток вакуум са вентилом
<u>Фолија се извлачи из стеге</u>	Недовољан вакуум	Проверити вакуумски систем на цурење
		Повећати број вакуумски рупа
	Деформисан облик стеге	Смањити брзину
		Користити мање отворе за вакуум
		Ограничити проток вакуум са вентилом
<u>Испирање текстуре</u>	Квалитет цртежа на предмету је превисока	Размотрити дубљу текстуру
	Фолија је превисока загрејана, нарочито на делу где је текстура	Искључити грејаче на страни где се налази текстура у пећи
		Смањити укупну топлоту на фолији
		Засенчити одређене

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Чворићи и испуњења</u>	Запрљаност фолије	Направити попречни пресек чворића и ако се разликује од пластичне основе, проблем је са екструдером.
	Некомпатабилна пластика умешана у фолију	- Проверити некомпатибилне чворове са инфрацрвеним тестом. - Проверити боју чворића са остатком фолије.
	Капљице воде на загрејаној фолији	Направити попречни пресек чворића и проверити компатибилност.
	Испупчења на калупу	Погледати страну фолије која је до калупа.
	Отпацы на калупу	Проверити задњу страну формираног дела да ли су отпацы утиснути у део.
<u>Разлагање текстуре</u>	Текстура превише дубока за почињање стањења фолије.	Променити текстуру.
	Текстура има дубоке бразде у моделу.	- Променити текстуру. - Материјал који се користи може имати лошу грејну чврстоћу и мора се узети други материјал.
		Прекомерно скупљање екструдираних фолије.
<u>Фолија не може да стане у рама</u>	Фолија није танка	Поставити додатну тежину а савијене области преко рама
		Претходно загрејати фолију због уклањања оптерећења
<u>Замрљана текстура аморфних материјала</u>	Превише загрејано, нарочито код ПВЦ-а	- Снизити температуру формирања - Одабрати бољу текстуру. Неке текстуре косе могу утицати код ПВЦ-а
	Скупљање у високој пећи	Проверити скупљање и одржавати га у границама

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Линије течења на производу</u>	• Конци у фолији	• Поновити
	• Лоше вођење на екструдеру	• Користити материјал на добром екструдеру
	• Коефицијент топљења смоле је неравномерни (нестабилни)	• Одабрати дубљу текстуру
	• Линије на супротној страни фолије	• Боље промешати смолу
		• Поновити
		• Фолију у пећи загрејати на нижој температури
<u>Замрљана текстура олефинских материјала</u>	• Лош контакт калупа	• Пескарена површина калупа
	• Неравномерно хлађење на калупу	• Контролисати температуру калупа
		• Проверити отворе хлађења
<u>Неконзистентан део</u>	• Неравномерно загревање фолије	• Проверити ваздушне отворе у пећи
		• Проверити фолију за варијације у мерењу
		• Проверити излазну снагу
	• Лош састав фолије	• Урадити ИЦ или Брабендер тест за одређивање густине материјала
<u>Искривљени делови</u>	• Делови се хладе неуједначено	• Променити технику која је коришћена
		• Контролисати температуру
		• Проверити термометар алата за проток воде.
		• Проверити да ли се фолија добро превукла преко калупа. Важно у формирању олефина.
		• Проверити места за вентилаторе.
		• Проверити прикључне рупе за вакуум.
	• Калуп је сувише хладан	• Претходно загрејати калуп
	• Стега је сувише хладна	• Претходно загрејати стегу. Важно за формирање олефина

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Искривљени делови</u>	Висока температура вађења дела из калупа.	Повећати време хлађења.
		Смањити температуру формирања.
		Поставити више вентилатора за хлађење дела.
	Прегрејана фолија, материјал се сувише опушта.	Скратити време загревања фолије у пећи
	Лоше израђен калуп.	Проверити прикључне рупе за вакуум.
		Направити више вакуумских рупа.
		Користити алтернативне технике обликовања.
		Ишмирглати калуп у случају олефина.
	Лоша израда дела.	Избегавати велике равне површине. “Крунисати” део ако је могуће.
		Избегавати високе коефицијенте извлачења.
		Поставити ребра или променити дизајн на равним подручјима.
<u>Лоши детаљи на делу</u>	Фолија је превише хладна.	Повећати време загревања у пећи.
		Повећати температуру грејача.
		Проверити конзистентност пећи.
		Проверити могуће отворе на пећи.
	Недовољан вакуум.	Проверити цурења у вакуумском систему.
		Проверити да ли систем обезбеђује довољан вакуум.
		Проверити да ли калуп има добро заптивање.
		Проверити да ли су отвори за вакуум зачепљени.
		Проверити да ли има довољно вакуумских рупа.
		Проверити распоред рупа и њихову величину.

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
Лоши детаљи на делу	Хладан рам за стезање	Загрејати стегу због бољег заптивања.
	Погрешна техника формирања.	Променити технику у зависности од геометрије дела.
		Искористити додатни притискивач ради боље расподеле материјала и вакуумског деловања.
	Превелика чврстоћа материјала.	Изабрати материјал мање чврстоће.
		Користити технику формирања притиском.
	Пластика је превише густа у областима са лошим детаљима.	Користити другу технику ради боље расподеле материјала.
		Више загрејати област где је дебља фолија.
Лоша површина финалног производа	Површина калупа је груба	Исполирати површину
	Хладне ознаке	Ишмирглати површину калупа
		Набавити термометар
		Више загрејати калуп
		Променити технику да се елиминишу хладне ознаке
	Површина калупа ствара превише трења	Исполирати површину на одређеним местима
		Подмазати калуп у тим подручјима
	Заробљавање ваздуха између калупа и формираног предмета	Направити више рупа за вакуум
		Ишмирглати површину калупа
	Прљава фолија	Очистити фолију изотропил алкохолом или дејонизујућим ваздухом
	Прљав калуп	Очистити калуп са ваздухом или механичким средством
	Прљавштина и честице у ваздуху	Ставити систем за филтрацију
		Детаљно очистити зону термоформинга
		Изоловати зону термоформинга
	Контаминирана фолија	Обрисати фолију пре стављања у термоформер
		Одвојити лист фолије који је контаминиран
	Празнине	Заобићи те области колико је могуће

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Лоша површина финалног производа</u>	Огребана фолија	Међулист фолије. Пажљиво руковати
		Избећи превлачење фолије преко површине са текстуром
	Нијансе	Проверити са чим се чисти фолија пре стављања у термоформер
		Пигмент није распршен у фолији
		Лоше мешање током екструзије. Заменили материјал
		Прљавштина утиснута на ролни у току процеса екструдирања. Очистити текстуру ролне
<u>Рупице на предмету на страни до калуца</u>	Вакумски отвори су превелики	Смањити величину отвора ваздуха
	Фолија је претопла	Подесити време загревања или смањити температуру пећи
	Прљавштина или крхотине на површини калуца	Чистити калуп периодичноу току формирања
	Велика снага вакуума	Смањити јачину вакуума
<u>Губитак боје или бељење или црвењење</u>	Фолија је сувише хладна	Загрејати фолију на већу температуру пре обликовања
	Фолија је сувише топла	Искључити загревање да се избегне губитак боје
		Подесити температуру грејача да се избегне презагрејаност површине
		Подесити растојање грејача у односу на фолију која се загрева

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Губитак боје или белјење</u> <u>или црвењење</u>	Предмет је сувише	Повећати дебљину фолије
		Променити технику обликовања да се повећа дебљина
		Искључити грејаче на местима где се фолија стањује
	Калуп је сувише хладан	Повећати температуру калупа
	Лош дизајн калупа	Променити углове нагиба
		Повећати заобљења
		Променити геометрију калупа
<u>Лоше течењематеријала и/или претерано стањење</u> <u>у појединим областима</u>	Неједнако загревање фолије	Проверити грејаче да ли су правилно подешени
		Проверити да ли има неисправних грејача
		Проверити ваздушна струјања или отворе на пећи
		Заклонити пећ ако није могуће зонирање елемената
		Проверити да су елементи сувише близу пластици
	Превелики број разлика у фолији	Измерити фолију
	Хладан калуп	Повећати температуру калупа
		Проверити да ли је калуп прикључен на воду
	Превелика улегања	Снизити температуру фолије
		Користећи зонско загревање снизити температуру у средишту фолије
<u>Сјајне пруге на</u> <u>предмету</u>	Фолија је претопла у појединим тачкама	Контролисати температуру у врућим зонама фолије искључивањем грејача у одређеним областима
		Повећавати растојање између грејача и фолије
		Преконтролисати пећ да ли се топлота расипа равномерно
		Проверити необликовану фолију на сјајне тачке

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
Истањени углови на готовом делу	• Фолија је претанка	• Користити дебљу фолију
	• Лоше течење материјала	• Предуковати температуру обликовања фолије
		• Променити технику обликовања због бољег течења
		• Променити калуп из негативног у позитивни облик
	• Температура фолије у угловима је превисока	• Проверити температуру у грејној зони
Прекомерно скупљање после вађења дела из калупа	• Неадекватно хлађење	• Повећати време хлађења
		• Подесити температуру калупа
		• Користити бољи вентил за хлађење
		• Поставити вентилаторе на више места
		• Користити стабилно хлађење
Скупљене области на делу	• Лоше налегање ивице калупа	• Поправити или побољшати налегање ивица
		• Ставити у канал на калупу
	• Површина калупа је превише глатка	• Пескарењем финиширати калуп
		• Проверити калуп и систем вакуума да ли има цурења
		• Повећати јачину вакуума
		• Проверити отворе за вакуум
Отежано скидање дела са калупа	• Недовољни нагиби на позитивном делу калупа	• Додати или повећати отворе за вакуум ако је потребно
		• Повећати нагибе
	• Позитивни део калупа је превише хладан	• Склонити део са калупа док је топао уколико је могуће без кривљења
		• Повећати температуру калупа да би се део сачувао од претераног хлађења

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Отежано скидање дела са калупа</u>	Површина калупа је сувише груба за угао нагиба	- Лагано скинути калуп са области за закључавање - Подмазати калуп на местима где се закључава
	Ваздух за избацивање је слаб или не траје довољно дуго	- Повећати или продужити деловање ваздуха за избацивање - Додати више вакуумских рупа
	Погрешан материјал калупа се користи за потребне нагибе углове	- Променити материјал калупа - Користити одговарајуће подмазивање калупа
	Подсецање на калупу је сувише тешко	- Променити величину подсецања - Повећати притисак за избацивање - Склонити део са калупа раније у тренутку хлађења - Ставити калуп у преклопни оквир - Ставити померљиве делове на калуп који се могу склонити после обликовања - Користити обраду калупа која одговара
<u>Губитак снаге вакуума</u>	Заптивање на калупу лоше	Поправити заптивање
	Материјал није стабилан у стеги рама	Поправити стегу или ставити чивије због бољег пријањања
	Стега је сувише хладна	Претходно загрејати стегу
	Стега није правилно подешена или не врши довољно стезање по ивици калупа	Подесити стегу правилно
<u>Фолија се разлива током обликовања</u>	Лош облик калупа	Размотрити промену геометрије калупа
		Променити технику обликовања
		Повећати заобљења на предмету

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Фолија се разлива током обликовања</u>	• Фолија је превише загрејана пре обликовања	• Искључити загревање
		• Смањити температуру грејача нарочито у одређеним областима
		• Проверити вруће тачке на фолији
	• Лоше течење материјала	• Проверити фолију на неуједначену дебљину • Проверити неуједначено загревање
<u>Пластична фолија се лепи за држач</u>	• Температура држача је превисока	• Смањити температуру држача
		• Прекрити држач изолационим материјалом
		• Користити отпуштање калупа од држача
	• Погрешан материјал се користи за држач	• Променити материјал у одговарајући • Прекрити држач са изолационим материјалом
<u>Прекомерно увијање фолије</u>	• Фолија је превише загрејана	• Смањити време загревања • Смањити температуру грејача
	• Лоше подношење топлоте пластичне фолије	• Користити други материјал
	• Површина фолије је превелика у односу на дубину извлачења	• Користити заклањање да се смањи загревање у средишту фолије
		• Променити технику обликовања
<u>Ниво увијања варира од фолије до фолије</u>	• Температура фолије варира	• Проверити нагибе у пећи
		• Проверити варирање снаге
		• Коефицијент топљења пластике је нестабилан
	• Неправилно млевење	• Избегавати мешање фолије различитих коефицијената топљења
		• Избегавати коришћење фолије која има преосталог постојања • Контролисати квалитет рециклирања фолије

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Висина или дубина неравнина варира</u>	Температура фолија је неравномерна	Проверити кућиште грејача
		Проверити снагу грејача да ли варира
		Проверити да ли грејни елементи функционишу правилно
		Прегледати пећ мерењем температуре у датим областима фолије
<u>Бељење фолије</u>	Вакуум или ваздух цури кро кутију ии заштитну ивицу	Проверити заптивање у кутији
		Ускладити снагу вакуума или ваздушни притисак да би се смањила осетљивост на неравнине (проширити обрадни простор)
	- Фолија је сувише хладна - Фолија је истегнута изнад тачке пластичности	- Повећати време загревања - Повећати температуру грејача
		- Променити технику обликовања - Редизајнирати део
<u>Део пуца током века трајања</u>	Део је сувише танак у одређеним зонама	- Повећати дебљину фолије - Користити додатне држаче да би материјал боље текао
		Попунити танка подручја задње стране са епоксидном смолом
		Размотрити промену технике обликовања
		Размотрити промену облика дела
	Лош дизајн предмета	Повећати заобљења у оштрим областима на делу
	Део је обликован хладан	Повећати температуру обликовања предмета
	Део није правилно монтиран или је неправилно причвршћен на друге објекте	Проверити технику склапања да се прегледа да ли је добро монтирано
	Лош одабир материјала	Проверити да ли су физичке карактеристике одабраног материјала одговарајуће за производњу дела

Опис проблема	Могући узрок	Начини решавања
<u>Делови ус крти</u>	Неправилна температура хлађења на калупу	- Проверити да ли је калуп сувише хладан. Повећати температуру калупа. - Проверити да ли је хлађење калупа нагло ако јесте јавља се магљење
	Пластика се загреје превише и пребрзо	Проверити да ли се површина пластике угљенисала и смањити температуру грејача
	Мазиво на калупу је неодговарајуће за пластику која се користи	Променити мазиво
	Део је чишћен са штетним хемијским средством у току паковања	Проверити средство за чишћење које се користи
<u>Равна површина није равна</u>	Равна површина на калупу није правилно ојачана. Уље се скупља током вакуумског процеса	Проверити крутост и трајност калупа
<u>Бразде или линије у делу</u>	Урезане линије на пластици	Поновити процес
		Обликовати пластику на хладној температури
<u>Пластика се разлива током загревања или обликовања</u>	Лош коефицијент топлоте пластике	Изабрати одговарајућу пластику
	Пластика је делимично спаљена током екструзије	Тестирати вискозност материјала. Поновити са одговарајућим материјалом ако је неопходно
	Мешовит састав фолије	- Користити само одговарајући - Користити рециклирану фолију доброг квалитета
	Зрнаста текстура је предубока за дебљину за коју се користи	Одабрати текстуру која се неће одвајати током процеса загревања

5. МАШИНЕ ЗА ВАКУУМ – ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ

Машине за вакуум – термообликовање врше обраду термопластичних материјала различитих димензија и различите дебљине. Материјал који се користи може да буде намотан у ролне, а може да буде и у облику плоча, а материјали могу бити: PP, PS, HIPS, PET, PLA, PVC [6].

MEAF Machines (www.meaf.com) је компанија која производи опрему за индустрију пластике већ више од шест деценија и за то време се позиционирала као специјалиста у прављењу веома робусних и компактних линија за екструдирање фолије, машина за термообликовање и помоћне опреме која испуњава специјалне захтеве купаца. Предности због којих настоје да испуне захтеве и потребе корисницима су: преко 60 година искуства, могућности пролагођавања према техничким и просторним захтевима купаца, континуирано истраживање и развој рада, блиска сарадња са произвођачима сировина, решавање проблема и услуге након продаје широм света и помагање клијентима са сваким кораком у процесу, чак и у годинама после куповине машине [6].

Главне операције које се изводе на овим машинама су:

1. загревање,
2. обликовање помоћу вакуума и
3. хлађење готовог облика [6].

На слици 5.1 приказано је неколико примера производа добијених на овим машинама [6].



Слика 5.1 Готови производи [6]

KMS600

KMS600 је термоформинг машина (Слика 5.2) високог капацитета намењена предузећима која захтевају велике капацитете, са 3 до 5 редова калупа. МЕАФ-ова термоформинг машина KMS600 комбинује технологију опуштања са линеарно вођеним погоном, што чини KMS600 поузданом, јефтином за одржавање и издржљивом

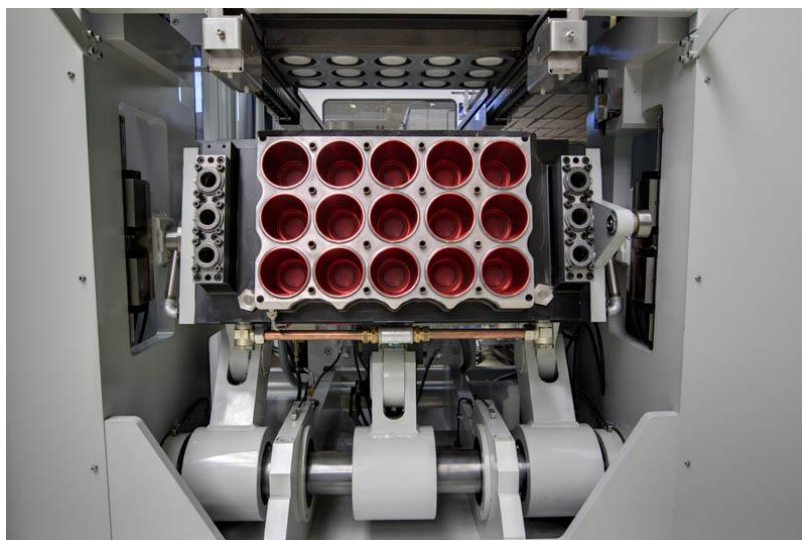
машином. Идеална је за средња и велика предузећа која захтевају већи капацитет (до 70000 комада/сату) и ефикасност [6].



Слика 5.2 KMS600 [6]

Предности термоформинг машина KMS600 је дизајнирана да буде:

- Компактан дизајн, са крутом и ригидном станицом за обликовањем, смањујући потребан производни простор;
- Сервоуправљиво кретање калупа, пружајући сервисирање и експлоатацију при највећој прецизношћу
- Сервопокретљиви прикључак, који пружа силу од 17.500 N (унапредљиво до 35 000 N за фолије дебље од 2 mm)
- Потпуно аутоматски систем за подмазивање свих потребних компонената
- Независно контролисане зоне грејања у доњем грејном раму за бољу производњу [6]



Слика 5.3 Изглед калупа за термоформинг на машини KMS600 [6]

Табела 8. Карактеристике машине KMS600 [6]

Техничке карактеристике машине:	
• Материјал	PP, PS, HIPS, PET, PLA, PVC
• Ширина фолије	640 mm
• Дебљина фолије	0,3 – 1,9 mm
• Максимална димензија алата	600x350 mm
• Висина модела	5 – 180 mm
• Напон	400V, 201A, 50Hz
• Снага	65 kW
• Горњи грејач	32 kW
• Доњи грејач	34 kW
• Проток ваздуха приближно	2 m ³ /h
• Притисак ваздуха	6 – 8 bar
• Проток воде за хлађење	3 m ³ /h темп. 6 – 15°C
• Притисак воде за хлађење	3 – 5 bar

BMS700

BMS700 је термоформинг машина средње величине, која је дизајнирана за предузећа која захтевају додатну количину производа, са једноредним или дворедним калупом. BMS700 комбинује рад калупа са серво мотором, што машину чини поузданом, са јефтиним одржавањем и издржљивом. Идеална је за мања и средња предузећа која захтевају већи производни капацитет (максимално 25000 комада/сату) и ефикасност [6].



Слика 5.4 BMS700 [6]

Табела 9. Карактеристике машине BMS700 [6]

Техничке карактеристике машине:	
• Материјал	PP, PS, HIPS, PET, PLA, PVC
• Ширина фолије	770 mm
• Дебљина фолије	0,3 – 1,9 mm
• Максимална димензија алата	700-740x300 mm
• Висина модела	5 – 150 mm
• Напон	400V, 160A, 50Hz
• Снага	90 kW
• Горњи грејач	36 kW
• Доњи грејач	31 kW
• Проток ваздуха приближно	250 - 425 m ³ /h
• Притисак ваздуха	6 – 8 bar
• Проток воде за хлађење	8 - 12.5 m ³ /h темп. 8 – 15°C
• Притисак воде за хлађење	4 – 5 bar

BMS500

BMS500 је термоформинг машина предвиђена за предузећа која захтевају мањи капацитет, са једноредним калупом. Такође, може бити идеална за мању производњу или пробни рад [6].

BMS500 машина комбинује рад калупа са серво мотором, што чини машину поузданом, јефтином за одржавање и издржљивом. Идеална је за мала и средња предузећа, капацитета до 25000 комада/сату [6].



Слика 5.5 BMS500 [6]

Табела 10. Карактеристике машине BMS500 [6]

Техничке карактеристике машине:	
• Материјал	PP, PS, HIPS, PLA, PVC
• Ширина фолије	550 mm PS, HIPS, PLA, PVC 496 mm PP
• Дебљина фолије	0,3 – 1,8 mm
• Максимална димензија алата	514x300 mm PS, HIPS, PLA, PVC 460x300 mm PP
• Висина модела	5 – 150 mm
• Напон	400V, 80A, 50Hz
• Снага	43 kW
• Горњи грејач	16.8 kW
• Доњи грејач	11.2 kW
• Проток ваздуха приближно	180 - 200 m ³ /h
• Притисак ваздуха	6 – 8 bar
• Проток воде за хлађење	4.5 - 5.5 m ³ /h темп. 8 – 15°C
• Притисак воде за хлађење	3 – 5 bar

CM420

CM420 машина је предвиђена за мали и средњи обим производње, са дворедним калупом за средњи обим производње (максимално до 15000 комада/сату) и са једноредним калупом за мали обим производње [6].

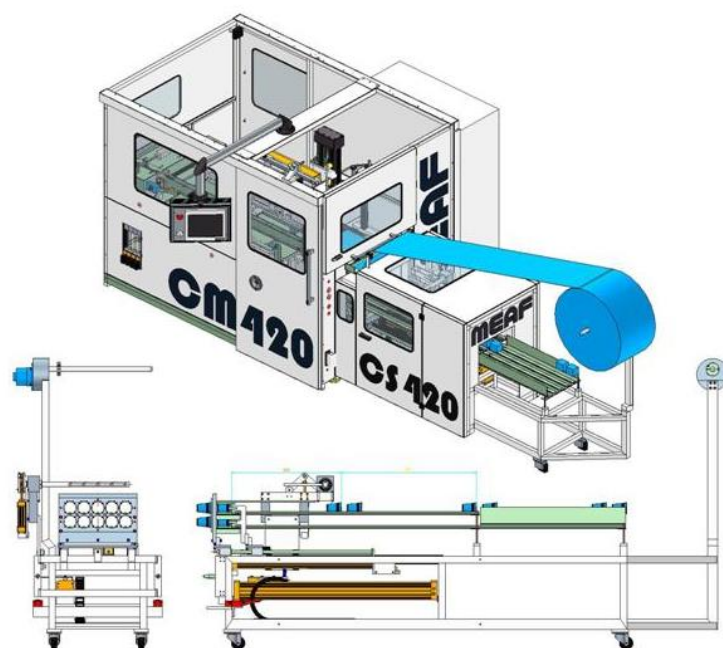
CM420 обједињује технологију подижућег калупа са директним слагањем са калупа, што чини машину поузданом, издржљивом и јефтином за одржавање. Посебно за компаније чији су производи лагани и/или компликованог дизајна, CM420 може бити идеално решење [6].



Слика 5.6 CM420 [6]

Табела 11. Карактеристике машине CM420 [6]

Техничке карактеристике машине:	
• Материјал	PP, PS, HIPS, PLA, PVC
• Ширина фолије	460 mm – PS, HIPS, PLA, PVC 420 mm – PP
• Дебљина фолије	0,3 – 1,9 mm
• Максимална димензија алата	420 x 250 mm – PS, HIPS, PLA, PVC 380 x 250 mm – PP
• Висина модела	max 140 mm
• Напон	400V, 100A, 50Hz
• Снага	65 kW
• Горњи грејач	32 kW
• Доњи грејач	19 kW
• Проток ваздуха приближно	0.5 m ³ /h по циклусу
• Притисак ваздуха	6 – 8 bar
• Проток воде за хлађење	4.5 m ³ /h темп. 6 – 15°C
• Притисак воде за хлађење	3.5 – 5 bar



Слика 5.7 Изометриски поглед моделиране машине CM420 [6]

Предности термоформинг машина CM420 је дизајнирана да буде:

- Компактан дизајн, са крутом и ригидном станицом за обликовањем, смањујући потребан производни простор;
- Сервоуправљиво кретање калупа, пружајући сервисирање и експлоатацију при највећој прецизношћу
- Сервопокретљиви прикључак, који пружа силу од 17.800 N
- Потпуно аутоматски систем за подмазивање свих потребних компонената
- Независно контролисане зоне грејања у доњем грејном раму за бољу производњу [6]

ПРЕДГРЕЈНЕ КОМОРЕ

Одређени типови фолије захтевају додатно догревање поред типичног загревања у термоформинг машинама (на пример РР). Решење за овај проблем је примењивање предгрејне коморе која се поставља између уређаја за одмотавање фолије и термоформинг машине [6].

Када се ради о већим термоформинг машинама као што су KMS600, којима је потребан додатан капацитет и брже догревање и транспорт фолије, предгрејна комора од 46 kW је потребна [6].

Предности предгрејне коморе:

- Компактан дизајн са крутом и издрживом комором
- Синхронизација између предгревања и термоформинг машине
- Мотор за транспорт фолије је интегрисан у предгрејној комори
- Тихо одмотавање фолије због фреквентних претварача
- Аларм индикација када пластична ролна празна [6]

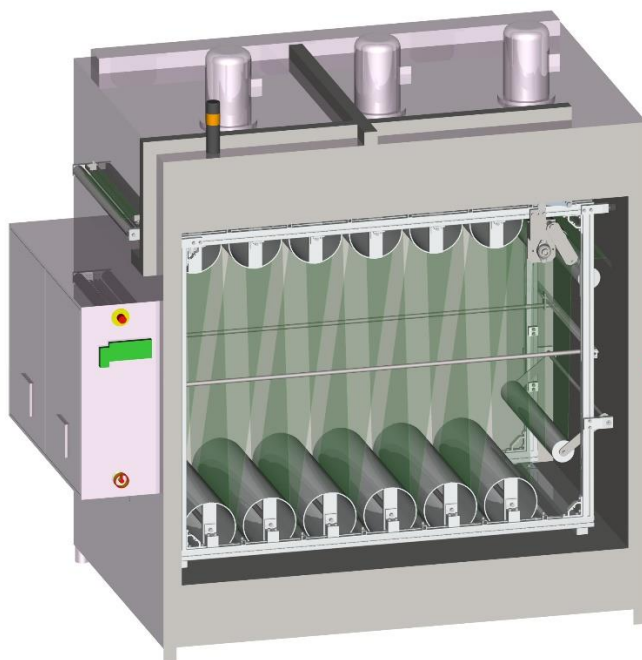


Слика 5.8 Спољни изглед предгрејне коморе [6]

Изолована комора за предгревање са топлом комором састоји се од коморе са много ролни, транспортујући пластичну фолију кроз комору за грејање. Током дугог боравка у врућем подручју напетост у РР фолије опушта и температура РР фолије се повећава. Ово додатно загревавање фолије резултује већом брзином производње и смањује потрошњу електричне енергије термоформинг машине. У овој топлотној комори су транспортни ваљци, који непрекидно транспортују плочу кроз предгрејач, синхронизовано са брзином машине за термообликовање [6].

Ваздух се загрева снажним CALROD грејачима од легираног челика и ваздушним вентилаторима дистрибуирају овај врући зрак једнако кроз комплетну комору како би свуда добили једнак ниво температуре. Пред грејач има тачну контролу температуре PHILIPS и сигурносни уређај у случају прегревања. Контрола брзине ваљака је преко LENZE фреквентних претварача за неометан рад. Мотор LENZE и мењач су на спољној

страни предгрејне коморе. Лампица за аларм трепери када је пластична ролна празна. Део за одмотавање фолије се комбинује у комори за предгрејавање, тако да када се користи комора за предгрејавање, није потребан додатни мотор за одмотавање фолије .



Слика 5.9 Унутрашњи изглед предгрејне коморе [6]

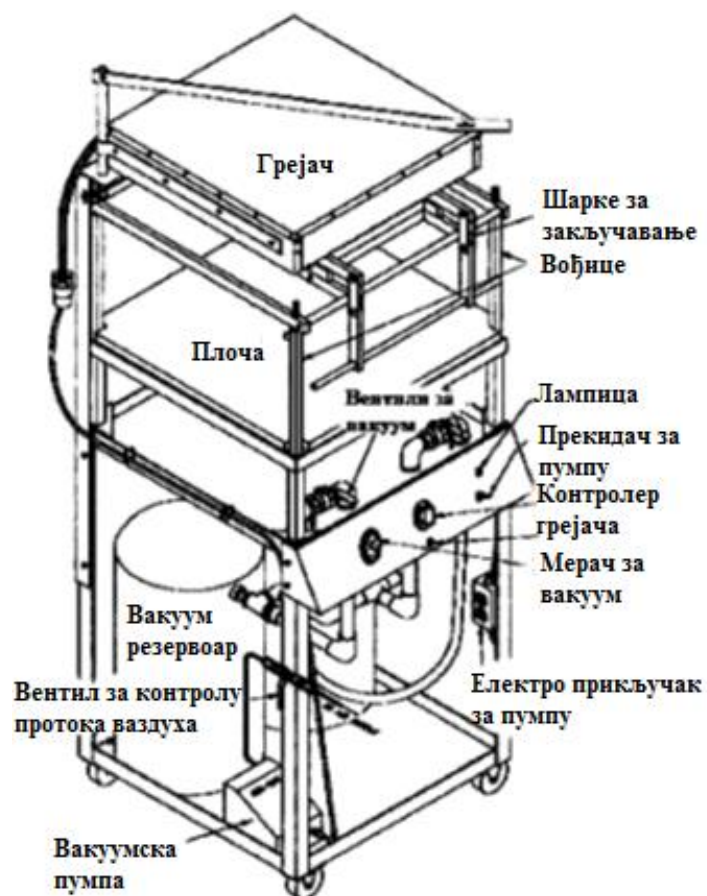
6. ПРИМЕР ПРОЈЕКТОВАЊА МАШИНЕ ЗА ВАКУУМ ТЕРМООБЛИКОВАЊЕ

Поред основног упознавања са пластичним масама и са поступком вакуум – термообликовања, у овом делу дипломског рада потребно је урадити моделирање простије машине за вакуум – термообликовање. Биће приказани основни делови машине. Као пример машине коришћена је машина за вакуум – термоформирање од Винсента Џинџерија (Слика 6.1.) [1].

Машина користи грејач од 120V, могуће је обликовати фолију димензије 300 x 420 mm, дебљине 6 mm и има могућност коришћења позитивног и негативног калупа. Користи ваздушну пумпу за стварање вакуума, али може се употребити и електрична пумпа. Машина је постављена на точкиће тако да је омогућено њено лако премештање са једног места на друго, а подесиви носач омогућава коришћење калупа различитих величина [1].

Направљена је као рам од челичних угаоних профила. Доње постоље је довољно велико да издржи два четрдесетолитарска вакуумска резервоара и вакуумску пумпу. Резервоари се могу мењати у зависности од потребе [1].

Контролни панел садржи вакуумски мерач, прекидач са потенциометром за контролу температуре грејача и светлосну лампицу тј. показивач активности грејача [1].



Слика 6.1 Склоп машине за вакуум – термообликовање [1]

Принцип рада машине

Алат се поставља на носећу плочу и подиже се до стеге (Слика 6.2).

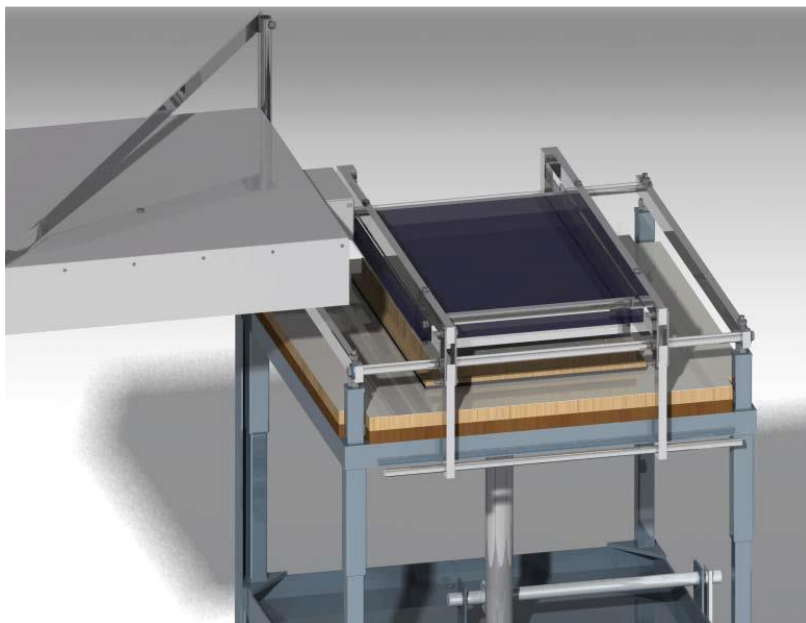


Слика 6.2 Подизање алата до стеге [1]

Пластична фолија се причвршћује стегом (Слика 6.3). Грејач се враћа у позицију изнад стеге. Затим се пумпа укључује, а вентил који отвара и затвара довод између пумпе и резервоара се отвара и на тај начин се ствара вакуум у резервоарима. Потенциометар за грејач се подешава на максималну вредност и фолија почиње да се загрева до температуре обликовања.

Када је постигнута довољна количина вакуума у резервоарима и фолија је омекшана, вентил који повезује резервоаре са носећом плочом се отвара и пластична фолија бива усисана у/око калупа. Затим се грејач помера у страну, а вакуум се оставља

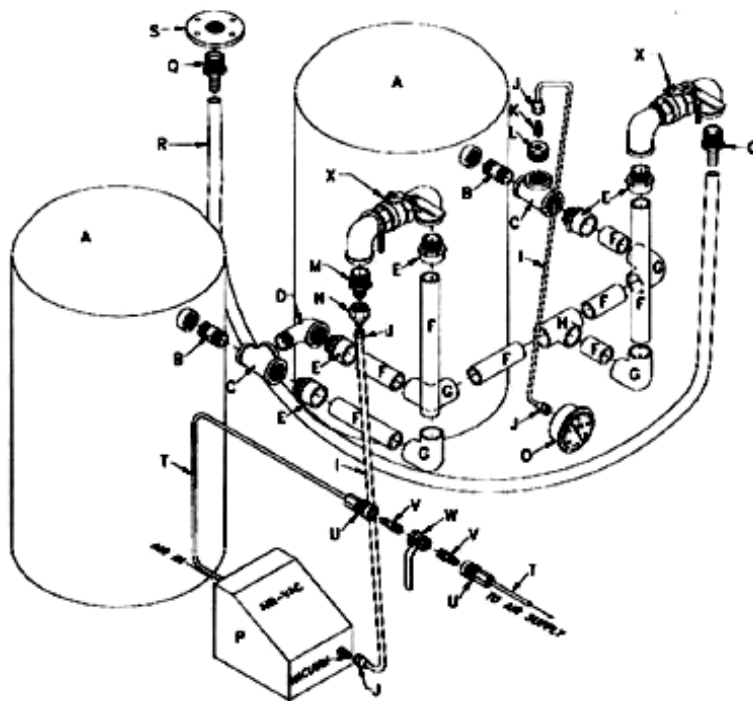
да делује неколико секунди док се фолија охлади, тада се вентил искључује, а производ се може извадити и скинути са калупа.



Слика 6.3 Причвршћивање фолије са стегом

Систем цеви – вакуумска инсталација

На слици 6.4 је приказан један начин вакуумске инсталације.



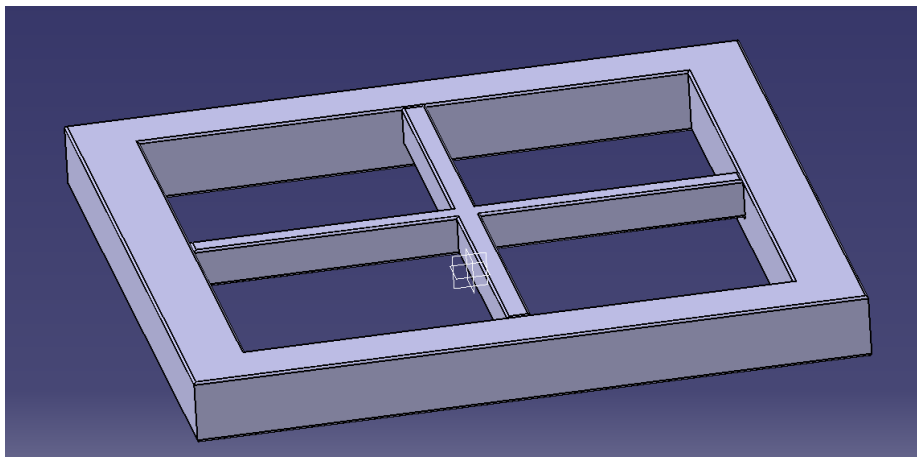
Слика 6.4 Склоп вакуумске инсталације [1]

За стварање вакуума користи се ваздушна вакуумска пумпа или електрична вакуумска пумпа. Да би вакуум довољно брзо деловао користе се резервоари за вакуум. Вакуум се регулише преко вентила.

Према наведеном решењу одређене промене на машини су одрађене тако да користити пнеуматски цилиндар за покретање вакуумског стола уместо зупчaste летве и зупчаника. Коришћењем програма CATIAV5R21 одрађене су техничке промене склопа машине да би се ускладили нови захтеви. Нова решења приказана су у даље наведеним деловима.

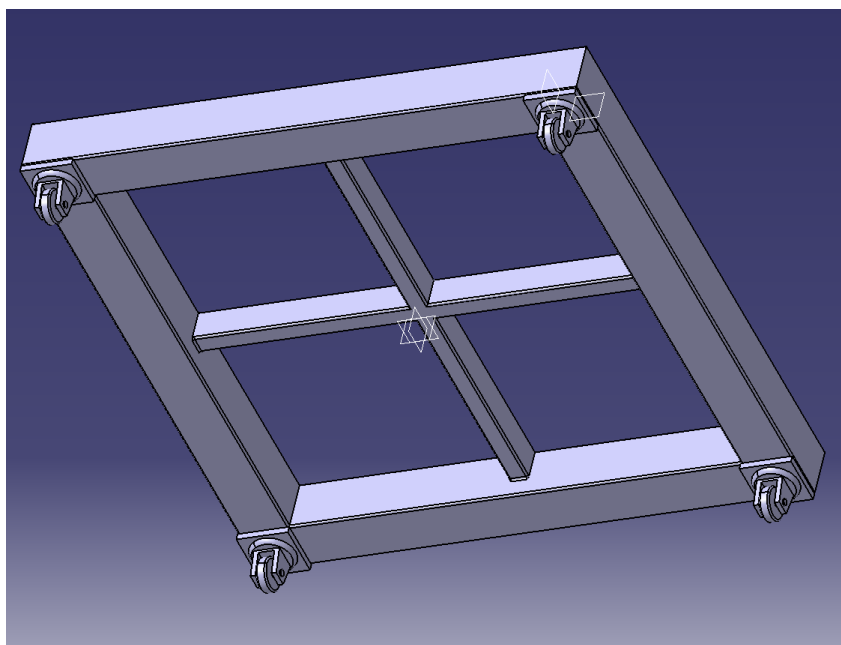
6.1 Постоље машине

Постоље машине је формирано од кутијастих профила димензија 80x80 mm који су исечени тако да заваривањем формирају рам димензија 830x830 mm, и унутрашња страна рама је ојачана кутијастим профилем 50x30 mm који су заварени и позиционирани као што је приказано на слици 6.5.



Слика 6.5 Постоље машине за вакуум термообликовање

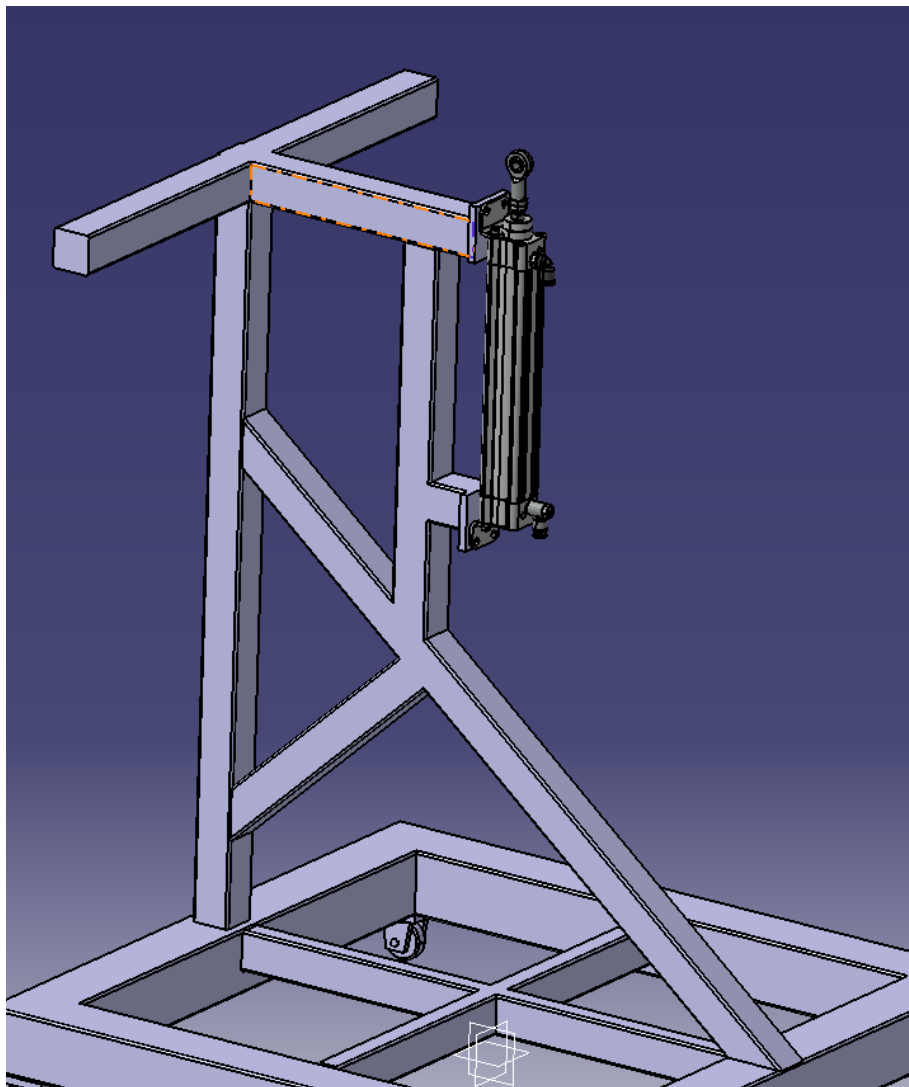
Затим се са доње стране постоља монтирају окретни точкови помоћу којих се цела машина може померати и позиционирати на жељену локацију (Слика 6.6).



Слика 6.6 Точкови монтирани на постоље машине

6.2 Пнеуматски цилиндар и његов носач

Вертикално померање вакуумског стола и алата машине се остварује помоћу пнеуматско цилиндра, који је завртњевима везан за плоче које су заварене на кутијасте профиле 50x50 mm. Ови кутијасте профили формирају конструкцијску решетку који тако састављени омогућавају крут и чврст рам машине да поднесу тежину вакуум стола и сила које се остварају током рада машине (слика 6.7).



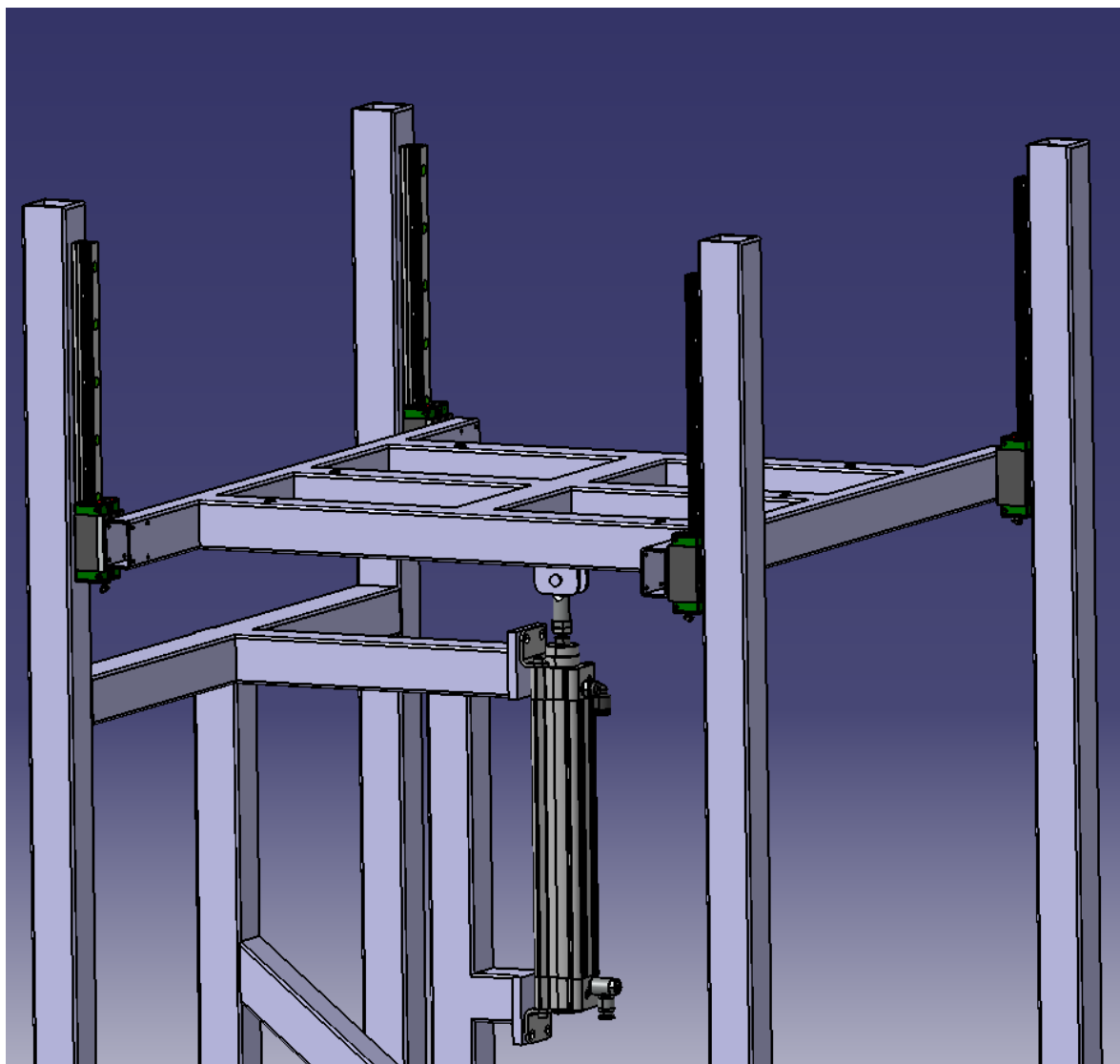
Слика 6.7 Пнеуматски цилиндар монтиран на конструкциону решетку

Пнеуматски цилиндар има 250 mm радни ход и 40 mm пречник клипа тако да при притиску компримованог ваздуха од 8 бара овај пнеуматски цилиндар остварује силу од 1005 N што је отприлике око 102 kg. Такође ради контроле брзине хода цилиндра на његов доњи улаз постављен је неповратни пригушни вентил, а притисак у целом систему се контролише преко манометра постављеном на контролном панелу. Поред манометра на контролном панелу се налази ручни бистабилни разводник 5/3 са којим се управља смер кретања и позиција пнеуматског цилиндра.

$$F = p \cdot A; F\text{-Сила, } p\text{-притисак ваздуха, } A\text{-површина клипа};$$

6.3 Линеарне клизне вођице и постоље вакуумског плоче

Након постављеног пнеуматског цилиндра постављају се вертикални стубови на постоље машине. Стубови су кутијасти профили 50x50 mm димензија и они се заварују за постоље машине. На врху тих стубова завртњевима везују се четири линеарне вођице које усмеравају кретање постоља вакуумске плоче које покреће пнеумастки цилиндар (Слика 6.8).

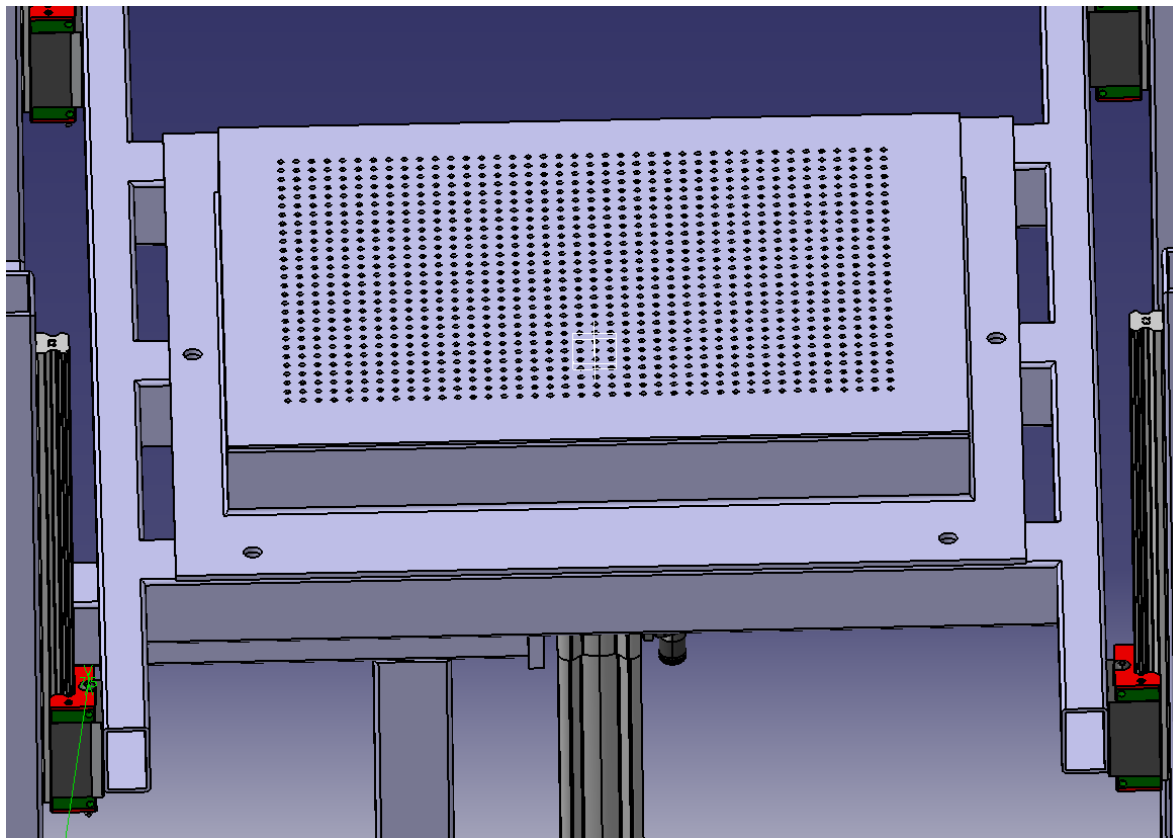


Слика 6.8 *Линеарне вођице монтиране заједно са постољем алата на вертикалне стубове машине*

Постоље вакуумске плоче се повезује са завртњевима за клизаче линеарних клизних вођица које су повезане за вертикалне стубове. На самом крају пнеуматског цилиндра налази се сферни зглоб са отвором. Носач постоља вакуумске плоче који се налази са доње стране са осовиницом се повезује за сферни зглоб.

6.4 Вакуумска плоча

Вакуумска плоча (Слика 6.9) се повезује завртњевима за постоље које је повезано на линеарне вођице и пнеуматски цилиндар. Сама вакуумска плоча је рам од кутијастих профила димензија 50x50 mm који су заварени TIG поступком. Затим на тај рам је са горње стране налепљена плоча дебљине 3 mm која је исперфорирана за A3 формат како би се кроз отворе усисавао ваздух и остварио вакуум над пластичном фолијом. Док са доње стране истог рама TIG поступком заварена је плоча која на себи има отворе за повезивање вакуумске плоче са постољем, и на њој постоји отвор за повезивање са вакуумском инсталацијом.



Слика 6.9 Вакуумска плоча намонтирана на њено постоље

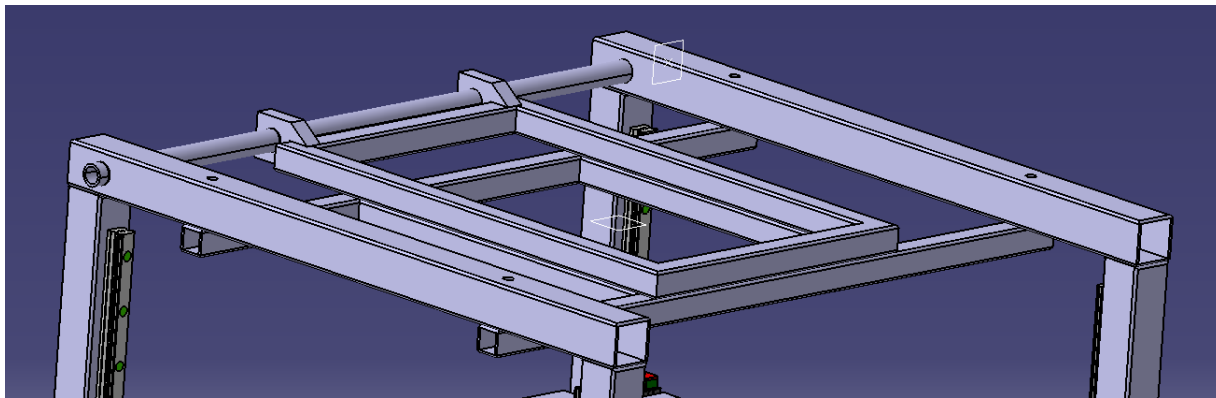
6.5 Стезни механизам

Поречним кутијастим профилима димензија 50x50 mm спојени су вертикални стубови, и тиме омогућено да се стезни механизам (Слика 6.10) завртњевима повеже за попречне стубове. На задњим крајевима попречних стубова избушени су отвори за кружни профил ϕ 25 mm на коју се повезује поклопац стезног механизма.

Као што је на слици 6.10 приказано поклопац стезног механизма ослања се на фиксни доњи део механизма који је завртњевима повезан за попречне стубове. При постављању пластичне фолије поклопац се подиже помоћу кружног профила која има слободно ротационо кретање око своје осе. Положај горњег алата и кружног профила је ограничено укопаним жљебовима где је постављена зегер спојка.

Како би се пластична фолија стегла и тиме онемогућило њено померање, са предње стране поклопца и његовог бока монтиране су копче које стежу покопац за фиксни део стезног механизма.

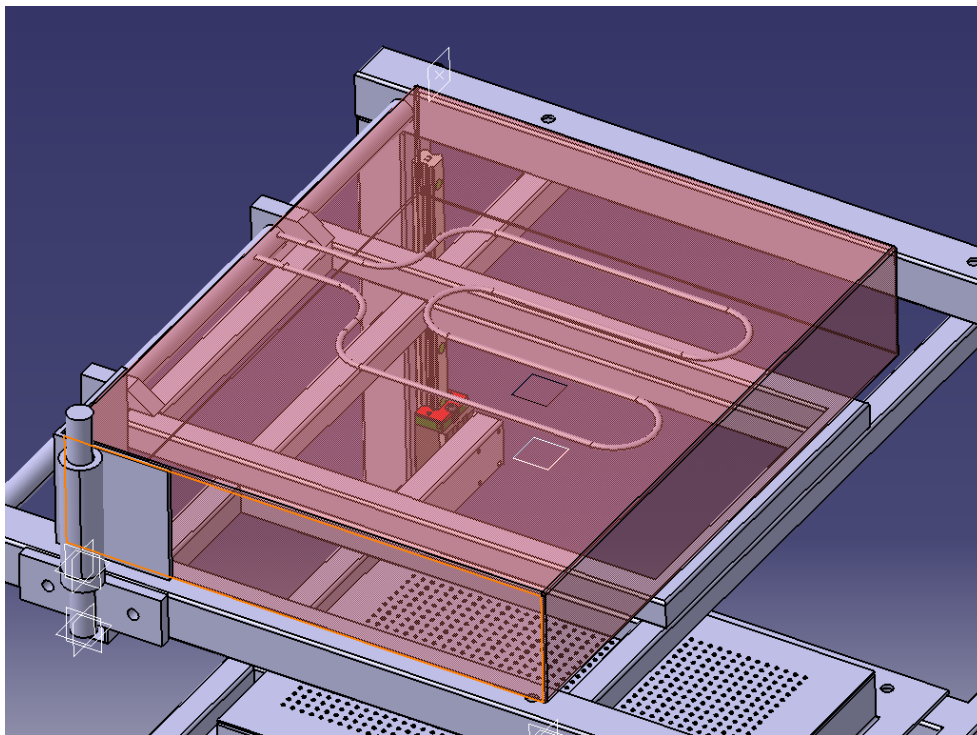
Оператер ручно подиже поклопац и поставља пластичну фолију у механизам, где након постављања фолије све копче затвара остварујући стезну силу којом се спречава да фолија испадне док је грејач са горње стране греје.



Слика 6.10 Стезни механизам пластичне фолије

6.6 Грејач

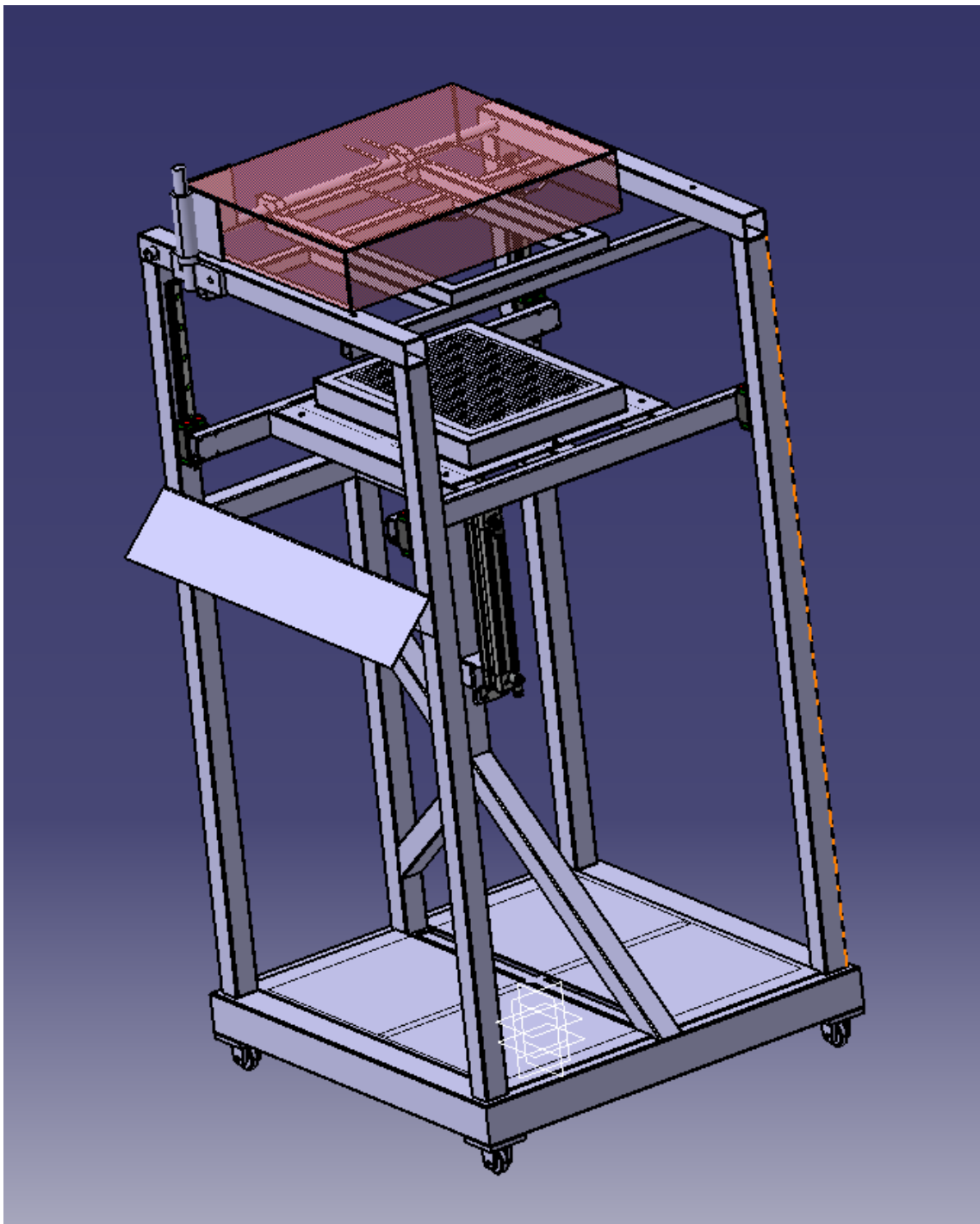
Са леве стране попречног стуба завртњевима је повезана плоча са осовином на коју је постављен носач хаубе грејача (Слика 6.11). Носач хаубе је заварена за хаубу, а сама хауба грејача је направљена од лима дебљине 1.5 mm поступком савијања. Грејач се позиционира кроз два отвора $\phi 6$ mm и фиксира се са две матице. Са предње стране хаубе налази се рукохват који служи да се помоћу окретног механизма хауба склони са стране када се постигне одговарајућа температура или при постављању друге фолије.



Слика 6.11 Хауба грејача са грејачем на окретном механизму

6.7 Склоп машине за вакуум термообликовање

Склоп машине за вакуум термообликовање приказан је на слици 6.12. На постољу машине додат је под за постављање вакуумске инсталације, а са леве стране машине монтиран је контролни панел на којој су предвиђени да се монтирају све управљачке компоненте машине.



Слика 6.12 Склоп машина са контролним панелом за управљање

7. ЗАКЉУЧАК

Данас би живот човека био готово незамислив без производа који се добијају процесом вакуум – термообликовања. Не постоји просторија у којој нема таквих производа. Такође, нема ни индустријске гране која у већој или мањој мери нема потребу за производима од пластичних маса:

- телекомуникациона опрема,
- електронска опрема широке потрошње,
- медицинска опрема,
- рачунари,
- аутомобилска индустрија и др.

Описани поступак пројектовања машине је са аспекта економичности веома прихватљив. Материјал који се користи за израду машине је лако доступан и не захтева компликованију додатну обраду. Док коришћењем стандардних компоненти за управљање и покретање машине, омогућава лаку набавку елемената и одржавање комплетног система .

Имплементација пнеуматског цилиндра за покретање алата за обликовање олакшава и убрзава поступак вакуум термообликовања и уједно даје континуитет производње. Примена линеарних вођица омогућује правилан ход алата без икаквих застоја и трзаја чиме се умањује степен грешке при раду. Пнеуматски преносник који је коришћен даје прихватљиве силе и адекватан брз одзиван систем.

Могуће је користити хидрауличне преноснике за алате већих тежина и габарита са последицом губитка брзине и веће цене, углавном је случај код оваквих система да су мањег обима производње. Машина се може користити у кућним условима и лако се транспортује. У случају променљивих величина алата и формата пластичне фолије, овакве машине могу се модуларно конструисати ради брзих измена и модификација. Због тога постоји велики избор ових машина, од оних које се могу користити у кућним условима до оних које се користе у великим предузећима.

Сам процес вакуумског термообликовања је тешко аналитички описати због утицаја читавог низа фактора, почевши од карактеристика материјала, комплексности геометрије производа, карактеристика машине и процеса, итд. Све ово намеће потребу за инжењерским алатом који би инжењерима пружио подршку у свим фазама развоја алата до коначног процеса производње.

Управо зато, термовакuumско обликовање представља веома погодно подручје за економичнију израду прототипова у односу на остале процесе прераде пластичних маса, а уз то и примену CAD/CAM система.

На крају се може закључити да сам процес прераде пластичних маса им добру перспективу због релативно ниских улагања у опрему, флексибилности програма производње и могућности брзог обрта капитала.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vincent R. Gingery – The Secrets Of Building A Plastic Vacuum Forming Machine – Rogersville, USA 1999.
- [2] Богдан Недић, Владислав Ђукић – Пластичне масе – скрипта, Машински факултет, Крагујевац 2004.
- [3] Мирослав Нађ – Полимерни материјали – Научна књига, Загреб 1978.
- [4] Група аутора – Техничка енциклопедија 10 – Југословенски лексикографски завод, Загреб 1986.
- [5] Борис Ресимић – Неконвенционални поступци обраде – Дипломски рад, Крагујевац 2004.
- [6] www.meaf.com, приступљено 20.06.2017.
- [7] www.plastimach.com, приступљено 20.06.2017.
- [8] http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija_za_deformisanje/TOP/TOPLO%20OBLIKOVANJE%20PLASTIKE.pdf, приступљено 20.06.2017.